

Título: Memorias del Primer Congreso Boliviano de la Ciencia del Suelo

Editores: Leslie Dorado Sánchez

Sergio Laguna Bretel

Revisores: Dominique Hervé

Marco Flores M.

Ivo Lopez

Vladimir Orsag C

Diego Sanchez de Lozada

Gabriel Bustillos

Jean Marc Hetier

Zenón E. Huanca L.

Deposita Legal: 4-1-288-01

DIAGRAMACIÓN E IMPRESIÓN

Artes Gráficas "SAGITARIO"

c. Almirante Grau # 349 (San Pedro)

Tel: 486815

Fax: (591-2) 491767

Casilla: 245

La Paz - Bolivia

PRESENTACION

El primer Congreso Boliviano de la Ciencia del Suelo "EL RECURSO SUELO EN EL TERCER MILENIO, SU CONOCIMIENTO Y MANEJO SOSTENIBLE EN BOLIVIA", realizado en la ciudad de La Paz-Bolivia, entre el 28 y el 31 de julio del año 1999, permitió congregarse a más de 370 participantes, entre profesionales y universitarios de los departamentos del Beni, Chuquisaca, Cochabamba, La Paz, Oruro, Potosí, Santa Cruz y Tarija e invitados especiales de Argentina, Ecuador, EUA y Gran Bretaña.

Este evento, realizado por primera vez en Bolivia, ha permitido a los profesionales involucrados con el recurso suelo dar a conocer sus resultados y experiencias de trabajo, y por otro lado mostrar los problemas que limitan el uso sostenible de este recurso. Por otra parte, durante este evento, se creó la Sociedad Boliviana de la Ciencia del Suelo (SBCS) con sus respectivos estatutos y reglamento.

En ese sentido, el Directorio de la SBCS se complace en presentar las Memorias del Primer Congreso Boliviano de la Ciencia del Suelo. Esperamos que los diferentes trabajos dados a conocer en ese evento, como exposiciones y paneles, sean una guía y contribuyan al manejo racional del recurso suelo, base para la producción agrícola, ganadera y silvícola del país.

Asimismo, la Sociedad Boliviana de la Ciencia del Suelo, considerando los graves problemas de deterioro que sufre este recurso en diferentes zonas del país, espera que a partir de la realización del Primer Congreso de la Ciencia del Suelo, la creación de la Sociedad y la presentación de las Memorias, todos los profesionales ligados al Recurso Suelo en Bolivia, comencemos a trabajar de una manera coordinada y mancomunada alrededor de esta nueva institución.

*Vladimir Orsag
Presidente SBCS*

AGRADECIMIENTOS

El Directorio de la Sociedad Boliviana de la Ciencia del Suelo (SBCS) agradece al Instituto de Investigación para el Desarrollo (IRD) de la República de Francia, al Ministerio Británico para el Desarrollo Internacional (DFID), a la Cooperación Suiza para el Desarrollo (COSUDE) y al Centro de Levantamientos Aeroespaciales y Aplicaciones SIG para el Desarrollo Sostenible de los Recursos Naturales (CLAS), por haber apoyado económicamente y hecho realidad la publicación de las Memorias del Primer Congreso Boliviano de la Ciencia del Suelo: "El Recurso Suelo en el Tercer Milenio, su Conocimiento y Manejo Sostenible en Bolivia" realizado del 28 al 31 de julio de 1999, en la ciudad de La Paz, Bolivia.

Asimismo agradecemos a las instituciones que hicieron posible la realización del Primer Congreso Boliviano de la Ciencia del Suelo, como: el Ministerio Británico para el Desarrollo Internacional (DFID), la Cooperación Suiza para el Desarrollo (COSUDE), el Centro Internacional de la Papa (CIP), el Grupo de Reflexión y Acción sobre el Medio Ambiente (GRAMA), la Facultad de Agronomía – UMSA, a su decano Ing. Jorge Pascual C. y a la comisión de estudiantes, al Programa de Investigación de la Papa (PROINPA), Casa Bernardo S.A., Comités Departamentales de la Ciencia del Suelo de: Cochabamba, Chuquisaca, Santa Cruz, Oruro, Tarija y La Paz y a las diferentes comisiones de trabajo. Al mismo tiempo nuestro agradecimiento póstumo al Ing. Oscar Siles por su valiosa contribución a la organización de este evento.

INDICE

EXPOSICIONES

Física, química y biología de suelos

- Análisis de la microbiota en suelos cultivados del Altiplano central de Bolivia. *Ruth Sivila y Dominique Hervé*.....5
- Técnicas de diagnóstico de laboratorio para análisis de suelos y plantas. *R. A Bowman , Oswald Eppers y Eduardo Panique*.....15
- Dinámica del cadmio en el sistema suelo-planta, en un suelo contaminado con residuos sólidos de aguas servidas. *David Hervas*.....21
- Suelos contaminados con aguas residuales de mina. *Edgar Gutiérrez R.*.....29

Manejo y conservación de suelos

- Estrategias y tecnologías para superar la degradación y mejorar la productividad de los suelos tropicales en Bolivia. *Richard G. Barber*.....41
- Manejo sostenible de suelos con sistemas agroforestales en los trópicos húmedos. *Julio Alegre y Luis Arevalo*.....57
- Efecto de incorporación de diferentes niveles de estiércol y estudio de su mineralización en suelos de suka kollus y pampa con cultivo de papa. *Isabel Morales, Cristina Ruiz y Patricia Amurrio*.....68
- Efecto del rastrojo en la superficie del suelo sobre el balance hídrico y el rendimiento. *M. Campero y P.C. Wall*.....74
- Evaluación de prácticas para el establecimiento de maní forrajero en suelos de uso pecuario. *D. Ruiz, V. Oller, N. Anzaldo y J. Pijnenborg*.....79
- Efecto de las épocas de incorporación y dosis de estiércol en la conservación de la humedad del suelo y la productividad de la papa (*Solanum tuberosum* ssp. *andigena*) en zonas de altura de Cochabamba. *Victoria Parra, André Devaux, Pablo Mamani, Vladimir Orsag, Ruben Botello y Bruno Condori*.....84
- Diagnóstico y necesidades de fertilización en los principales cultivos de grano de la región pampeana argentina. *Fernando O. García*.....94
- Las barreras vivas en la conservación del suelo y agua. *Félix A. Rodríguez Verástegui*.....107
- Efecto de sistemas de labranza en las propiedades físicas y mecánicas de un Typic haplustalf después de once campañas agrícolas en Santa Cruz. *Orlando Díaz y Marcia Suarez*115
- Sistemas de labranza para suelos salinos. *Dominique Hervé, Victor Mita y Bernardo Paz*.....121
- Experiencias sobre labranza vertical en zonas cerealeras de Chuquisaca. *C. Calle y M. Campero*.....137

Efecto de la labranza con tracción animal en la conservación de la humedad del suelo y en el crecimiento y productividad del cultivo de papa. <i>P. Mamani, H. Moya, A. Devaux, R. Botello, B. Condori</i>	142
Efecto del mejoramiento de tres cualidades de la tierra sobre la clase de aptitud para un tipo de utilización. <i>Marco Flores M., Aernout Weeda, Jorge Rocca y Gonzalo Solares</i>	152
Identificación de áreas forestales según su potencial utilizando SIG. <i>Omar Vargas</i>	162
Evaluación de la capacidad de extracción y tolerancia de kauchi (<i>Suaeda fruticosa</i> Moq.) a diferentes niveles de sodio. <i>Jaime Raúl Colque Velarde</i>	170
Procesos de erosión hídrica de los suelos en la subcuenca de la quebrada de La Tablada . <i>Linder Espinoza Márquez</i>	181

PANELES

Física, química y biología de suelos

Efecto de factores edáficos y topográficos en el crecimiento de especies comerciales en un bosque secundario en Sarapaquí, Costa Rica. <i>Oscar Peña Wilde</i>	195
Caracterización físico química de algunos suelos del bloque andino oriental de Bolivia y mineralogía de sus arcillas. <i>Vladimir Orsag Céspedes y Mario Blanco</i>	201
Densidad real en diferentes tipos de suelo de varias provincias de La Paz. <i>Rubén Callisaya Bautista</i>	216
Efecto de diferentes dosis de cloruro de sodio en dos variedades de soya. <i>David Hervas y Omar Cruz</i>	221
Actividad microbiana de un oxisol afectada por la adición de residuos de cosecha. <i>D. Ruiz Alderete y E. Gomide Loures</i>	226
Dinámica de descomposición de residuos de soya y maíz adicionados a un oxisol. <i>D. Ruiz Alderete y E. de Sá Mendonça</i>	231
Laboratorios de servicios de análisis. <i>IBTEN</i>	236
El sistema de clasificar suelos de acuerdo con su fertilidad y su aplicación en el trópico de Cochabamba. <i>José G. Salinas Castro</i>	246

Manejo y conservación de suelos

Evaluación de abonos orgánicos en el cultivo de dos variedades de papa. <i>René Terán Céspedes y Rubén Callisaya Bautista</i>	265
Variación de parámetros de infiltración en el riego por surcos a lo largo del ciclo de desarrollo del frijol (<i>Vigna unguiculata</i> L.Walp). <i>René Chipana R. y Francisco de Souza</i>	275
Aprovechamiento de la roca fosfórica como fertilizante simple. <i>Oscar Soliz Vasquez</i>	281

Recuperación de suelos bajo vegetación de <i>Acacia caven</i> en el valle de Tarija. <i>Hans Salm y Máximo Liberman</i>	294
Especies potenciales para la recuperación de suelos. <i>Orlando Díaz y Mirtha Orellana</i>	302
Revalorización de cultivares nativos de papa para suelos con bajo contenido de fósforo en Bolivia. <i>B. Condori, A. Devaux, P. Mamani y R. Botello</i>	306
Medidas de control de poblaciones de nemátodos para el manejo de la sanidad y conservación del suelo. <i>N. Main, N. Ortuño y J. Franco</i>	312
Evaluación agronómica del efecto residual de la cal y la fertilización mineral en un sistema de rotación de cultivos (papa-cebada-haba-papa). <i>R. Botello, J. Vallejos, P. Mamani, A. Devaux y B. Condori</i>	320
La asociación del cultivo de papa con leguminosas como alternativa para mejorar la eficiencia de la tierra en los sistemas andinos. <i>P. Mamani, R. Botello y N. Arnez</i>	330
Efectos del pasto falaris (<i>Phalaris tuberoarundinacea</i>) como barrera viva en el control de la erosión en suelos de ladera. <i>Tatiana Espinoza B.</i>	337
Escuelas de campo: una alternativa en la transferencia de manejo de la fertilidad del suelo. <i>J. Vallejos, N. Ortuño y F. García</i>	353
Efecto de la extracción de thola (<i>Parastrephia quadrangularis</i>) en la erosión de los suelos de la localidad de Calacoto, provincia Pacajes, departamento de La Paz. <i>Máx Quelca Quelca</i>	358
Caracterización del sitio de plantación con un objetivo de manejo sostenible del suelo. <i>Piere-Henri Dimanche</i>	368

RESUMENES

La taxonomía de los suelos del USDA y su aplicación en el manejo sustentable de los suelos: Experiencia Ecuatoriana. <i>Marcelo Calvache</i>	375
Levantamiento general de suelos y clasificación de tierras para agricultura a secano y pasturas de las subregiones II, VI y VII del trópico de Cochabamba. <i>Constantino Soto G. y Walter Vargas S.</i>	376
La coloración y consistencia del terreno como indicador de la calidad del suelo en la agricultura de Caquiaviri. <i>L. D. García Rospigliosi y L. M. Barrón Vargas</i>	377
Modelización cartográfica de los riegos potenciales de erosión mediante un SIG y percepción remota. <i>José Luis Delgado Alvarez</i>	378
Implementación de un sistema de monitoreo del manejo integral de cuencas en la cuenca piloto Taquiña, utilizando las variables de uso y erosión. <i>Omar Vargas</i>	379
Los sistemas de información geográfica (SIG) en la planificación del uso de la tierra comunal. <i>Rigel Rocha</i>	380
Recuperación de tierras en riberas de ríos. <i>R. Nain y P. Poquechoque</i>	381
Respuesta de la papa a varios niveles de fósforo y potasio. <i>E. Panique y J. Flores</i>	382
Uso de rastrojo y abono verde de arveja en el cultivo de maíz. <i>E. Panique y F. Carranza</i>	383

Establecimiento de ocho accesiones de mani forrajero (*Arachis pinto*) en diferentes zonas agroecológicas. M.S. Viera, J. Lazcano y J. Pijnenborg384

ESTATUTOS Y REGLAMENTO

Estatuto de la sociedad Boliviana de la ciencia del suelo.....387

Reglamento interno de la sociedad Boliviana de la ciencia del suelo.....397

EXPOSICIONES

Física, química y biología de suelos

Análisis de la microbiota en suelos cultivados del Altiplano Central

Ruth Sivila¹ y Dominique Hervé²

1 Instituto de Ecología. Casilla 10077. Campus Universitario Calle 27, Cota Cota. La Paz, Bolivia.

Teléfono 793281, Fax 433665, email: rsivila@caoba.entelnet.bo

2 CIP/CONDESAN. Apartado 1558. Lima 12, Perú. Teléfono 3496017. Fax 3495638. email: d.herve@cqiar.org

RESUMEN

Se estudió la población microbiana en una rotación de cultivos, con descanso, común en el Altiplano Central boliviano. Se determinó la presencia y densidad de cuatro grupos taxonómicos de microorganismos: bacterias, hongos, actinomicetos y esporas de las micorrizas arbusculares en el suelo rizosférico de cuatro cultivos de la rotación (papa, quinua, cebada y avena); en las principales especies silvestres perennes (*Stipa ichu*, *Festuca dolichophylla*, *Baccharis incarum*) que colonizan las parcelas en descanso y en parcelas entre uno y más de 20 años de descanso. Se explora luego las relaciones entre las poblaciones de microorganismos y algunas características del suelo: textura, materia orgánica (carbono orgánico, nitrógeno total) y fósforo asimilable. Se relaciona finalmente los datos de suelo, microbiota y duración del descanso, mediante un análisis en componentes principales.

El cultivo de quinua, no-hospedero de micorrizas arbusculares, provoca un descenso en la población de esporas micorrízicas en el suelo rizosférico, así como de bacterias asociadas. La población de esporas de micorrizas presentes en el suelo tiene tendencia a aumentar después de 5-6 años de descanso. En los terrenos en descanso, las esporas de micorrizas arbusculares son más abundantes debajo de *Baccharis incarum* que de *Stipa ichu* y más abundantes que en suelo desnudo. Se observa relaciones entre la microbiota y la textura del suelo, el carbono orgánico y el fósforo asimilable.

INTRODUCCION

En el ámbito mundial, en los últimos años, las investigaciones en suelo han experimentado avances significativos. Sin embargo, no todas las ramas de la ciencia del suelo han alcanzado el mismo nivel de desarrollo, por lo que existe un desfase notable entre los conocimientos adquiridos sobre los procesos físicos y químicos que tienen lugar en el suelo y los procesos microbiológicos. Este desfase es todavía mucho más acentuado si nos referimos a los suelos bolivianos, ya que existe información sobre sus clasificaciones y sus propiedades pero son escasas las referencias sobre su composición microbiana y su respectiva actividad.

La microbiota del suelo es de gran importancia debido a los procesos en que interviene: descomposición y mineralización de la materia orgánica, formación y estabilización de los agregados de suelo, ataques a rocas y minerales, participación en los ciclos biogeoquímicos, además, constituye en sí un reservorio lábil de elementos nutritivos. Debido a ello, la microbiota del suelo es considerada por muchos autores como un agente decisivo tanto en la fertilidad del suelo como en la alimentación de las plantas (Montilla et al., 1992; Wardle, 1992; Sarmiento, 1995; Acea, 1996). Anderson y Domsch (1980), Sarmiento (1995) han evidenciado que la cantidad de nutrientes inmovilizados en los microorganismos es del mismo orden que las cantidades requeridas por el cultivo. Sin embargo, aún cuando la contribución de los microorganismos es reconocida, generalmente, éstos no son tomados en cuenta en los estudios de fertilidad.

El presente estudio busca adquirir conocimientos básicos de la microbiota, así como de los factores que intervienen en su presencia y actividad en suelos agrícolas del Altiplano Central boliviano. Para ello, se cuantifica la población microbiana en cultivos y en parcelas en descanso y posteriormente se relaciona con algunas características del suelo.

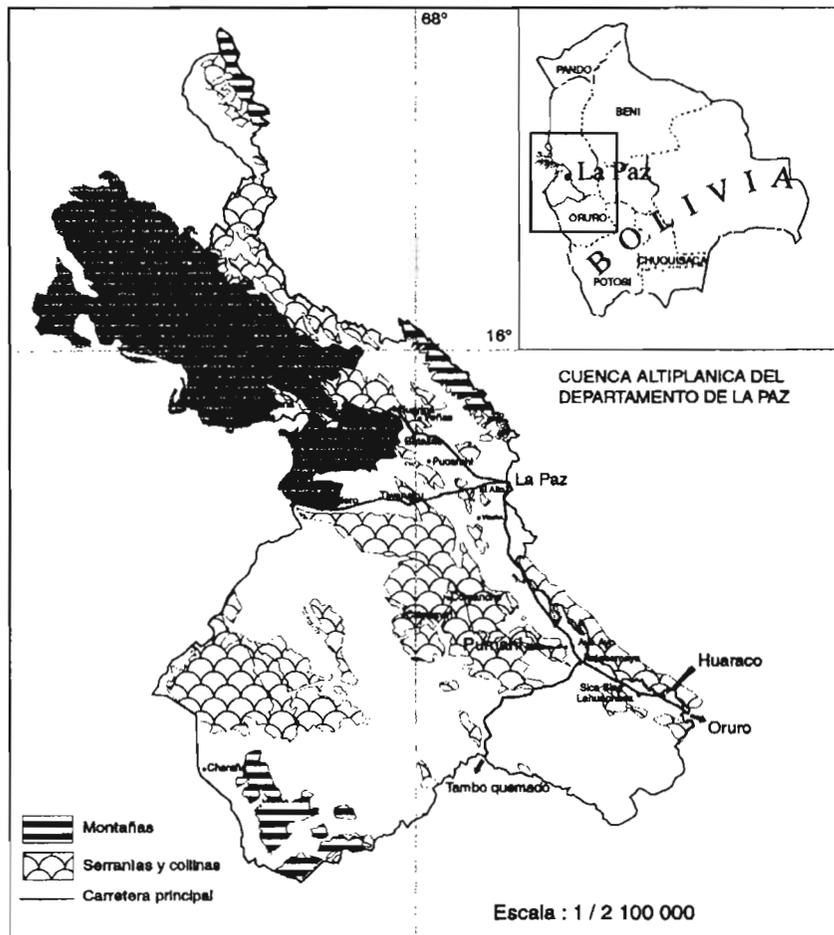


FIGURA 1. Ubicación de las comunidades en estudio.

MATERIALES Y METODOS

Los suelos en estudio pertenecen a las comunidades de Huaraco, Pumani y Patarani, ubicadas en la provincia Aroma del departamento de La Paz, a una altura promedio de 3800 msnm (Figura 1). Estas regiones son representativas de las condiciones del Altiplano Central boliviano, presentando baja densidad atmosférica y elevada radiación solar, clima semiárido con grandes amplitudes térmicas diarias y heladas. La temperatura media anual varía entre 8 y 10°C, las precipitaciones anuales son de 400 mm a 450 mm.

El suelo en descanso se rotura para sembrar papa (*Solanum tuberosum* var. *andigenum*), el único cultivo de la rotación que recibirá fertilización orgánica, siguen en general dos años de cultivo. En Huaraco se estudió los cultivos de cebada (*Hordeum vulgare*), avena (*Avena sativa*) y al final de la rotación, quinua (*Chenopodium quinoa*). En esta secuencia se analizó la densidad de la microbiota, bimensualmente hasta la cosecha. Para la época de descanso, se dispone de tres puntos de referencia.

En Huaraco, se usó una parcela cercada de 12 años de descanso con presencia de *Baccharis incarum*, *Parastrephia lepidophylla*, *Fabiana densa*, *Festuca dolichophylla*, *Stipa ichu*. En Pumani, se monitoreó *in situ* la población de los microorganismos en parcelas entre uno y más de 20 años de descanso. En Patarani, se estudia actualmente parcelas representativas de las tres etapas del descanso: 1-2, 5-7 y 10-20 años.

Se obtuvieron muestras en el horizonte superficial, hasta una profundidad de 20 cm, que se caracteriza por un bajo contenido de materia orgánica y baja capacidad de intercambio catiónico, de textura franco-arenosa, pH neutro a ligeramente ácido y contenido de fósforo variable (Cuadro 1).

CUADRO 1. Características del suelo en estudio

Localidad	Textura	pH H ₂ O	MO %	N total %	P Olsen ppm	C/N	Ca	Mg meq.100gr ⁻¹	K
Huaraco cultivos en rotación *	FA	6	1.6	0.14	15	12	5.8	2.4	1.18
Pumani parcelas en descanso **	FA	6.5	1.4	1.17	5.6	5.9	4.3	1.54	0.67

* Promedio de 8 observaciones ** Promedio de 16 observaciones.

Para los estudios microbianos, se utilizaron las técnicas señaladas por diferentes autores (Clark, 1965; Kauri, 1982; Acea y Carballas, 1996) y las metodologías descritas en Sivila (1994) y Sivila y Hervé (1994). La determinación del número de microorganismos se efectuó en medios selectivos sólidos, mediante el recuento de unidades formadoras de colonias (UFC), expresadas en unidades por 100 gramos de suelo seco. Se separó una parte de la muestra para determinar el porcentaje de humedad. Se sembraron 3 placas por dilución, con 3 diluciones, incubando a 28 °C durante 7 a 10 días.

Para valorar la presencia de las micorrizas arbusculares se sacó muestras de las raíces y del suelo rizosférico de los cultivos y, en las parcelas en descanso, solo del suelo. El aislamiento y la valoración de las esporas de los hongos micorrizógenos y del porcentaje de raíz colonizada se realizaron siguiendo los métodos clásicos de Gerdeman y Nicholson (1963), Giovanetti y Mosse (1980) y Sieverding (1989).

El conjunto de las determinaciones físico-químicas del suelo y de las poblaciones de cada grupo taxonómico de microorganismos, bacterias, hongos, actinomicetos y esporas de micorrizas arbusculares se relacionó al final con la duración del descanso mediante un análisis en componentes principales (ACP, STATITCF).

RESULTADOS

La microbiota en la sucesión de cultivos

Durante la sucesión de cultivos, la población microbiana total alcanza valores promedio que van desde 1.6 millones de microorganismos por gramo de suelo seco (gss) en cereales a 1.4 millones en papa y menos de 0.5 millones en el último cultivo de quinua (Cuadro 2). Los valores iniciales pueden ser mucho más elevados en el cultivo de papa, según la cantidad de estiércol que recibe como cabeza de rotación.

CUADRO 2. Densidad microbiana en la rizosfera de diferentes cultivos (Huaraco)

Especies cultivadas	Unidades formadoras de colonias UFC10 ⁴ g ⁻¹ suelo seco	% de infección de raíz por micorrizas	Esporas micorrizas por 100 g. suelo seco (± SD)*
<i>Solanum tuberosum</i>	143.9	57	1270 ± 83
<i>Hordeum vulgare</i>	165.1	50	1050 ± 170
<i>Avena sativa</i>	165.0	50	1100 ± 240
<i>Chenopodium quinoa</i>	45.8	0	700 ± 180

*Por tratarse de muestras compuestas, la desviación estándar sólo indica el error experimental entre las repeticiones. Fuente : Sivila (1994)

Se destaca un efecto del cultivo sobre la cantidad de esporas micorrízicas en la rizósfera y de unidades formadoras de colonias (Cuadro 2). A diferencia de los tubérculos y gramíneas, el último cultivo de la rotación, la quinua es un cultivo no-hospedero de micorrizas arbusculares, como lo son la mayoría de las Quenopodiáceas (Ocampo et al., 1980). Las hifas de las esporas germinadas en

campo no pueden colonizar la raíz de este cultivo y acaban pereciendo, dando como consecuencia la disminución en número y diversidad de esporas de micorrizas arbusculares.

Microbiota en la vegetación colonizadora del descanso

La sucesión de especies vegetales durante el descanso, anuales, gramíneas perennes y arbustos, deja suponer una interacción entre la vegetación y la microbiota del suelo. En la parcela cercada de Huaraco, el porcentaje de infección de la raíz por micorrizas arbusculares varía según las especies nativas (Cuadro 3). En orden de importancia tenemos *Baccharis incarum*, *Festuca dolichophylla* y *Stipa ichu*. Globalmente, el suelo rizosférico de las especies silvestres presentó una densidad de esporas micorrízicas arbusculares mucho mayor que el de las especies cultivadas (2050 esporas cada 100 g de suelo seco frente a 1000 esporas cada 100 g de suelo seco en las especies cultivadas).

CUADRO 3. Población de micorrizas en especies nativas en un terreno cercado de 12 años de descanso (Huaraco)

Especies nativas	% infección de raíz por micorrizas arbusculares
<i>Baccharis incarum</i>	88
<i>Festuca dolichophylla</i>	79
<i>Stipa ichu</i>	50

Fuente : Sivila (1994)

En Pumani, la vegetación nativa en las parcelas en descanso tiene una cobertura máxima de 30%. Se realizó un muestreo en el suelo desnudo (a más de 20 cm de las plantas) y debajo de las principales especies perennes, una gramínea *Stipa ichu* y un arbusto *Baccharis incarum* (Cuadro 4).

CUADRO 4. Efecto de la vegetación de *Baccharis incarum* y *Stipa ichu* sobre la microflora de un suelo en descanso (Pumani)*

Muestra suelo	Bacterias 10 ⁵	Hongos 10 ⁵	Actinomicetos 10 ⁵	Total microorg. 10 ⁵	Micorrizas
Debajo <i>Baccharis</i>	485	39	543	1067	1815
Entre <i>Baccharis</i>	178	38	484	700	868
Debajo <i>Stipa ichu</i>	203	75	669	947	1745
Entre <i>Stipa ichu</i>	166	48	769	1010	1259

*Valores promedios de los dos muestreos de 1992, referidos a 100 g de suelo seco

Fuente : Sivila y Hervé (1994: 192)

Los microorganismos son más abundantes en la rizósfera de *Baccharis incarum* y *Stipa ichu* que en suelo desnudo. El efecto positivo de *Baccharis incarum* es nítido sobre la cantidad de bacterias y sobre las esporas micorrízicas. En el caso de *Stipa ichu*, el efecto rizosférico es observable en bacterias, hongos y en menor proporción en micorrizas. El aumento de microorganismos es mayor debajo de *Baccharis* que debajo de *Stipa*. Para el total de microorganismos, la diferencia entre el suelo rizosférico y el suelo distante no es significativa. La copa de plantas adultas de *Baccharis incarum* posiblemente reduce fluctuaciones térmicas, aumenta la humedad en el suelo y acumula más hojarasca con resina que las gramíneas, lo que podría favorecer la microflora del suelo. Se debería investigar el efecto de la necromasa sobre la microflora del suelo y complementar el estudio con otras especies nativas muy comunes en el descanso: *Parastrephia lepidophylla* y *Tetraglochin cristatum*.

Comportamiento de los grupos taxonómicos

En Pumani, la determinación de solamente el stock de elementos químicos en el suelo no permitió poner en evidencia una recuperación clara de la fertilidad al final del descanso (Hervé, 1994; Hervé y Sivila, 1997). Sin embargo, al relacionar los diferentes grupos taxonómicos con el tiempo de descanso, el grupo que mayor tendencia denota es el de las esporas de las micorrizas arbusculares (Figura 2), puede verse en esta figura que hasta los 5 años de descanso la población de micorrizas es muy variable, dependiendo del manejo de la sucesión de cultivos anteriores y del último cultivo. Sin embargo, a partir de los 7 años, tiende a incrementarse con los años en descanso. Considerando la

totalidad de las parcelas, se obtiene un coeficiente de correlación de 0.35 entre la población de micorrizas y la edad del descanso. Si se toma en cuenta solamente las parcelas entre 8 y 20 años de descanso, este coeficiente de correlación se incrementa a 0.49 (probabilidad 1.84%, $R^2 = 0.24$). Los actinomicetos como las otras categorías de microorganismos no muestran tendencia nítida.

En Patarani (Cuadro 5), observamos también que la población de micorrizas arbusculares aumenta en un factor 10 entre el inicio y el final del descanso, cuando las bacterias aumentan solamente por un factor 2; en cambio el recuento de hongos y de actinomicetos no demuestra ninguna relación con el descanso del suelo.

CUADRO 5. Población de microorganismos en suelo en descanso (Patarani) *

Duración del descanso (años)	Bacterias 10^7	Hongos 10^5	Actinomicetos 10^7	Micorrizas
1 - 2	70	65	23.9	372
	72	24	21.3	284
5 - 7	97	17	35.4	572
	87	7	15	1800
10 - 20	155	68	4	3008
	169	138	19	4040

* Muestras 03/99. Proyecto UE Tropandes IC18-CT98-0263 (D612-CDPE)

Relaciones entre microbiota y características del suelo

En algunas parcelas en descanso de Pumani se logró realizar dos muestreos de suelo simultáneos, uno para el análisis químico y otro, repetido en épocas seca y húmeda, para el análisis microbiológico. De esta manera, se podía estudiar las posibles interacciones entre la microbiota y algunas características del suelo. Se presenta solamente las relaciones más notorias con la textura, el carbono y el fósforo.

El indicador más pertinente de la textura es, en este caso, la tasa de arena que es la que más varía. Se encuentra que los suelos más arenosos son más pobres en materia orgánica. Se relaciona entonces la población de microorganismos con ambas variables. No se encontró relación con las bacterias (Figura 3), posiblemente porque la calidad de la materia orgánica (C/N) influye más que su cantidad. Tanto las micorrizas arbusculares (Figura 4), como los actinomicetos (Figura 5) tienden a disminuir cuando la tasa de arena aumenta de 40 a 70% y cuando, paralelamente, la tasa de materia orgánica baja de 1.7 a 0.7%. Los actinomicetos y los hongos tienen una tasa de correlación similar con el C orgánico: 0.397 ($R^2=0.16$) y 0.414 ($R^2=0.17$), respectivamente.

Numerosas investigaciones relacionan negativamente el contenido en fósforo del suelo con la cantidad de esporas de micorrizas arbusculares (Siqueira y Paula, 1986). En la figura 6, se observa la disminución de la población de micorrizas con el fósforo asimilable Olsen. Se midió una correlación negativa, aunque poco nítida, entre micorrizas y fósforo (- 0.41, probabilidad 1%, $R^2=0.17$). Además, el contenido de fósforo disminuye con la edad del descanso, posiblemente por encontrarse capturado por la biomasa vegetal que se instala durante estos años de descanso. Las micorrizas ayudan a este proceso y se encuentran con mayor abundancia al final del descanso (Figura 2).

Análisis en componentes principales

Para verificar las relaciones entre la duración del descanso, las poblaciones de microorganismos y las características del suelo, se cruzaron estas informaciones mediante un análisis en componentes principales. Se logra así representar con cuatro ejes principales 88.3% de la variabilidad total (Cuadro 6). El círculo de correlación correspondiente al primer plano se presenta en la figura 7.

CUADRO 6. Ejes principales del ACP, evaluación microbiológica 1992*

Variables	Eje 1	Eje II	Eje III	Eje IV
% de variación	42.4	20.9	14.6	10.4
Edad descanso	0.22	0.31	0.02	0.32
Arena	0.85	0.02	0.01	0
MO	0.69	0.17	0.05	0
C/N	0.06	0.68	0.01	0.19
P	0.36	0.31	0.20	0
Ho	0.37	0.03	0.29	0.23
Ba	0.01	0.21	0.54	0.15
Ac	0.60	0.10	0	0.01
Mi	0.65	0.05	0.18	0.01

*Porcentajes de la variación total explicados por cada eje y correlaciones al cuadrado entre variables y ejes. Fuente: Hervé (1994)

El primer eje (42.4% de la variabilidad) reúne a micorrizas, actinomicetos y materia orgánica en oposición a la tasa de arena. Esta interpretación del eje I esta conforme a las relaciones expuestas entre microorganismos, tasa de arena y de materia orgánica (Figuras 4 y 5). El segundo eje (20.9%) opone el C/N y el fósforo a la duración del descanso. Hemos visto que el contenido en fósforo bajaba con la edad del descanso. La relación del C/N nos da pautas más precisas de interpretación que solamente el contenido de materia orgánica. El tercer eje (14.6%) opone bacterias a hongos. Se ha notado anteriormente un comportamiento de las bacterias diferente al de los otros microorganismos.

CONCLUSIONES

Las bacterias predominan sobre los demás grupos taxonómicos, actinomicetos y hongos. Las esporas de micorrizas constituyen el grupo que denota una relación tanto con el manejo de los cultivos como con la duración del descanso. Se puso en evidencia una micorrización en *Baccharis incarum* mayor que en gramíneas perennes (*Stipa ichu*, *Festuca dolichophylla*), todas son especies colonizadoras del descanso. Se confirmó que la valoración de esporas de las micorrizas arbusculares es un posible indicador del restablecimiento de la fertilidad microbiológica de los terrenos en descanso. En cuanto a la fertilidad global del suelo, queda claro que se debe integrar las características físicas, la disponibilidad de los elementos químicos y la microbiología del suelo.

AGRADECIMIENTOS

Se agradece a la Comunidad Europea (Proyecto Tropandes 1998-2001, INCO-DC N° IC18-CT98-0263 (D612-CDPE)) por haber dado continuidad (en la comunidad de Patarani) a las investigaciones microbiológicas antes realizadas bajo convenio entre el I.E. y el I.R.D. para estudios microbianos en el Altiplano central boliviano.

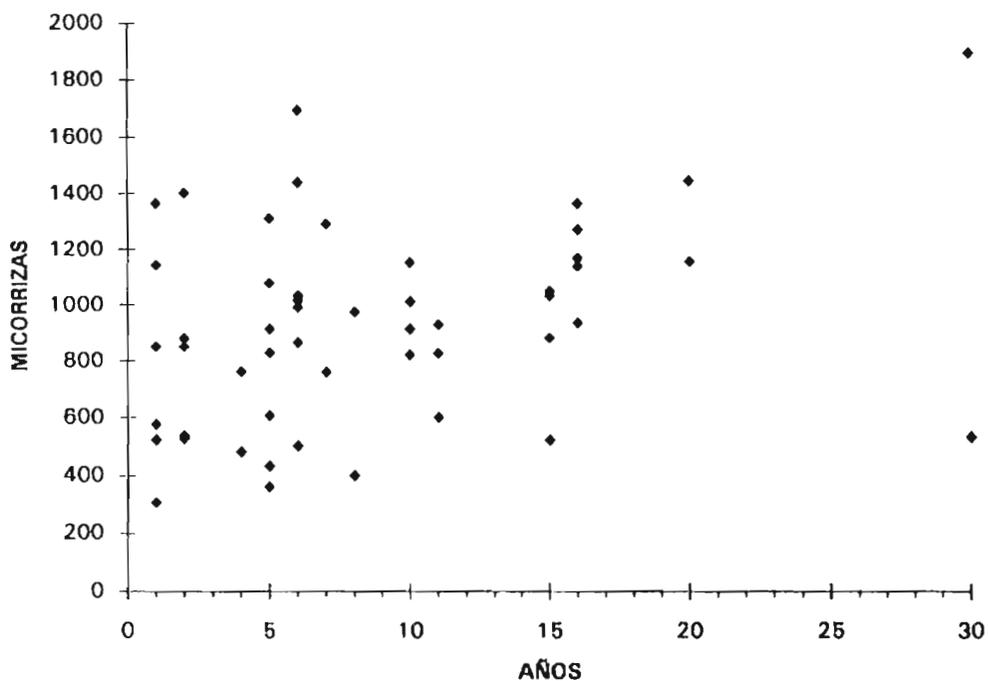


FIGURA 2. Relación entre número de esporas MVA y duración del descanso del suelo (1992-93).

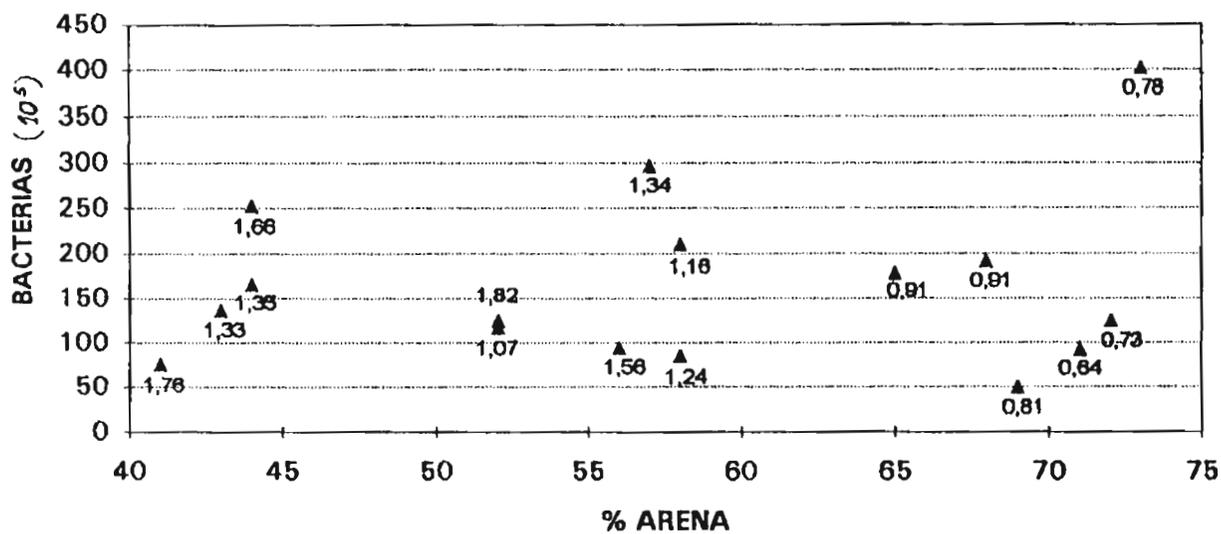
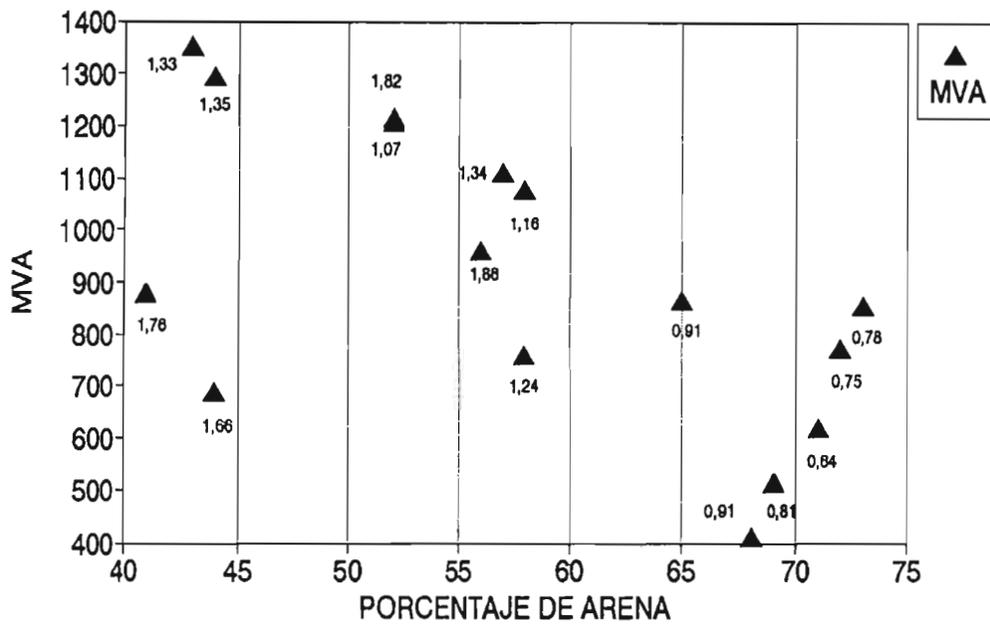


FIGURA 3. Relación entre población de bacterias (10⁵.100g⁻¹), % de arena y % de materia orgánica. Sivila y Hervé (1994).



NOTA : ▲ 1,66 % MATERIA ORGANICA

FIGURA 4. Relación entre valoración de esporas MVA, % de arena y % de materia orgánica. Sivila y Hervé (1994).

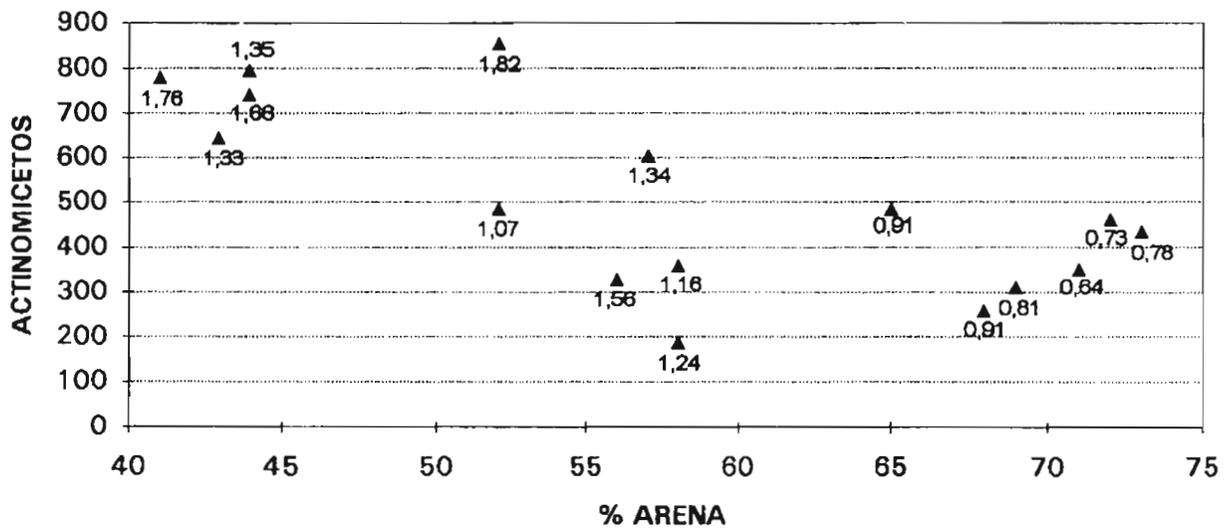


FIGURA 5. Relación entre población de actinomicetos, % de arena y % de materia orgánica. Sivila y Hervé (1994).

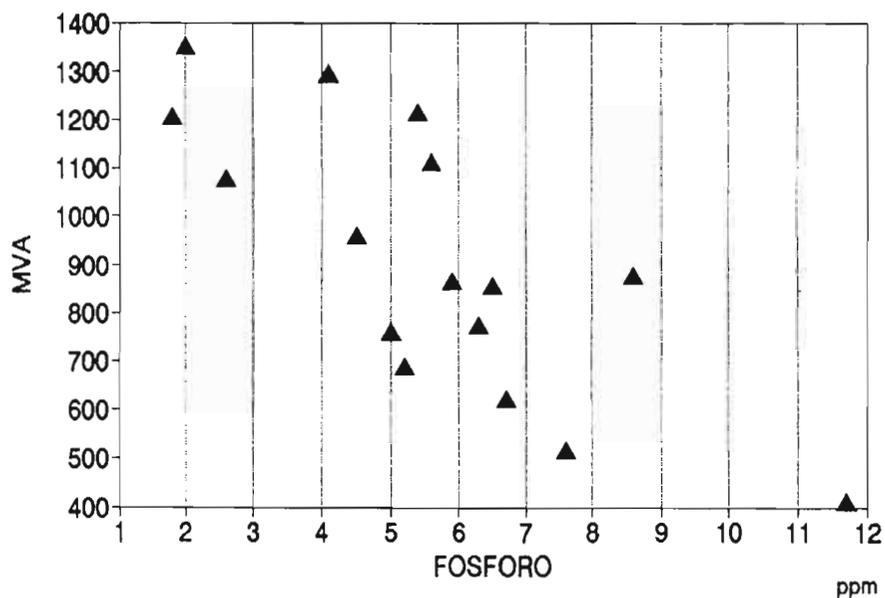


FIGURA 6. Relación entre fósforo asimilable (Olsen) y número de esporas MVA. Sivila y Hervé (1994).

PLANO 1 2

EJE 1 HORIZONTAL; EJE 2 VERTICAL

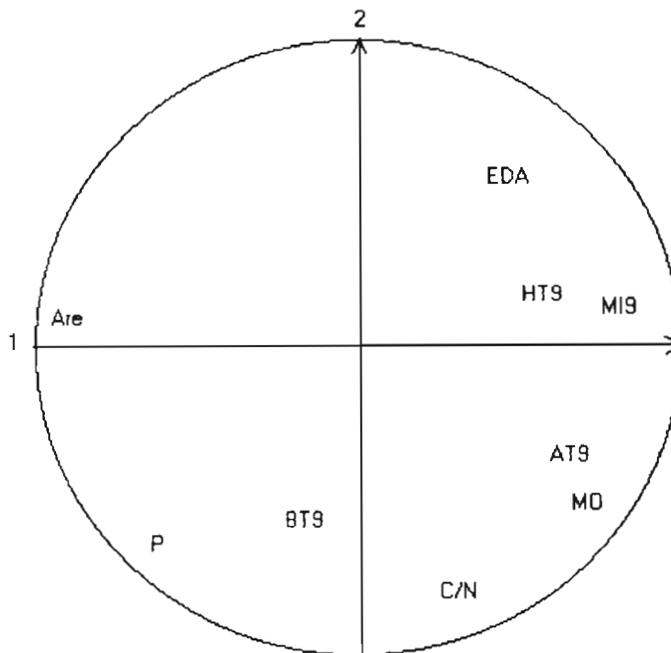


FIGURA 7. Círculo de correlaciones, primer plano ACP (1992).

BIBLIOGRAFIA

- Acea, M.J. y Carvallas, T., 1996. Changes in physiological groups of microorganisms in soil following wild fire. *FEMS, Microb. Ecol.* 20: 33-39.
- Anderson, J.P., Domsch, K.H., 1980. Quantities of plant nutrients in the microbial biomass of selected soil. *Soil Science* 130: 211-216.
- Clark, F.E., 1965. Agar plate methods for total microbial count. En Black C.A., Evans D. (Eds.): *Methods for analysis chemical and microbiological properties*, Madison, W.I., pp 1460-1465.
- Gerdeman, J.W., Nicholson, S.T., 1963. Spores of mycorrhizae endogone species extracted from soil by wet sieving and decanting, *Trans. Brit. Mycol. Soc.*, 15 (3): 243-259.
- Giovanetti, M., Mosse, B., 1980. An evaluation of techniques for measuring vesicular-arbuscular mycorrhizal infections in roots. *New Phytol.*, 84: 489-500.
- Hervé, D., 1994. Respuesta de los componentes de la fertilidad del suelo a la duración del descanso. En Hervé D., Genin D., Rivière G. (Eds.), *Dinámicas del descanso de la tierra en los Andes*, La Paz, IBTA-ORSTOM, pp165-169.
- Hervé, D., Sivila, R., 1997. Efecto de la duración del descanso sobre la capacidad de producir en las tierras altas de Bolivia. En Liberman M., Baied C. (Eds.), *Desarrollo sostenible de ecosistemas de montaña: Manejo de áreas frágiles en los Andes*, La Paz, ONU-LIDEMA, pp 189-199.
- Kauri, T., 1982. Seasonal fluctuations in numbers of aerobic bacteria and their spores in four horizons of a beech forest soil. *Soil Biol. Biochem.*, 14: 185-190.
- Montilla, M., Herrera, R.A. y Monasterio, M., 1992. Micorrizas vesículo-arbusculares en parcelas que se encuentran en sucesión-regeneración en los andes tropicales. *Suelo y Planta*, 2: 59-70.
- Mosse, B., 1973. Advances in the study of vesicular-arbuscular mycorrhizae. *An. R. Phytopath.*, 11: 171-196.
- Ocampo, J.A., Martin, J., Hayman, D.S., 1980. Influence of plant interacciones on V.A. mycorrhizal infections. I Host and non host plants grown together. *New Phytol.* 84: 27-35.
- Sarmiento, L., 1995. Restauration de la fertilité dans un système agricole à jachère longue des hautes Andes du Vénézuéla. These doctorale Université de Paris-Sud, France.
- Sieverding, E., 1989. Manual de métodos para la investigación de micorrizas V.A., CIAT, Colombia.
- Siqueira, J.O., Paula, M.A., 1986. M.V.A. en mudas de cafeiro II efeito do fósforo no estabelecimento e funcionamento da simbiose. *Rev. Bras. Ci. Solo*, Brasil, Campinas SP, 10: 207-212.
- Sivila, R., 1994. Comportamiento de la microflora del suelo bajo un agroecosistema de rotación de cultivos en la región de Huaraco. *Altiplano Central. Ecología en Bolivia*, 23: 33-47.
- Sivila, R. y Hervé, D., 1994. El estado microbiológico del suelo, indicador de la restauración de la fertilidad. En Hervé D., Genin D., Rivière G. (Eds.), *Dinámicas del descanso de la tierra en los Andes*, La Paz, IBTA-ORSTOM, pp 185-197.
- Wardle, D., 1992. A comparative assessment of factor which influence microbial biomass carbon and nitrogen levels in soils. *Biological Reviews*, 67: 321-358.

Técnicas de diagnóstico de laboratorio para análisis de suelos y plantas

R. A Bowman¹, Oswald Eppers² y Eduardo Panique³

1 Departamento de agricultura de los Estados Unidos (USDA-ARS). ACIDI/VOCA (Agricultural Cooperative Development International Volunteers in Overseas Cooperative Assistance). Akron, Colorado, USA.

2 Universidad Técnica de Oruro. Oruro, Bolivia.

3 Instituto Boliviano de Tecnología Agropecuaria (IBTA). Tarija, Bolivia.

RESUMEN

Los objetivos generales de un laboratorio de suelos y análisis de plantas dependen de la capacidad del laboratorio y del personal disponible. Las pruebas de suelo deben proveer un punto inicial para desarrollar un programa de fertilización para la producción de los cultivos principales en la región y también para recolectar datos (materia orgánica, cantidad de nutrientes, sales, etc.) que puedan servir de referencia para el mantenimiento sostenible del suelo. En este artículo se tratarán los cinco objetivos de un laboratorio de análisis de suelos y plantas. En la primera instancia, el laboratorio debe tener una calidad confiable. El técnico usa estándares (valores conocidos) de plantas y suelos para comparar los de muestras desconocidas, usa control de calidad (%VC) con estándares medidos, a veces con las muestras y a veces usa laboratorios extranjeros, para comparar los resultados contra los de su propio laboratorio. El segundo objetivo es hacer buenas recomendaciones al agricultor en cuanto a cantidad y forma de fertilizante, cuando aplicar, etc. El tercer objetivo es que el técnico, por los análisis, debe averiguar cuáles son los problemas que limitan el rendimiento (pH, N, P, sales, sodio, compactación) y puede establecer la forma de solucionarlos. Además debe hacer las pruebas y análisis lo más pronto posible (pero también con precisión y con costo adecuado). Finalmente, el laboratorio tiene que recomendar el manejo de nutrientes para no dañar el medio ambiente (nitratos, P, pesticidas en el agua). Se discutirán más a fondo estas técnicas y también observaciones sobre mi breve experiencia con los laboratorios de Oruro y Tarija.

En el análisis de suelos y plantas las técnicas de diagnósticos son muy importantes para países desarrollados como los EUA y para países en desarrollo como Bolivia. El análisis sirve como herramienta de planificación en el manejo de la finca para mejorar la rentabilidad y a la vez para mejorar el uso de los recursos naturales sin dañar el medio ambiente.

En muchas áreas del mundo, por causa de la erosión y el uso de labranza común, el contenido de la materia orgánica del suelo (MO) ha bajado unos 40 a 50% de su valor original. Generalmente, ha sido una disminución en la fertilidad del suelo por la falta de residuos vegetales, como por el bajo uso de fertilizantes y enmiendas como abono verde y estiércol. Esa cantidad de pérdida de nutrientes no se puede conocer sin un programa de muestreo y análisis de suelos y materiales vegetales. Este trabajo dará una breve tesis sobre dicho tema en cuanto a actividades de diagnóstico en los EUA (Akron, Colorado) y en dos laboratorios en Bolivia (laboratorio del Instituto Boliviano de Tecnología Agropecuaria en Tarija y Spectrolab en Oruro con la Universidad Técnica de Oruro, UTO).

DESCRIPCION BREVE DE LOS TRES LUGARES

Aunque hay en Colorado un laboratorio de servicios agrícolas para los agricultores con la Universidad Estatal de Colorado (CSU), se va a usar para comparación el Laboratorio Federal del Departamento de Agricultura de los EUA, Servicios de Investigaciones Agrícolas (USDA-ARS) ubicado en Akron. El Dr. Bowman trabaja allá y era el voluntario con ACIDI/VOCA durante el Congreso Boliviano de Suelos en La Paz. Este laboratorio, situado en la parte central de las Grandes Llanuras, tiene como propósito, establecer pautas para el crecimiento de cultivos sin riego, con labranzas cero o mínima y con la mínima cantidad de barbecho (hasta cultivos continuos), en rotaciones de tres años o más. La conservación de agua con cobertura y residuos vegetales y la conservación de la materia orgánica (MO) y residuos vegetales para proteger el suelo de la erosión, son partes integrales de ese sistema de cultivo. El laboratorio da servicios para análisis de suelos y plantas para investigaciones agrícolas y no ofrece servicio general al público. Los días de campo e informes de producción (Fact. Sheets) para los agricultores son utilizados en la transferencia de tecnología.

Spectrolab en Oruro empezó, principalmente, con servicios para análisis de minerales y elementos pesados por el trabajo con las minas y sus efectos y transporte en el suelo y las aguas superficiales. Hoy día, con el Dr. Eppers como gerente general, ofrece también servicios agrícolas para la evaluación de la fertilidad del suelo y la calidad del agua. Aunque Spectrolab es parte de la Universidad Técnica de Oruro (UTO), Facultad de Ingeniería, está descentralizado y debe autofinanciar sus actividades.

IBTA ofrece muchos servicios en el departamento de Tarija, pero este artículo tratará la parte de los servicios de análisis que ofrece el laboratorio, donde el Ing. Eduardo Panique es el jefe. La gente que trabaja en el laboratorio ha tenido capacitación en el manejo de laboratorio con el Dr. Emmett Schulte, voluntario pasado con ACDI/VOCA. Ahora, el trabajo se concentra en la interpretación de los resultados del laboratorio y los estudios de fertilizantes para la calibración de campo.

Se puede ver el Cuadro 1 que hay muchas diferencias en los tres lugares en cuanto a altitud, precipitación, tipo de suelos, recursos de personal y equipos en el laboratorio. El cultivo de muchos cereales es común para los tres lugares, inclusive se cultiva papa en Colorado, pero no como parte de las investigaciones de la estación federal en Akron.

CUADRO 1. Comparación de los tres laboratorios: Akron, Oruro y Tarija.

Laboratorio (Sitio)	Suelo Orden	Altitud	Precipitación	Cultivos principales	Personal y equipo Disponible	Análisis común*
Oruro	Aridisol	3700 m	275 mm	Papa Quinoa Cebada Trigo	8 ICP AAS	Metales pesados Todos Micronutrientes
Tarija	Aridisol	2000 m	500 mm	Papa Maíz Arveja Vid	2 Colorímetro Llama	Todos
Akron	Molisol	1200 m	420 mm	Trigo Maíz Mijo Girasol	3 Colorímetros AAS, C-N Lachat	Todos micronutrientes NO, NH.

*Análisis común pH, sales, MO, textura, IC,P,K disponible

INTRODUCCION AL ANALISIS DE SUELO

Las pruebas de suelo deben proveer un punto inicial para desarrollar un programa de fertilización para la producción de los cultivos principales en la región y también para recolectar datos (materia orgánica, cantidad de nutrientes, sales, etc.) que puedan servir de referencia para el mantenimiento sostenible del suelo. Para cumplir con esa función hay cinco objetivos de un laboratorio. El laboratorio debe tener una calidad confiable; debe hacer buenas recomendaciones para el agricultor (cantidad y forma de fertilizante, cuando aplicar, etc.); el personal técnico, por los análisis, debe averiguar cuales son los problemas que limitan el rendimiento (pH, N, P, sales, sodio, compactación) y cuales son las posibles soluciones; se deben realizar las pruebas y el análisis lo más pronto posible, con precisión y a un costo adecuado y finalmente, el laboratorio debe recomendar el manejo de nutrientes adecuado para no dañar el medio ambiente (nitratos, P, pesticidas en el agua). Esos objetivos se pueden discutir bajo los cuatro principios según Melsted y Peck (1973) citados en el libro "Soil Testing and Plant Analysis":

- muestreo de campo
- extracción de suelos y análisis químicos
- correlación e interpretación de los resultados analíticos
- recomendaciones de fertilizante o enmiendas para el agricultor

Se discutirá brevemente cada punto haciendo una comparación entre los tres laboratorios.

Muestreo de campo

Aunque hay cuatro principios para el análisis de suelos, sin una muestra representativa del campo, no sirven los demás principios, por ello la toma de muestras en el campo es un paso crucial. Se deben recolectar las muestras cuidadosamente para asegurar que los resultados de los análisis sean representativos, muchos laboratorios proveen guías para tomar la muestra. En general, se puede

tomar al azar muestras en 15 a 20 sitios, tomando en cuenta diferencias en topografía, tipo o color de suelo o prácticas de manejo. Se deben mezclar bien las submuestras. Se sugiere que tomar la muestra entre los 15 a 20 cm de profundidad para cultivos anuales y a 7 a 10 cm para pastos. En los EUA usan esas profundidades, pero también se toman muestras hasta los 60 cm para el estudio de secuestro de carbono (un tema muy de moda en los países desarrollados).

En Colorado tenemos equipo para muestreo que llega hasta 2 m de profundidad (Giddings probe que se monta con tractor), pero en Bolivia se usa tubos a mano para llegar hasta 15 a 30 cm. En algunos lugares de Colorado están empezando a usar muestreo detallado por cuadrículas para verificar la variación espacial en la fertilidad del suelo. Eso se llama manejo por sitio específico y requiere muchos recursos para empezar. Con cualquier método, no es necesario ir a profundidades mayores a 30 cm, salvo que se esté evaluando nitratos en el perfil. Solo el laboratorio en los EUA evalúa nitratos y cantidad de agua gravimétrica hasta 2 m de profundidad.

Extracción de suelos y análisis químicos

Antes de extraer elementos del suelo, hay que secar bien la muestra de suelo a 40°C, o preferiblemente al aire lo mas pronto posible para evaluar nitratos y N. Algunos laboratorios usan hasta 105°C para conocer la cantidad de agua gravimétrica. Luego, se debe pasar la muestra por un tamiz de 2 mm. Tenemos en los EUA equipo mecánico para moler el suelo y pasarlo a la vez en tamices de 2 mm, pero en Bolivia, se usa botellas o cilíndricos de madera para moler el suelo.

Para la determinación de nitratos, si no se va a preparar la muestra de inmediato, hay que guardarla a 0-4°C.

Se supone que todos los laboratorios cuentan con equipos básicos para la extracción y análisis de suelos. En Tarija, eso será posible con su nuevo laboratorio. En Spectrolab el laboratorio para análisis físico y los equipos son muy buenos.

Antes de ingresar en el laboratorio, el técnico debe saber algo sobre la seguridad y el uso apropiado de compuestos químicos y como protegerse contra accidentes, debe saber como prepararse para problemas y como tratarlos. Esta preparación es parte integral de los laboratorios en los EUA. La falta de recursos, y a veces de entrenamiento, hacen que esta parte sea un poco más difícil de cumplir totalmente en otros lugares.

Decimos que el primer objetivo del laboratorio es tener análisis de alta calidad. El técnico debe conocer bien el método y equipo químico apropiado de análisis. Para el análisis de suelo se requiere métodos simples, precisos y rápidos para medir los nutrientes disponibles, por esta razón el técnico usa estándares (valores conocidos) de plantas y suelos para comparar con los valores de muestras desconocidas, usa control de calidad (%CV) con estándares medidos, a veces usa laboratorios extranjeros para comparar los resultados con los de su propio laboratorio. Con muchos laboratorios de servicio en los EUA este mandato de análisis no presenta problemas, pero a veces, sí se presentan en Bolivia. El laboratorio en Tarija tiene capacidad de hacer todos los análisis básicos (pH, MO, P y K disponible, cationes, textura, etc.), pero no micronutrientes por falta de espectrofotómetro de absorción atómica (AAS). Spectrolab tiene ICP para elementos totales, pero no tiene colorímetro básico para elementos disponibles, a veces, usan paquetes preparados para análisis de agua con equipo específico de la compañía "Hach". El laboratorio en Akron, Colorado, tiene muchos equipos sofisticados como analizador de C-N para MO y N total a la vez, autoanalizador "Lachat" para nitratos y amonio, AAS para micronutrientes y para la MO se usa ácido crómico, que en Bolivia puede presentar problemas de desechos, y el método Kjehdal para N. Están empezando a usar el método de pérdida de peso por combustión para la MO.

En cuanto al análisis para plantas, se puede usar los mismos equipos, pero cambian los procedimientos porque se requiere elementos totales y una digestión con ácidos fuertes (sulfúrico, perclórico, nítrico). El laboratorio en Oruro tiene buena capacidad para esto. En los Estados Unidos algunos laboratorios (Akron incluido) ya no usan ácido perclórico por el problema potencial de explosión.

Correlación e interpretación de los resultados

La correlación e interpretación de los resultados requiere práctica y conocimiento previo sobre el análisis de nutrientes en la planta y en el suelo. Un elemento puede ser analizado con precisión en el laboratorio pero esto no significa que las interpretaciones para su aplicación tengan la misma precisión. Esto se debe a que la interpretación se basa en investigación de campo que correlaciona la presencia del nutriente con la respuesta del cultivo a la aplicación de ese nutriente. Esta investigación

de campo da sentido a los resultados del análisis de suelo. Desafortunadamente, en muchos casos no existe esa investigación.

Para llegar a esos resultado, el técnico determina, por ejemplo, la cantidad de P disponible con el método Olsen o Bray, obteniendo valores que se pueden comparar con una tabla de índices de fertilidad para el P. El cuadro 2 contiene rangos que corresponden a valores muy altos, altos, medianos bajos y muy bajos, estos rangos se consiguen por la respuesta de los cultivos en el campo al agregarle fertilizante P. Este tipo de trabajo se está llevando a cabo en Tarija, pero no en Oruro, ya que es solamente en laboratorio de servicios y no de investigaciones como IBTA en Tarija.

CUADRO 2. Tasas sugerida de P en banda y al voleo para el maíz en Colorado.

ppm-P en suelo NaHCO ₃	Rango	Tasa de fertilizante kg. ha ⁻¹	
		Banda	Al voleo
0-6	Bajo	40	80
7-14	Medio	20	40
15-22	Alto	0	0
>22	Muy bajo	0	0

Recomendaciones de fertilizantes o enmiendas para el agricultor

Para hacer buenas recomendaciones hay que saber de cinco cosas: 1) el nivel presente del nutriente 2) el cultivo que se va a crecer 3) manera y tasa de siembra 4) el aumento en la tasa de crecimiento con diferentes niveles de fertilizante y 5) la manera de aplicar el fertilizante (bandas o al voleo). El muestreo de suelo solo indica el primero, no dice nada del rendimiento potencial del suelo, el clima, las prácticas de manejo o la cantidad de fertilizante necesario. La exactitud con que se interpreta el valor del muestreo depende de la calidad del trabajo de campo en que se basa la correlación. El valor del muestreo y el análisis de suelo es simplemente para indicar el punto inicial, el nivel inicial del nutriente, en que se va a basar el juicio para aplicar fertilizantes.

Los agricultores analizan sus suelos porque quieren incrementar sus rendimientos y rentabilidad, pero también están interesados en elevar y mantener los niveles de fertilidad del suelo protegiendo al mismo tiempo el medio ambiente. Por este motivo, el técnico recomienda fertilizantes para lograr rendimientos óptimos, manteniendo el contenido de todos los nutrientes a niveles que no sean limitantes para el crecimiento y desarrollo de la planta, desde la germinación hasta la madurez. Si el contenido de uno o más nutrientes es medio o bajo, se aplica fertilizante para alcanzar niveles altos y de allí en adelante se monitorean periódicamente los niveles nutricionales para estar seguro de que se mantengan a través del tiempo. Todo eso requiere mucha experiencia con muchos años de investigación de campo para incorporar diferentes datos de clima, tipos de suelos, cultivos, manejos, etc.

El cuadro 3 muestra la relación entre el contenido de P en el suelo por el método de Olsen y la probabilidad de respuesta a la aplicación de P. Cuando los valores son altos, a veces todavía hay aumento en el rendimiento con el uso de "aplicación de arranque" (starter fertilizer), especialmente cuando el suelo es un poco frío. En Colorado siempre aconsejamos a los agricultores que agreguen N y P para trigo y N, Zn y a veces P para maíz (Cuadro 4).

CUADRO 3. Contenido de P según rango y probabilidad de respuesta.

Rango de P	Probabilidad de respuesta
Bajo	95-100%
Medio	65-95%
Alto	30-65%
Muy alto	10-30%

CUADRO 4. Tasas de N(kg.ha⁻¹) sugeridas para el maíz (sin riego) en Colorado. Nitratos (ppm) acumulados hasta 60 cm

ppm NO ₃ -N en suelo	Rendimiento Esperado (kg grano.ha ⁻¹)			
	3,600	4,800	6,000	7,200
	1.0% (20%) de MO*			
5	60 (50)	80 (70)	100 (85)	120(105)
10	20 (10)	40 (30)	60 (45)	80 (60)
15	0 (0)	0 (0)	20 (5)	40 (25)
20	0 (0)	0 (0)	0 (0)	0 (0)

*Se estima que 1% de MO contribuye 30 kg.ha⁻¹ de N. Por eso con 2% se requiere menos fertilizante. La tabla no tiene crédito cuando se cultivó una leguminosa previamente

Los problemas comunes en los tres lugares son la erosión, por falta de residuos vegetales y de MO en el suelo, y la falta de agua suficiente para los cultivos. En Bolivia, áreas del Altiplano tienen también problemas con sales y sodio. Los niveles de P son bajos a medios. En los EUA por el uso de N (fuentes de amonio y urea) en labranza cero y con más cultivos en la rotación, se está empezando a acidificar la parte superficial del suelo, se dan valores de pH menores a 5.5 a 5 cm de profundidad, hasta en las áreas semiáridas que antes tienen pH inicial más alto. También ha aumentado el contenido de P y de MO en la capa superficial. La tendencia, actualmente, es incluir más cultivos en la rotación, en las Grandes Llanuras se tenían rotaciones de trigo y barbecho, trigo-maiz-mijo-barbecho o trigo-maiz-girasol-barbecho. Ahora se incluyen, poco a poco, arvejas y frijoles, pero la falta de agua es un gran problema para el cultivo continuo. En este tipo de rotación se usa herbicidas (residuales y de contacto) para no disturbar el suelo con labranza común y así perder el agua .

CONCLUSIONES

- El análisis de suelo nos da información para evaluar la calidad del suelo. Sabemos, por experiencias pasadas, que si el pH es muy bajo, tenemos que aplicar cal o sembrar cultivos resistentes a la acidez. Este valor de la reacción del suelo va a determinar problemas con el P y a veces con el manganeso (pH<5.5) y el aluminio (pH<5.0). Si tenemos carbonatos de calcio (pH>7.7), como tenemos en Colorado, también hay problemas con la disponibilidad del P, problemas con zinc y hierro, especialmente en los cultivos de mijo y maíz. Si hay exceso de sales o sodio (análisis de conductividad eléctrica del suelo y relación de absorción de sodio) hay que eliminarlo con riego y yeso ó azufre si existe carbonatos, hasta que no haya influencia perjudicial para las raíces. Si hay una disminución en la cantidad de la MO, tal vez hay problemas con la erosión, la cobertura y el tipo de labranza, esto puede indicar la ausencia de una buena agregación y la menor infiltración de agua (especialmente si le falta Ca) y también la pérdida de fertilidad y la productividad del suelo.
- En Tarija se tiene conocimiento suficiente en análisis de suelos y plantas. Se está aprendiendo con los ensayos de campo como ajustar las recomendaciones de fertilizantes. Se necesita ahora capacitación en control de erosión, aprovechamiento de agua y cultivos adaptados a la sequía.
- En Oruro, se tiene menos experiencia con análisis para la fertilidad y manejo del suelo, deben reunirse con extensionistas para hacer recomendaciones. Tienen la capacidad de tener un buen laboratorio por que cuentan con personal con mucha capacitación y muy buen equipo.
- Los laboratorios e investigaciones en los EUA dan principios de producción y muchos datos sobre clima, suelos, manejo con los diferentes tipos de fertilizante, localización de fertilizante, equipo para fertilizar, sembrar, aplicar pesticidas y cosechar. Pero tal vez, lo más importante que ofrece los EUA es el área de capacitación de los científicos y técnicos, donde ellos pueden adquirir conocimientos básicos sobre la fertilidad y química del suelo y la agronomía de los cultivos.

BIBLIOGRAFÍA

Association of Oficial Analytical Chemists. Inc. (AOAC), 1996. Official methods of analysis, Arlington, Virginia.

Brown, J. et al., 1987. Soil testing sampling, correlation, calibration, and interpretation. Madison, WI. SSSA Special Publication N°. 21, ASA, SSSA.

Carter, M.R., 1993. Soil sampling and methods of analysis. Boca Raton, Florida. Lewis Publishers.

Klute et al. y Page et al., 1986 Methods of soil analysis. Madison, WI USA, Parts 1 and 2, Agronomy N° 9, ASA, SSSA.

Mills, H.A. y Jones, J.B., 1996. Planta analysis handbook II. Jefferson City,MO, MicroMacro Publishing. Inc.

Walsh, L. y Beaton, J.D., 1973. Soil testing and plant analysis. Madison, WI, SSSA Inc.

Dinámica del cadmio en el sistema suelo – planta en un suelo contaminado con residuos sólidos de aguas servidas

David Hervás¹

1 Universidad Evangélica Boliviana (UEB). Casilla 4027. Santa Cruz, Bolivia. email: ueb@bibosi.scz.entelnet.bo

RESUMEN

Muestras del horizonte A de un oxisol, de textura arcillosa, fueron incubadas con dosis crecientes de Cd con el objetivo de estudiar el comportamiento del Cd en sus diferentes formas químicas (soluble, intercambiable, ligado a la materia orgánica, óxidos de Fe y Mn, residual). El ensayo fue realizado en el invernadero de la Universidad Federal de Viçosa (Brasil) de marzo a octubre de 1995. El diseño experimental fue de bloques al azar con arreglo factorial $2 \times 3 \times 4$, siendo dos los niveles de cal (ausencia y presencia), tres los tiempos de incubación (0, 30 y 60 días) y cuatro las dosis de Cd (0, 1.5, 3.0, 4.5 $\mu\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$). Después de 60 días de incubación del suelo con residuo sólido de aguas servidas enriquecidas con las diferentes dosis de Cd, las muestras fueron secadas al aire, homogeneizadas, pasadas por malla de 2 mm de abertura y guardadas en bolsas plásticas para su extracción secuencial. Posteriormente, en macetas de plástico se colocó 1.7 dm^3 de sustrato (suelo incubado con residuo enriquecido) para estudiar la dinámica del Cd en plantas de trigo cv. Embrapa 22. La extracción secuencial mostró que el Cd no está ligado a la materia orgánica. Cuando se eleva el pH del suelo, el Cd ligado a los óxidos de Fe y Mn disminuye, aumentando la fracción residual que potencialmente es menos tóxica en relación a las otras formas químicas. La concentración de Cd en las diferentes partes de la planta fue: raíz > parte aérea > granos. Para las dosis probadas y bajo las condiciones del ensayo la concentración de Cd en los granos fue menor que el límite crítico permitido para consumo humano según las normas brasileras.

INTRODUCCION

Actualmente existe un aumento en la producción de residuos sólidos de aguas servidas por la población creciente de los centros urbanos y como resultado de la intensidad del proceso de industrialización, siendo la cuestión de manejo, tratamiento y destino final de estos residuos un problema crítico y prioritario, especialmente cuando se busca preservar el medio ambiente.

Es sabido que los países desarrollados confrontan serios problemas de polución del aire, agua y del suelo. La actividad industrial es una de las fuentes principales de polución del suelo con metales pesados como el cadmio (Cd).

La aplicación de los residuos sólidos en suelos agrícolas está convirtiéndose en una práctica común por la concentración relativamente elevada de materia orgánica que estos tienen. Este hecho determina que este material tenga un potencial considerable para mejorar la fertilidad del suelo. Al mismo tiempo, ese uso disminuye los problemas ocasionados por la acumulación y/o no utilización de los residuos sólidos. Sin embargo, a pesar de los efectos benéficos por la incorporación de estos residuos, existe el riesgo de contaminar el suelo ya que algunos residuos procedentes de áreas industrializadas pueden contener elevadas concentraciones de metales pesados tornándolos potencialmente peligrosos por el hecho de contener Cd, Ni, Pb, Zn y Cu (Sommers et al., 1976; Alloway, 1990), produciendo contaminación que puede llegar a niveles tóxicos para los animales y el hombre (Willaert y Verloo, 1988), destacando que, en el hombre el Cd puede acumularse en el hígado, riñones y páncreas, causando problemas gastrointestinales y renales (Page y Bingham, 1973). Por esta razón, en los últimos años, se ha procurado definir normas de aplicación de los residuos sólidos de aguas servidas y se han establecidos criterios de fitotoxicidad con miras a un mínimo impacto medio ambiental (Chang et al., 1992). Por la importancia del tema, métodos de fraccionamiento químico fueron propuestos como medio de separar las formas de los metales pesados presentes en residuos sólidos (Holtzclaw et al., 1978) y en suelos incubados con éstos residuos en condiciones de laboratorio (Silveira y Sommers, 1977).

Nogales et al. (1993) observaron que la dinámica del Cd en el suelo y la absorción por plantas de trigo fue diferente cuando el Cd fue incorporado al suelo directamente como sal, comparado con el Cd incorporado con el residuo sólido contaminado. En el primer caso, el metal es fuertemente retenido en el suelo, mientras que en el segundo, es móvil (Sposito et al., 1983; Shuman, 1995 y Sims y Kline, 1991).

En la extracción secuencial, la misma muestra es extraída sucesivamente con diferentes reactivos, de manera que permita caracterizar la concentración de los metales en cada fracción. Según Tessier et al. (1979), el uso de la concentración total como criterio para evaluar el efecto potencial de contaminación con metales pesados implica que todas las formas de un metal tiene igual impacto en el medio ambiente. Una propuesta para extracción secuencial por estos autores es descrita ampliamente por Hervás (1996).

Las propiedades de los suelos que afectan la disponibilidad de los metales pesados para las plantas han sido ampliamente estudiadas, entre las más importantes se citan: pH, capacidad de intercambio catiónico, porcentaje de arcilla, materia orgánica, óxidos de Fe y Mn (McBride et al., 1981; Korcak y Fannig, 1985; King, 1988), así como reacciones de precipitación y de solubilización, oxidoreducción, adsorción y desorción (Verloo et al., 1980).

En la literatura científica, se encuentra amplia información de la influencia del pH en la dinámica de los metales pesados en el suelo, así como, en la absorción por las plantas. Recientemente, Mann y Ritchie (1993) estudiaron el efecto del pH en las formas de Cd nativo y de Cd adicionado como $\text{Cd}(\text{NO}_3)_2$ en cuatro suelos diferentes en cuanto a concentración de arcilla, óxidos y materia orgánica. Ellos observaron que, en suelos en los cuales la superficie de adsorción estuvo constituida principalmente de goethita, de 50 a 70% de Cd fue extraído en las fracciones óxido y residual, a pH menor a 5. El esquema de extracción secuencial usado por estos investigadores, no considera la fracción carbonatos siendo consecuentemente mejor para suelos ácidos.

Además del pH del suelo, Lindsay (1970) considera que la adsorción y la actividad de los microorganismos son factores importantes en el control del nivel de metales en el suelo, destacando que la fase mineral es el agente controlador fundamental de la cantidad de elementos en la solución. Así, en condiciones alcalinas, muchos metales pesados se tornan menos solubles formando precipitados, como hidróxidos y carbonatos, siendo menos disponibles para las plantas. Otra consecuencia del incremento del pH es que se aumenta la CIC del suelo, incrementando la adsorción de cationes. Ese efecto puede ser más pronunciado en suelos de carga variable, tales como oxisoles intemperizado conteniendo gibbsita y goethita (Vehara y Gillman, citados por Hue et al., 1988).

Otro factor a considerar es la presencia de otros elementos, ya que regulan la dinámica de los metales pesados en el sistema suelo-planta. Con base en estudios de campo, Olivar et al. (1994) observaron que la concentración de Cd en granos de trigo, puede disminuir más de 50% como resultado de la aplicación de 2.5 a 5 $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ de Zn a suelos marginales o severamente deficientes en Zn. Esto es de extrema importancia práctica, porque cantidades pequeñas de Zn incorporadas al suelo, pueden mejorar la calidad del grano (baja concentración de Cd) y todavía aumentar el rendimiento de grano. En este contexto, estos autores sugieren que prácticas de manejo dirigidas a minimizar la concentración de cadmio en los granos por debajo del límite permitido de 0.05 $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$, deben ser tomadas en cuenta, principalmente, en áreas potencialmente problemáticas.

El presente trabajo fue realizado con el objetivo de evaluar la distribución de cadmio en las fracciones soluble, intercambiable, orgánica, óxidos y residual, en diferentes condiciones de acidez y tiempos de incubación del suelo con residuo contaminado con diferentes dosis de Cd, así como estudiar la absorción y distribución del Cd en plantas de trigo.

MATERIALES Y METODOS

El experimento fue conducido en invernadero, con un suelo clasificado como oxisol del municipio de Sao Sebastiao do Paraíso (Fazenda de EPAMIG). Se tomaron muestra a una profundidad de 0-20 cm y después de la recolección, el suelo fue pasado por tamiz con malla de 2 mm de abertura para luego ser analizado obteniéndose los siguientes resultados: pH (1:2.5) 5; MO 30.9 $\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$; P y K 1 y 20 $\text{mg}\cdot\text{dm}^{-3}$, respectivamente; Al 0.30; Ca 0.2; Mg 0.2 y CIC 7.4 $\text{cmol}\cdot\text{dm}^{-3}$; Cd 4.1; Ni 51.2; Pb 36.1; Cu 69.7 y Zn 147.4 $\text{mg}\cdot\text{dm}^{-3}$; arena gruesa 60; arena fina 290; limo 60 y arcilla 590 $\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$, densidad real 2.94 y densidad del suelo 1.24 $\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$.

El residuo sólido utilizado fue proporcionado por la Siderúrgica Mendes Júnior, de Juiz de Fora, MG. Después de la colecta, fue expuesto al aire para secar durante tres días, homogeneizado y tamizado por tamiz de 2 mm de abertura. Las características químicas más importantes fueron: pH en agua (1:2.5) 6; MO 413.7 g.kg⁻¹. La concentración de los metales pesados fue determinada en 1.0 g de residuo, previamente seco a 65°C, por 24 horas, y digestión con ácido nítrico, perclórico y fluorídrico concentrados, según metodología propuesta por Mann y Ritchie (1993). Las concentraciones de metales pesados fueron obtenidas por espectrofotometría de absorción atómica, resultando en: 1.62; 29.34; 61.56; 83.47 y 903.57 mg.kg⁻¹ de Cd, Ni, Pb, Cu y Zn, respectivamente.

Los tratamientos constituyeron un factorial 2 x 3 x 4, siendo dos los niveles de cal (ausencia y presencia), tres los tiempos de incubación (0, 30 y 60 días) y cuatro las dosis de metales pesados (Cd, Ni, Pb, Cu y Zn), de los cuales sólo se presentarán resultados del Cd.

Inicialmente la unidad experimental consistió en una mezcla de 2.4 dm³ de suelo con 0.69 dm³ (100 tn.ha⁻¹) de residuo sólido, enriquecido con metales pesados. Esa mezcla fue colocada en bolsas plásticas con humedad próximas a capacidad de campo (CC) hasta finalizar el tiempo mayor de incubación. Posteriormente, la unidad experimental fue constituida en una maceta de plástico con capacidad de 1.8 dm³ donde se colocó 1.7 dm³ de suelo de las bolsas anteriormente descritas, siendo sembradas 13 semillas de trigo del cultivar Embrapa 22.

La cal fue aplicada a la mitad de las unidades experimentales utilizándose una mezcla de CaCO₃ y MgCO₃ p.a. en la proporción estequiométrica de 4:1, para llegar a un pH próximo a 6.5 definido previamente por curva de incubación. Posteriormente, siguió un período de reposo de 20 días, con humedad próxima a CC.

El residuo sólido fue aplicado en una sola dosis (120 g por maceta) para todos los tratamientos considerando que previamente fue enriquecido con Cd (CdCl₂.H₂O) para obtener las dosis de 0, 1.5, 3.0 y 4.5 mg.dm³, para lo cual se prepararon soluciones individuales para cada dosis para luego contaminar el residuo con 10 ml de la solución. Después de seis días, el residuo enriquecido fue mezclado con el suelo repitiéndose el proceso para cada unidad experimental y para cada tiempo de incubación, considerando que el orden fue T I₆₀ (tiempo de incubación de 60 días), T I₃₀ y finalmente T I₀, a fin de iniciar la siembra el mismo día.

Completados los tiempos de incubación, las mezclas de suelo con residuo sólido fueron secadas al aire y homogeneizadas retirándose submuestras de cada unidad experimental, las mismas que fueron pasadas por tamiz con malla de 2 mm de abertura. De cada unidad experimental se pesaron 1.2381 g de TFSA (1 cm³), acondicionándose en tubos de PVC para posteriormente ser sometidos a extracción secuencial (fracción soluble, fracción intercambiable, fracción ligada a la materia orgánica, fracción ligada a óxidos de Fe y Mn, fracción residual y fracción total), conforme metodología propuesta por Mann y Ritchie (1993), modificada por Gomes (1996). Finalizadas las extracciones, los extractos fueron almacenados en recipientes de polietileno a 4°C y la concentración del Cd en las diferentes fracciones fue determinada por espectrofotometría de absorción atómica.

Para el estudio de absorción del Cd por las plantas se colocó en macetas 1.7 dm³ de mezcla de suelo mas residuo enriquecido con Cd pasado previamente por malla de 4 mm, en las cuales se sembraron 13 semillas de trigo, realizándose un raleo cinco días después de la emergencia dejando siete plantas por maceta. La humedad del sustrato fue mantenida próxima a CC, con riegos diarios con agua desionizada. Se realizó una fertilización a la siembra con las siguientes sales p.a. en solución: 78.57 + 56.31 + 35.09 + 11.29 g.l⁻¹ de NH₄H₂PO₄, KH₂PO₄, (NH₄)₂SO₄ y KCl, para suministrar 100, 200, 130 y 50 µg.ml⁻¹ de N, P, K y S, respectivamente. En cobertura se aplicó solución de NH₄NO₃ en una concentración de 10 mg.dm⁻³ a los 20, 29, 35, 39, 43, 47, 51, 55, 59 y 63 días después de la emergencia.

A los 101 días de la emergencia, las plantas fueron cortadas a la altura de 1 cm del suelo, siendo posteriormente separadas en raíz, parte aérea y granos. Una vez lavadas y secadas en estufa a 65°C por 72 horas, se procedió a la preparación de los extractos de las diferentes partes de las plantas, por medio de una digestión con una mezcla de nítrico - perclórica, en una relación de 15:4. Después de la filtración, se adicionó 1 ml de La₂O₃ a 1 g.kg⁻¹, de acuerdo con recomendación de Bataglia et al. (1983). Después de la obtención de los extractos, se preparó la curva patrón de Cd, para su posterior determinación del mismo por espectrofotometría de absorción atómica.

RESULTADOS

Cadmio en el suelo

Las concentraciones de Cd extraídas secuencialmente, en muestras de suelo sin y con cal, y sometidas a diferentes tiempos de incubación, así como, a diferentes dosis de Cd aparecen en el Cuadro 1.

Se observa que en la fracción soluble (KCl) no fue posible detectar Cd en las dosis probadas, mientras que, en la fracción intercambiable (BaCl_2) la cal disminuyó la concentración de Cd, no siendo posible detectarlo en las menores dosis. Se debe destacar que en la dosis mayor en el suelo sin cal, del total extraído, 30.6, 29.4 y 28.7 % del Cd fueron recuperados en la fracción intercambiable, en los tiempos de incubación de 0, 30 y 60 días, respectivamente, mostrando un riesgo de contaminación así como de elevada biodisponibilidad para las plantas, situación que no ocurrió con la fracción orgánica, principalmente en el suelo sin cal en el cual la concentración de Cd estuvo fuera de los límites de detección.

De modo general, se puede observar que la forma de Cd residual fue predominante en todos los tratamientos, existiendo mayores concentraciones cuando se aplicó cal. Por los resultados obtenidos, el Cd no está asociado a la materia orgánica especialmente en suelos ácidos. Se observa que la concentración de Cd total, en las diferentes dosis y tiempos de incubación, fueron mayores en relación a la suma de las fracciones, posiblemente por causa de las pérdidas en los lavados realizados después de cada extracción.

Estos resultados indican que, el pH del suelo es un factor importante en la distribución de las formas de Cd disponible ó potencialmente disponible en el suelo, como en el caso de los óxidos. Sin embargo, según Mann y Ritche (1993), el efecto del pH en las formas de Cd varía de un suelo a otro por causa de los componentes del suelo (arcilla, óxidos y materia orgánica).

Cadmio en la planta

De modo general, las concentraciones de Cd en la raíz, parte aérea y en los granos aumentaron con las dosis de Cd adicionadas al suelo tanto en presencia como en ausencia de cal. Hubo una disminución en la concentración de Cd, en todas las partes de la planta, en relación a los tiempos de incubación, siendo ese efecto más expresivo en el suelo sin cal, ya que se observaron reducciones de 17.0 y 46.6% en la raíz y 4.7 y 19.6% en la parte aérea, 6.7 y 66.7% en los granos, en los TI_{30} y TI_{60} , respectivamente, en relación al TI_0 (Cuadro 2).

De acuerdo a los resultados (Cuadro 2), las dosis de Cd aumentaron la concentración de Cd en las diferentes partes de la planta y para todos los tratamientos, la concentración de Cd en la planta obedeció a la siguiente secuencia: raíz > parte aérea > granos. Por otro lado, el contenido de Cd en los granos mostró un comportamiento similar a las concentraciones de Cd, siendo que el TI_{30} en el suelo con cal con $4.5 \mu\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$ tuvo una acumulación de $9.11 \mu\text{g}$ por vaso.

A pesar de existir evidencias en la literatura científica de que el Cd presenta gran movilidad en el suelo, siendo fácilmente absorbido y translocado (Bidwell y Dowdy, 1987), en las condiciones del experimento y en las dosis probadas, se verificó que no presenta riesgo a la salud humana por el hecho de contener una concentración en los granos menor que $1,0 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ (Associação Brasileira Das Indústrias Da Alimentação, 1995). Sin embargo, tomando en cuenta las normas de calidad de algunos países europeos, la dosis de $3.0 \mu\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$ de Cd, en la mezcla suelo con residuo sólido de aguas servidas, puede sobrepasar el máximo permitido fijado en $0.05 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ de Cd en los granos de trigo (Oliver et al., 1994).

Aunque la concentración de Cd en la fracción intercambiable fue relativamente baja, fueron encontrados coeficientes de correlación altamente significativos entre el Cd en la fracción intercambiable ($\mu\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$) con el expresado como porcentaje del total así como el Cd total y el Cd acumulado en las plantas de trigo (Cuadro 3).

Los coeficientes de correlación fueron mayores cuando fue considerada la suma de las fracciones intercambiable + orgánica + óxidos, siendo ligeramente superior cuando esas fracciones fueron expresadas como $\mu\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$ y no como porcentaje del total, coincidiendo con lo observado por Amaral Sobrinho (1993) en estudios relacionados con Zn.

CUADRO 1. Distribución de Cd (media n = 3) en cada fracción de la extracción secuencial, realizada en muestras sometidas a diferentes tiempos de incubación y dosis de Cd.

Tiempo de Incubación	Dosis	FORMAS QUIMICAS					Total
		Soluble	Intercambiable	Orgánica	Oxido-Fe, Mn	Residual	
Días	$\mu\text{g.cm}^{-3}$	$\mu\text{g.cm}^{-3}$					
SIN CAL							
0	0.0	Nd	Nd	Nd	0.49	3.85	4.08
	1.5	Nd	0.20	Nd	0.66	3.76	5.13
	3.0	Nd	1.48	Nd	0.58	3.69	6.69
	4.5	Nd	2.45	Nd	0.74	3.66	7.94
30	0.0	Nd	Nd	Nd	0.58	4.04	4.35
	1.5	Nd	0.28	Nd	0.41	3.69	5.83
	3.0	Nd	1.31	Nd	1.07	4.04	6.73
	4.5	Nd	2.31	Nd	1.23	3.66	7.86
60	0.0	Nd	Nd	Nd	1.07	3.21	4.31
	1.5	Nd	0.50	Nd	1.07	4.05	5.64
	3.0	Nd	1.14	Nd	0.98	3.72	6.77
	4.5	Nd	2.28	Nd	1.07	3.53	7.98
CON CAL							
0	0.0	Nd	Nd	Nd	0.58	3.79	4.47
	1.5	Nd	Nd	Nd	0.58	4.14	5.21
	3.0	Nd	0.36	0.47	0.90	4.21	6.42
	4.5	Nd	1.00	1.02	1.15	4.33	7.98
30	0.0	Nd	Nd	Nd	0.58	3.82	4.16
	1.5	Nd	Nd	Nd	0.74	4.30	5.17
	3.0	Nd	0.23	0.57	1.07	4.72	6.38
	4.5	Nd	1.03	1.00	0.90	4.11	7.47
60	0.0	Nd	Nd	Nd	0.66	4.05	4.27
	1.5	Nd	Nd	Nd	0.74	3.98	5.09
	3.0	Nd	0.39	Nd	0.98	4.08	6.03
	4.5	Nd	0.98	0.69	0.82	4.49	7.74

Nd = no detectado

CUADRO 2. Concentración de cadmio en diferentes partes de plantas de trigo y contenido en los granos en función de diferentes tratamientos.

Cal	Tratamiento		Parte de la Planta			Contenido en los granos
	TI (Días)	Dosis $\mu\text{g.cm}^{-3}$	Raíz	Parte Aérea	Granos	$\mu\text{g por vaso}$
SC	0	0.0	0.01	0.00	0.00	0.00
		1.5	3.13	1.04	0.10	1.28
		3.0	4.45	1.93	0.23	2.88
		4.5	8.96	2.93	0.28	2.17
Media		4.14	1.48	0.15	1.58	
SC	30	0.0	0.00	0.00	0.00	0.00
		1.5	3.20	0.99	0.10	1.31
		3.0	3.40	1.75	0.16	2.09
		4.5	7.00	2.91	0.31	2.78
Media		3.40	1.41	0.14	1.55	
SC	60	0.0	0.00	0.00	0.00	0.00
		1.5	1.58	0.67	0.00	0.00
		3.0	2.54	1.43	0.10	1.14
		4.5	4.70	2.64	0.11	1.11
Media		2.21	1.19	0.05	0.56	
CC	0	0.0	0.00	0.00	0.00	0.00
		1.5	2.00	0.36	0.00	0.00
		3.0	4.28	1.29	0.21	2.67
		4.5	7.81	3.96	0.63	7.95
Media		3.52	1.40	0.21	2.66	
CC	30	0.0	0.00	0.00	0.00	0.00
		1.5	2.22	0.45	0.00	0.00
		3.0	4.43	1.95	0.11	1.77
		4.5	7.20	3.32	0.58	9.11
Media		3.46	1.43	0.17	2.72	
CC	60	0.0	0.00	0.00	0.00	0.00
		1.5	2.15	0.45	0.00	0.00
		3.0	4.67	1.41	0.07	1.13
		4.5	5.85	2.19	0.31	4.34
Media		3.17	1.01	0.10	1.37	

SC = Sin Cal; CC = Con Cal; TI = Tiempo de Incubación.

CUADRO 3. Coeficientes de correlación (r) entre el Cd acumulado ($\mu\text{g por vaso}$) en plantas de trigo *versus* las fracciones químicas en el suelo (expresadas como porcentaje del total o como $\mu\text{g.cm}^{-3}$).

Elemento	Fracción	r	
Cd	Intercambiable	% Total	$\mu\text{g.cm}^{-3}$
	Intercambiable + Orgánica + Oxidos	0.67**	0.69**
		0.84**	0.88**

CONCLUSIONES

- La extracción secuencial mostró que el Cd en su forma soluble no fue detectado. Sin embargo, en la forma intercambiable especialmente a pH bajo, existe el riesgo de contaminación siendo este efecto más reducido a mayor tiempo de contacto del Cd con el suelo.
- La distribución del Cd en las diferentes partes de la planta fue: raíz > parte aérea > granos, no siendo tóxico para consumo humano a dosis de $4,5 \mu\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$. No obstante, se debe tener en cuenta que, a mediano o largo plazo, los residuos del trigo incorporados al suelo pueden incrementar la concentración de Cd intercambiable aumentando el riesgo de toxicidad en los granos.

BIBLIOGRAFIA

- Alloway, B.J., 1990. The origins of heavy metals in soils. In Heavy metals in soils, New York, pp 29-39.
- Amaral, S., 1993. Interação dos metais pesados de resíduos siderúrgicos com um solo podzólico Vermelho-Amarelo. Viçosa, Universidad Federal de Viçosa, 163 pp. (Tesis de doctorado).
- Associação Brasileira das Indústrias da Alimentação, 1985. Compêndio da legislação dos alimentos. Sao Paulo.
- Bataglia, O.C., Furlani, A.M.C., Teixeira, J.P.F., Furlani, P.R. y Gallo, J.R., 1983. Métodos de análisis químico de plantas. Campinas, Iac, Boletim Técnico 78, 18pp.
- Chang, A.C., Granado, T.C., Page, A.L., 1992. A methodology for establishing phytotoxicity criteria for chromium, copper, nickel and zinc. Agricultural Land Application of Municipal Sewage Sludges. J. Environ. Qual., 21:521-536.
- Gomes, P.C., Fontes, M.P.F., Da Costa, L.M. y Mendoça, E, 1997. Extração fraccionada de metais pesados em Latossolo Vermelho-Amarelo. R. Bras. Ci. Solo, Viçosa, 21:543-551.
- Hervas, D. 1996. Dinâmica de cadmio, chumbo, cobre, níquel e zinco no sistema solo-planta. Viçosa, Universidade Federal De Viçosa, 90pp. (Tesis de maestría).
- Holtzclaw, K.M., Keech, D.A., Page, A.L., Sposito, G., Ganje, T.J., Ball, N.B., 1978. Trace metal distributions among the humic acid, the fulvic acid, and precipitated fractions extracted with naoh from sewage sludges. J. Environ. Qual., 7:124-127.
- Hue, N.V., Silva, J.A., Arifin, R., 1988. Sewage sludge-soil interactions as measured by plant and soil chemical composition. J. Environ. Qual., 17: 384-390.
- King, L.D., 1988. Effect of selected soil properties on cadmium content of tobacco. J. Environ. Qual., 17:251-255.
- Korcak, R.F. y Fanning, D.S., 1985. Availability of applied heavy metals as a function of type of soil material and metal source. Soil Sci., 140:23-34.
- Lindsay, W.L., 1979. Chemical equilibria in soils. New York, John Wiley y Sons, 449pp.
- Mann, S.S. y Ritchie, G.S.P., 1994. The Influence of pH on the forms of cadmium in four west Australian soils. Aust. J. Soil Res., 31:255-270.
- Mcbride, M.B., Tyler, L.D., Houde, D.A., 1981. Cadmium sorption by soils and uptake by plants as affected by soil chemical properties. Soil Sci. Soc. Am. J., 45:739-744.
- Nogales, R., Hervas, D., Soto, J., Gallardo-Lara, F., 1993. Interactive effects of the application of different cd forms and an acidifying agent on plant available metal and postharvest soil extractability. En Vernet, J. P. (Ed) Environment Contamination, Amsterdam, Elsevier, pp. 173-186.
- Oliver, D.P., Hannam, R., Tiller, K.G., Wilhelm, N.S., Merry, R.H., Gozens, G.D., 1994. The effects of zinc fertilization on cadmium concentration in wheat grain. J. Environ. Qual., 23:707-711.
- Page, A.L. y Bingham, F.T., 1973. Cadmium residues in the environment. Residue Reviews, 48:1-48.

- Shuman, L.M., 1985. Fractionation method for soil microelements. *Soil Sci.*, 140:11-22.
- Silviera, D.J. y Sommers, L.E., 1977. Extractability of copper, zinc, cadmium, and lead in soils incubated with sewage sludge. *J. Environ. Qual.*, 6:47-52.
- Sims, J.T. y Kline, J.S., 1991. Chemical fractionation and plant uptake of heavy metals En Soils Amended with Co-Composted Sewage Sludge. *J. Environ. Qual.*, 20:387-395.
- Sommers, L.E., Nelson, D.W. y Yost, K.J., 1976. Variable nature of chemical composition of sewage sludges. *J. Environ. Qual.*, 5:303-305.
- Sposito, G., Levesque, C.S., Leclaire, J.P. y Chang, A.C., 1983. Trace metal chemistry in arid-zone field soils amended with sewage sludge: III. Effect on time on the extraction of trace metals. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 47:898-902, 1983.
- Tessier, A., Campbell, P.G.C. y Bisson, M., 1979. Sequential extraction procedure for the speciation of particulate trace metals. *Anal. Chem.*, 5:844-851.
- Verloo, M., Kiekens, L. y Cottenie, A., 1980. Distribution patterns of essential and non essential trace elements En The Soil-Solution Systems, *Pedologie*, 30:163-175.
- Willaert, G. y Verloo, M., 1988. Biological effects of nickel species and their determination in plant and soil. *Plant Soil.*, 107:285-292.

Suelos contaminados con aguas residuales de minas

Edgar Gutiérrez R.¹

1 Universidad Mayor de San Simón- PEIRAV. email: guty@bo.net

INTRODUCCION

Para nadie es desconocido que la producción y rendimientos en el occidente de nuestro país no registran incrementos significativos en los principales cultivos y la ganadería, este hecho podría deberse a la degradación continua de los recursos naturales (agua y suelo) y otros factores.

En el altiplano y los valles existe degradación de suelos y aguas desde el punto de vista físico y químico, hecho que se traduce en la reducción de la producción y productividad, como consecuencia se produce el éxodo de agricultores del área rural a las ciudades, dando como resultado el incremento de la pobreza y los problemas sociales de las zonas marginales del área urbana.

La baja productividad de los suelos se debe al uso inadecuado de estos, a la degradación física (compactación, encostramiento, reducción de la porosidad) y química (reducción de la materia orgánica, salinidad, alcalinidad y presencia de elementos pesados), procesos que pueden ocurrir en forma natural o por la actividad antrópica, con la disminución de la producción vegetal y animal.

En todo el sector occidental de Bolivia hay deficiencia de agua, tanto para consumo humano como para uso agrícola (riego), por lo tanto se aprovecha cualquier fuente de agua, sin tomar en cuenta la calidad química y/o física para los diferentes usos. El uso de aguas de mala calidad en la agricultura implica una degradación física y química de suelos, contribuyendo a la contaminación de suelos, porque se altera nocivamente el suelo por efecto de residuos procedentes de la actividad humana. Los suelos contaminados disminuyen considerablemente su productividad o su capacidad productiva. En la medida que se incrementa la concentración de elementos químicos o biológicos y sólidos, aumenta el desequilibrio bioquímico del suelo.

A pesar de las preocupaciones generalizadas y campañas de publicidad acerca de los materiales tóxicos en el medio ambiente, el manejo de los ecosistemas presenta serios inconvenientes, estos problemas surgen debido a que la sociedad de consumo depende por completo de los procesos que llevan a la liberación de éstos materiales tóxicos (Suarez, 1996).

Por tanto, se hace necesario estudiar las concentraciones de los diferentes elementos químicos que ingresan al suelo con el agua de riego u otros insumos. Para lograr este propósito, este estudio busca determinar la concentración de algunos elementos pesados (contaminantes) en las aguas de riego y suelos.

Uso y manejo de suelos

La creciente demanda de alimentos exige la utilización cada vez más eficiente del recurso suelo, sostén natural de las plantas, fuente principal de la alimentación del hombre y de los animales.

El conocimiento de las propiedades del suelo permite el uso y manejo racional de este recurso en función de los cultivos, con el objeto de obtener mejores cosechas. El buen manejo de suelos bajo riego logra incrementar la productividad agrícola si combina varios factores como una amplia dotación de agua y aire, un suelo rico en nutrientes y el uso de buenas semillas de variedades resistentes a plagas y enfermedades.

El manejo de suelos está determinado por un sistema agrícola dado e implica labores o una inversión elevada según el caso.

La condición química del suelo se refiere a la calidad del mismo en elementos nutritivos para las plantas, en la cantidad necesaria y la proporción adecuada entre los diferentes elementos, además el suelo debe estar libre de elementos tóxicos.

Los elementos esenciales que requieren las plantas para su crecimiento y desarrollo son los macroelementos (nitrógeno, fósforo, potasio, calcio, magnesio y azufre) y microelementos

(hierro, manganeso, cobre, zinc, boro, molibdeno y cloro). Estos elementos, que contribuyen a la fertilidad del suelo provienen de la intemperización (física y química) de los materiales parentales, mineral y orgánico y de la incorporación de elementos nutrientes mediante los fertilizantes o el aporte de materia orgánica.

El equilibrio nutrimental puede ser perjudicado por la presencia de elementos pesados, como el plomo y cromo, que podrían precipitar o hacer inasimilable los macroelementos, principalmente, formando compuestos químicos de baja solubilidad, ocasionando de esta manera deficiencia de los elementos esenciales, reduciendo la producción vegetal.

Es necesario mencionar otras características químicas del suelo como la reacción del suelo, contenido de materia orgánica, conductividad eléctrica, concentración de sales, capacidad de intercambio iónico, cationes y aniones cambiables.

La reacción del suelo (pH) determina la disponibilidad de los nutrientes, la mayoría están disponibles en suelos cuyo pH varía entre 6 y 7. Valores más altos o más bajos de pH, indican menor disponibilidad de nutrientes y presencia de sodio y aluminio, ambos elementos son tóxicos para las plantas.

La materia orgánica es el agente más efectivo en la estabilización de los agregados, aumenta la porosidad y disminuye la densidad aparente, este material determina la capacidad de intercambio de iones, especialmente en suelos arenosos. Además, es fuente de elementos nutritivos como nitrógeno, fósforo y azufre.

La conductividad eléctrica es una medida del contenido de sales en el suelo, siendo muy importante en áreas con déficit de humedad o áreas bajo riego. Un exceso de sales reduce la absorción de agua por la planta y por lo tanto su crecimiento y desarrollo, ciertas sales en concentraciones altas, como el boro, son muy tóxicas para muchos cultivos. Valores menores a 2 dS.m^{-1} de conductividad eléctrica indican que no existe peligro de sales para muchos cultivos, con valores superiores a 8 dS.m^{-1} solo crecen y desarrollan plantas altamente tolerantes.

La capacidad de intercambio iónico, es la medida de la cantidad total de iones intercambiables que puede ser retenida por el suelo expresada en meq/100 g de suelo. Esta capacidad es proporcionada por los coloides, minerales y compuestos orgánicos presentes en el suelo, los cationes y aniones retenidos en el complejo coloidal del suelo, determinan la capacidad productiva del mismo.

La salinidad y alcalinidad están relacionadas con la presencia de sales en el suelo, cuyo origen está condicionado por uno o más factores como la escasa precipitación que crea condiciones de aridez; extremas temperaturas y evaporación que facilita el ascenso capilar de la solución edáfica; deficientes prácticas de riego con aplicación de aguas con alta concentración de sales, láminas altas de riego, relieves planos o cóncavos. La evolución de las sales en el suelo se produce, en principio, como un proceso de acumulación paulatino de sales solubles (carbonatos, bicarbonato, cloruros y sulfatos de calcio, magnesio y sodio, entre otras) luego, al saturarse el suelo con estas sales se inician procesos de precipitación, de acuerdo a sus grados de solubilidad, precipitando en primer lugar las sales menos solubles tales como los carbonatos y sulfatos de calcio y magnesio e inducen a un aumento relativo de las sales de sodio en los suelos. El efecto de la alta concentración de sales en el suelo y en los cultivos depende del tipo de sal, el tipo del cultivo y su etapa de desarrollo, la clase de suelo y su manejo. Algunos efectos perjudiciales se dan por la reducción de la disponibilidad de agua para las plantas al producirse un aumento de la presión osmótica de la solución edáfica, también las plantas pueden presentar quemaduras en los márgenes de las hojas por el efecto tóxico de algunos iones y también se produce antagonismo iónico, es decir, que la excesiva concentración de algún ion disminuye la absorción de otro, por ejemplo el calcio con el potasio. Se conoce que la alta concentración de sodio determina la dispersión de las partículas del suelo, destruyendo la estructura y disminuyendo la permeabilidad.

Las características físicas que son importantes tener cuenta en el uso y manejo de suelos son la textura, la estructura, el grado de humedad, la aireación y la consistencia.

La textura es la distribución porcentual de los distintos tamaños de las partículas. La movilidad interna del agua depende de esta distribución de partículas, en suelos sueltos la infiltración y permeabilidad es mayor que en los suelos pesados que tienen una infiltración y permeabilidad lenta. Esta propiedad física es importante en el momento de calcular y aplicar diferentes láminas de agua.

La estructura del suelo se considera como el ordenamiento de las partículas por agentes agregantes, materia orgánica y calcio. Sin embargo, la presencia de sales de sodio en el suelo puede provocar la dispersión de las partículas, proceso que perjudica en la retención de agua, aireación y disponibilidad de nutrientes.

El grado de humedad del suelo, es una propiedad física que permite la mayor o menor solubilidad de los nutrientes y la dilución de las sales presentes en el suelo. La presencia del agua permite también los procesos de hidrólisis, hidratación, reducción y oxidación.

La aireación del suelo permite la disponibilidad de aire para la oxigenación de las raíces y de los organismos presentes en el suelo, al mismo tiempo, la presencia de oxígeno permite los procesos de oxidación y su ausencia los de reducción.

Fuentes contaminantes de los elementos pesados

Nordell, citado por La Fuente (1996), señala que los suministros de agua que contienen acidez mineral son relativamente pocos y usualmente corresponden a:

* Aguas de minas.

* Aguas subterráneas en la vecindad de las minas o que se contaminan por desechos industriales.

* Aguas superficiales contaminadas ya sean por aguas de minas o por desechos industriales.

La presencia de elementos tóxicos en el suelo se debe a factores antrópicos, principalmente el uso de aguas residuales de fábricas y explotaciones mineras. Este trabajo analizará las explotaciones mineras.

Porta y otros (1994) señalan que, las actividades mineras provocan fuertes impactos sobre el terreno, con un elevado riesgo de degradación del suelo, dado que los residuos de las minas, principalmente aguas contaminadas, determinan la deposición de elementos químicos y materiales en suspensión, produciendo en muchos de los casos la acidificación y la disminución de la porosidad de los suelos. El mismo autor señala, que el ácido presente es casi invariablemente ácido sulfúrico, en adición, el agua puede contener sulfato de hierro, manganeso, cobre, aluminio, magnesio y sodio. También afirma que entre las minas, el ácido sulfúrico libre y los sulfatos metálicos se forman por oxidación de materiales que contienen azufre, principalmente piritas. Las más comunes de éstas son la "marcasita" o sulfuro de hierro y cobre, la que da sulfato ferroso y ácido sulfúrico en su proceso de oxidación.

Los elementos pesados presentes en exceso en el suelo presentan algunos desequilibrios fisiológicos. El hierro, a pesar de ser un elemento esencial, presente en el suelo en concentraciones altas, determina la precipitación del fósforo, principalmente en pHs bajos, ocasionando una deficiencia de fósforo en las plantas, a pHs muy bajos se puede presentar una toxicidad de hierro al reducirse de ion férrico a ferroso, especialmente en suelos anegados (Fassbender, 1987). El manganeso en exceso genera toxicidad que se puede identificar en los tejidos vegetales por la presencia de manchas negruzcas, también puede ocasionar una clorosis por deficiencia de hierro debida a la competencia iónica, estos procesos ocurren generalmente en suelos fuertemente ácidos o hidromórficos. Concentraciones altas de zinc podrían ocasionar una deficiencia de fósforo y hierro por antagonismo y selectividad de la planta en la absorción. Katyal, citado por La Fuente (1996) indica que, algunos suelos ácidos pueden contener niveles tóxicos de zinc, la toxicidad presumiblemente podría generar una necrosis de tejidos. El plomo puede presentarse tanto a nivel radicular como en la atmósfera, por tanto la probabilidad de desequilibrar el proceso fisiológico de las plantas es alta. Lagerwerf, citado por La Fuente (1996), señala que la presencia del plomo en concentraciones altas interfiere el metabolismo del hierro en la fisiología de la planta. Según Fassbender (1987), el selenio puede ser absorbido por los vegetales, principalmente en suelos de pH alto. La presencia de selenio en las plantas podría tener consecuencias fuertemente perjudiciales para los animales que se encuentran en la cadena liotrófica.

MATERIALES Y METODOS

El área de evaluación se encuentra en las comunidades de Kona-Kona y Esquena, de la provincia Chayanta, del departamento de Potosí. Geográficamente se halla situada entre los 18° 47' 00" y 18° 46' 00" de latitud sur y 66° 7' 65" y 66° 7' 55" de longitud oeste, la altura promedio de la zona es de 3470 msnm.

Los suelos de la zona tienen formación coluvio-aluvial, son poco desarrollados, textura franco a franco arcillosa, permeabilidad que varía de moderada a muy poco permeable, pH 7.5 a 8, la conductividad eléctrica varía de 1.3 a 5.2 dS.m⁻¹, la saturación de bases muy alta (100%), la CIC varía entre 13 y 15 meq/100g de suelo.

El agua para riego proviene del río Grande, la comunidad de Kona-Kona recibe el agua por una toma y un canal con un caudal promedio de 10 l.seg⁻¹, la disponibilidad de agua en la comunidad de Esquena es a través de una toma con caudal promedio de 12.4 l.seg⁻¹ (La Fuente, 1996).

La vegetación nativa está compuesta por sunchu (*Vigueira pazencis*), karalahua (*Nicotiana glauca*), nabo silvestre (*Brassica campestris*) y otras especies de menor importancia. Las especies cultivadas son cebada (*Hordeum vulgare*), trigo (*Triticum spp*), maíz (*Zea mays*), papa (*Solanum andigenum*), haba (*Vicia fabae*) y para forraje se cultiva alfalfa (*Medicago sativa*).

El trabajo de campo realizado por Edgar La Fuente consistió en la apertura de calicatas y su respectiva descripción, toma de muestras de aguas (en dos oportunidades, agosto y octubre, 1992) y de suelos para el respectivo análisis químico y físico en el laboratorio de suelos y aguas de la Facultad de Ciencias Agrícolas de la UMSS y el laboratorio del Instituto de Investigaciones Minero Metalúrgica de Oruro, con las metodologías convencionales.

RESULTADOS Y DISCUSION

Clasificación de aguas con fines de riego

La variabilidad química de las aguas de cuatro lugares se puede deber a la solubilidad de sus componentes naturales y a la reacción químicas que podrían suceder en el transcurso del río o aportes geológicos. Para verificar la variación química de las aguas, se tomó muestras en dos oportunidades (agosto y octubre) y en distintos lugares (Cuadro 1).

CUADRO 1. Clasificación de aguas.

Lugares	Riego N°	C.E. Micromhos.cm ⁻¹	pH	CO ₃ +HCO ₃ %	SE meq.l ⁻¹	SP meq.l ⁻¹	RAS	CSR meq.l ⁻¹	PSP %	Cl- meq.l ⁻¹	Clase
Colquechaca	1	1293.00 C	2.60	Traza	-	6.75 C	0.82	0.00	-	0.65 B	C3S1
	2	1434.60 C	2.70	Traza	-	8.80 C	0.82	0.00	-	0.75 B	C2S1
Cruce Palca	1	735.00 B	4.00	2.55	-	4.14 C	0.83	0.00	-	0.64 B	C2S1
	2	646.00 B	5.20	15.67	-	3.04 C	1.041	0.00	-	0.70 B	C2S1
Kona Kona	1	672.00 B	6.20	11.38	-	3.05 C	1.012	0.00	-	0.65 B	C3S1
	2	877.00 C	6.40	17.24	-	4.05 C	1.016	0.00	-	0.90 B	C3S1
Esquena	1	882.00 C	8.10	23.08	3.76 C	4.06 C	0.78	0.00	31.91 B	0.83 B	C3S1
	2	916.00 C	7.20	27.88	4.78 C	4.38 C	1.65	0.00	33.47 B	1.00 B	C3S1
Rosario	1	453.00 B	7.70	41.76	2.30 B	1.65 C	0.64	0.00	23.48 B	0.65 B	C2S1
	2	560.00 B	7.30	71.43	1.60 B	1.36 C	0.84	0.00	38.75 B	1.12 B	C2S1

Colquechaca

El pH del agua tiene una variación no significativa (2.6 a 2.7) comparando las épocas de muestreo, sin embargo se considera muy ácido con la probabilidad de que se tenga en solución el Cu, Zn, Fe; la CE fluctúa entre 1,293 y 1,434 micromhos.cm⁻¹, esta variación tampoco es significativa, sin embargo por la presencia de sales, su aplicación es condicionada (C), la salinidad potencial tiene una diferencia de 2.05 meq.l⁻¹, entre el primer muestreo y el segundo, de todas maneras el uso del agua por esta variable es condicionada; el valor de RAS de 0.82, considerándose baja, este valor indica que no existe posibilidad de una acumulación de sodio en el complejo de cambio; la concentración de cloro en el agua es baja (0.65 y 0.75 meq.l⁻¹).

Cruce Palca

El potencial hidrogeniónico en las aguas de ésta localidad fluctúa entre 4 y 5.2, dicha variación no es significativa, el pH es una propiedad fisico-química que no varía en dos meses de diferencia de tiempo; la CE es mayor en el primer muestreo (735 micromhos.cm⁻¹) con

relación al segundo (646 micromhos.cm⁻¹), esta variación puede deberse a la concentración de sales en la primera oportunidad, se considera agua de buena calidad para esta propiedad; la suma de carbonatos y bicarbonatos en la primera muestra es menor (2,55 %) con relación a la segunda muestra (15.67 %), a pesar de ello no existe peligro de que estos aniones precipiten; la salinidad potencial fluctúa entre 4.14 y 3.04 meq.l⁻¹, para la primera y segunda muestra respectivamente, por esta variable el uso del agua está condicionada; la relación de adsorción de sodio (RAS) es baja, varía entre 0.83 y 1.041, no existe peligro de modificación en el suelo; la concentración de cloro en las dos muestras es baja, considerándose por esto, agua de buena calidad.

Kona-Kona

La reacción del agua denota una leve acidez (6.2 y 6.4); la conductividad eléctrica es menor en la primera muestra (672 micromhos.cm⁻¹) y mayor en la segunda muestra (877 micromhos.cm⁻¹), siendo el uso del agua recomendable para el primer caso y condicionado para el segundo caso; la sumatoria de carbonatos y bicarbonatos varía entre la primera muestra y la segunda de 11.38 a 17.24 %, considerándose baja la presencia de estas sales en el agua; la salinidad potencial tiene una diferencia de un meq.l⁻¹ entre el primer muestreo y el segundo, por esta variable se considera el agua como condicionada, entendiéndose como tal, que debe existir un buen drenaje de los suelos para que no haya acumulación de sulfatos principalmente; la RAS es baja en los dos casos, hecho que señala que no hay adsorción de sodio; la concentración de cloro es baja en las dos muestras (0.65 y 0.90 meq.l⁻¹).

Esquena

El pH del agua varía de 8.1 en la primera muestra a 7.2 en la segunda muestra considerándose por tanto alcalino y neutro; la CE varía de 882 a 916 micromhos.cm⁻¹, este incremento se debería a que existe una disolución de sales en 60 días, tiempo de diferencia entre el primer y segundo muestreo; la suma de carbonatos y bicarbonatos para las dos muestras es superior a 20%, existe peligro de precipitación de estos aniones como sales en el suelo cuando se combinen con los cationes presentes en él, es recomendable que se diseñe sistemas de drenaje con el objeto de lixiviar las sales; la salinidad efectiva es la relación entre los cationes y aniones e implica la posibilidad de formar sales en el suelo, para el caso analizado la SE es mayor en la primera muestra (3.76 meq.l⁻¹) con relación a la segunda (4.78 meq.l⁻¹), por esta propiedad el uso de esta agua está condicionado, deberá evitarse el incremento de las sales en el perfil del suelo asegurando la construcción de drenajes y un buen manejo de suelos; la salinidad potencial para estas muestras tienen aproximadamente el mismo valor (4.06 y 4.38 meq.l⁻¹), sin embargo, está condicionado el uso para riego, debido a que puede acumular cloro y sulfatos en el suelo; la RAS tiene valores bajos, no hay peligro de sodio; el por ciento de sodio posible tiene valores que fluctúan entre 31.91 y 33.47% para las dos muestra respectivamente, estos valores son bajos no existiendo la posibilidad de acumular sodio en el suelo; la concentración de cloro es baja (0.83 y 1 meq.l⁻¹).

La variación del pH y CE en los distintos puntos de muestreo se observan en las figuras 1 y 2 respectivamente.

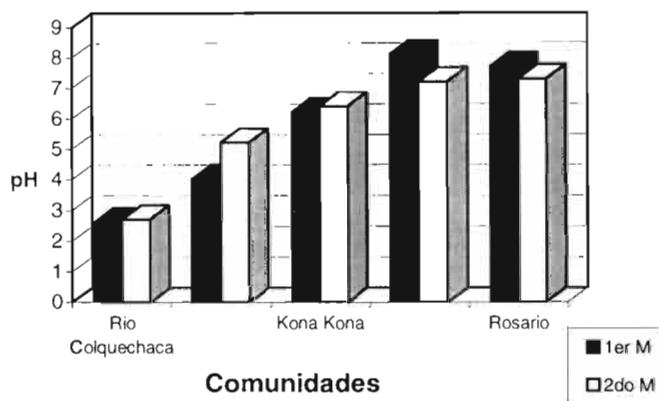


FIGURA 1. Variación de pH en aguas.

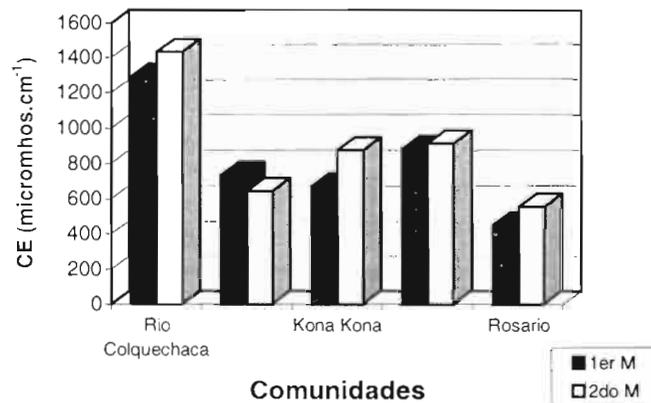


FIGURA 2. Variación de C.E. en aguas.

Clases de agua con fines de riego

Las aguas se clasifican con fines de riego tomando en cuenta la conductividad eléctrica (CE) y la relación de absorción de sodio (RAS) (Laboratorio de salinidad USA, 1974).

Las muestras de agua de Colquechaca corresponden a la clase C3S1, del Cruce Palca son de clase C2S1, las de Kona-Kona y Esquena son de clase C3S1, la descripción de estas clases, se tiene a continuación:

Agua de salinidad media (C2): Puede usarse siempre y cuando haya un grado moderado de lavado. En casi todos los casos y sin necesidad de prácticas especiales de control de la salinidad, se pueden producir las plantas moderadamente tolerantes a las sales.

Agua altamente salina (C3): No puede usarse en suelos cuyo drenaje sea deficiente. Aún con drenaje adecuado se pueden necesitar prácticas especiales de control de la salinidad, debiendo, por lo tanto, seleccionar únicamente aquellas especies vegetales muy tolerantes a sales.

Agua baja en sodio (S1): Puede usarse para el riego en la mayoría de los suelos con poca probabilidad de alcanzar niveles peligrosos de sodio intercambiable. No obstante los cultivos sensibles, como los frutales y paltos pueden acumular cantidades de sodio.

Sólidos totales en dos muestras de aguas

La relación de sólidos totales de dos muestras de aguas y en cuatro lugares, de la zona de estudio se ven en la figura 3. Existe una variación de sólidos totales en los cuatro lugares, principalmente en el segundo muestreo, siendo mayor en la localidad de Colquechaca 5.16 g.l^{-1} y el menor en la localidad de Esquena con 2.92 g.l^{-1} , esta diferencia es significativa siendo la diferencia de 12.2 g.l^{-1} , teniéndose valores intermedios en Cruce Palca y Kona-Kona.

La mayor cantidad de sólidos totales que se tiene en el río Colquechaca podría deberse al arrastre de material suelto (arenas, limos y arcillas) que encuentra en su cauce. Este proceso de traslado y deposición tiene efectos perjudiciales para los suelos, el aporte de partículas contribuye a la degradación física a través de procesos como el apelmasamiento, encostramiento y compactación, procesos que reducen la productividad de los suelos.

Materiales pesados disueltos en agua

Concentración de cadmio

La concentración de cadmio varía según la época de muestreo y el lugar de muestreo (Figura 4). En el río Colquechaca se tienen las mayores cantidades de cadmio disuelto (0.58 y 0.49 mg.l^{-1}), siendo estas concentraciones altas, el límite permisible es de 0.2 g.m^{-3} . La menor concentración de éste elemento se encuentra en Esquena (0.005 y 0.03 mg.l^{-1}), estas concentraciones no tendrían efecto letal. En todos los casos la segunda muestra tiene menor concentración de cadmio que la primera.

Entre 66% y el 75 % del cadmio presente en los cuerpos de agua superficial y subterránea se encuentra adsorbido a partículas en suspensión, por acción de los agentes formadores de complejos puede ser removido de los sedimentos y removilizado. Su toxicidad para los peces

depende del contenido de calcio y tiene efectos en el hombre afectando riñones y pulmones produciendo bronquitis.

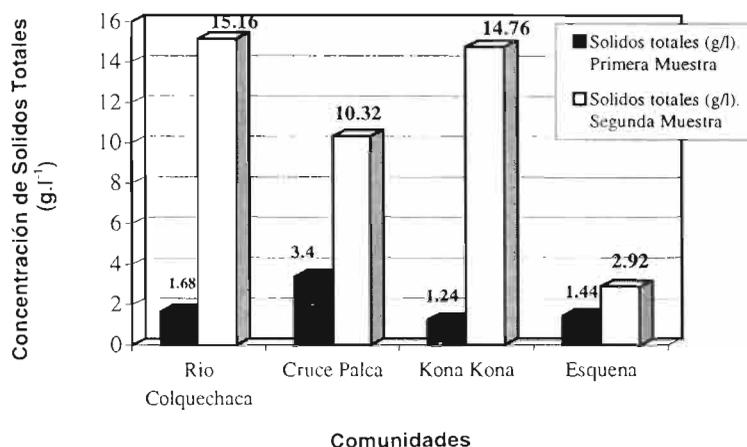


FIGURA 3. Concentración de sólidos totales en distintos tiempos (60 días).

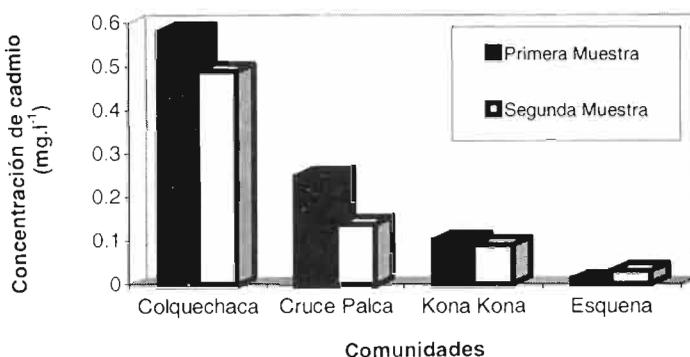


FIGURA 4. Concentración de cadmio en muestras de aguas en dos momentos (60 días).

Concentración de selenio

La concentración de selenio varía en los lugares y épocas de muestreo, siendo esta diferencia significativa (Figura 5). La concentración de selenio en Colquechaca es mayor (0.48 mg.l⁻¹) que las demás y la menor se encuentra en el Cruce Palca (0.03 mg.l⁻¹). El mayor contenido es producto de las explotaciones mineras de Colquechaca, los vapores de selenio pueden ser tóxicos para la salud humana, el mínimo tolerable 0.2 mg.m⁻³.

Concentración de metales pesados en los suelos

La acumulación de elementos pesados en los suelos se debe a la contaminación de aguas de riego o a la intemperización química y física de los materiales parentales. La cantidad de estos elemento presentes en el suelo es variable en las localidades de Kona-Kona y Esquena.

Concentración de hierro, zinc y selenio en Kona-Kona

El elemento presente en mayor cantidad en esta zona de estudio es el zinc (1,837 ppm) antes del riego, probablemente se deba a yacimientos de este elemento existentes en Kona-Kona, sin embargo disminuye la concentración con el segundo riego, es posible que exista una dilución por cuanto es soluble en medios ácidos (Figura 6).

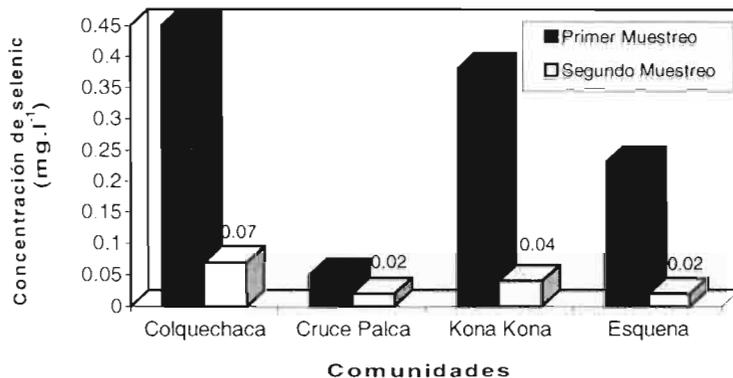


FIGURA 5. Concentración de selenio en dos momentos de muestras.

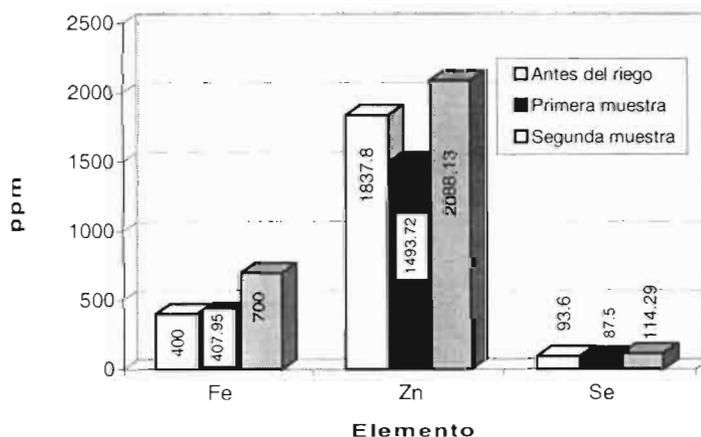


FIGURA 6. Concentración en ppm de Fe, Zn y Se en suelos de Kona Kona (Prof. 0-15 cm).

El hierro se incrementa en el suelo con la aplicación de aguas residuales, por tanto se atribuye a la deposición o precipitación del hierro (400 y 700 ppm, respectivamente).

Concentración de hierro, plomo y selenio en suelos de Esquena

En la figura 7, se puede observar la variabilidad de las concentraciones de Fe, Pb y Se, en suelos de Esquena a una profundidad de 0 a 14 cm.

La mayor concentración antes del riego corresponde al hierro (300 ppm) disminuyendo hasta el segundo riego (155 ppm), probablemente se deba a la solubilidad de algunos compuestos y hierro, sin embargo el hierro no es asimilable en suelos alcalinos como es el de Esquena.

El plomo se encuentra en mayor cantidad (335 ppm) en el segundo riego, posiblemente el incremento de este elemento se deba a la aplicación del agua, sin embargo la disminución es significativa para el segundo riego (20 ppm).

El selenio se incrementa con la aplicación de aguas residuales desde 75 hasta 157 ppm, si bien el selenio forma compuestos poco solubles, es posible que exista la precipitación de este elemento en el suelo.

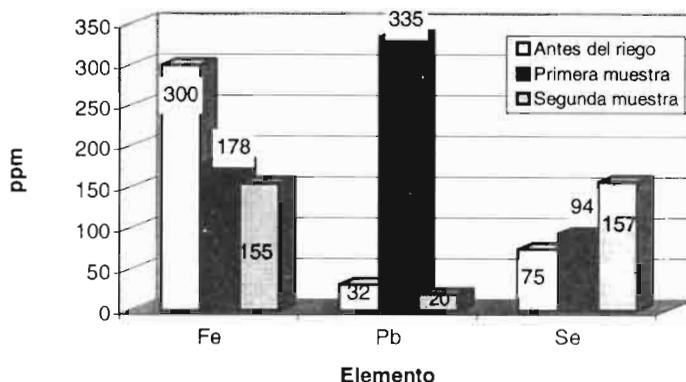


FIGURA 7. Concentración en ppm de Fe, Pb y Se en suelos de Esquina (Prof. 0-14 cm).

CONCLUSIONES

- Las aguas de Colquechaca, Cruce Palca y Kona-Kona son ácidas, el pH varía entre 2.6 a 6.4. En Esquina el agua es alcalina, el pH varía entre 7.2 y 8. 1.
- La CE de las aguas de los cuatro lugares es relativamente baja, sin embargo, en Colquechaca y Kona-Kona el uso del agua está condicionado.
- La salinidad potencial de las aguas en los cuatro lugares condiciona su uso.
- Todas las muestras de aguas corresponden a la clase S1, pero difieren por la época de muestreo en C2 y C3.
- La mayor cantidad de sólidos totales se encuentra en el río Colquechaca para la segunda muestra y la menor concentración en el río Kona-Kona para la primera muestra,
- La máxima concentración en cadmio de las aguas, se encuentra en el río Colquechaca y la mínima en Esquina.
- La concentración de selenio es mayor en el río Colquechaca, estando después el río Kona-Kona.
- La concentración de zinc en el suelos es mayor en Kona-Kona con relación a los otros lugares. El hierro y el selenio tienen menor concentración que el zinc.
- En la zona de Esquina el zinc se presenta en mayor concentración que el hierro y el selenio.

BIBLIOGRAFÍA

- Allison, L.E. et al., 1974. Diagnóstico y rehabilitación de suelos salinos y sódicos. Editorial Limusa.
- Bohn, H. et al., 1993. Química del suelo. Editorial Limusa.
- Porta, J. et al., 1994. Edafología. Ediciones Mundi-Prensa.
- Cepeda, J.M., 1991. Química de suelos. Editorial Trillas.
- Fassbender, H., 1975. Química de suelos con énfasis en suelos de América Central. Turrialba, Costa Rica.
- Hawley, G., 1975. Diccionario de química. Barcelona. Ediciones Omega.

La Fuente, J.E., 1996. Determinación de los elementos pesados como factores contaminantes del Río Grande y los suelos de dos comunidades de la provincia Chayanta. Cochabamba, Bolivia, Facultad de Agronomía, Universidad Mayor de San Simón, Tesis de grado

Palacios, S y Salazar, J., 1994. Tratamiento de aguas. Oruro, Bolivia, Universidad Técnica de Oruro.

Manejo y conservación de suelos

Estrategias y tecnologías para superar la degradación y mejorar la productividad de los suelos tropicales de Bolivia

Richard G. Barber¹

1 25 Elsley road, Tielehurst, Reading RG31 6RP, UK Reino Unido. Teléfono/fax (44) 118 945 5557. email: rgarbar@compuserve.com

RESUMEN

En los trópicos sub-húmedos y húmedos de Bolivia, los procesos de degradación de suelos más perjudiciales son la eliminación de cobertura vegetal, la degradación biológica (pérdida de materia orgánica y reducción de actividad biológica), la erosión hídrica, la degradación física (compactación) y la degradación química (explotación de nutrientes). Existen varias tecnologías para superar estos procesos de degradación como el uso de rastrojos, mulch, abonos orgánicos, cultivos de cobertura, labranzas conservacionistas y la combinación de fertilizantes químicos y material orgánico. Pero muchas veces la disponibilidad de materiales, equipos, insumos, mano de obra, tierra o dinero limitan su adopción, o por otras razones, las tecnologías no son factibles para los productores.

Para asegurar que los trabajos de investigación y transferencia de tecnología en suelos realmente produzcan un impacto sobre los beneficiarios (los productores), se deben realizar dentro del marco de una estrategia de desarrollo que sea más holística y cooperativa, involucrando a todos los actores e instituciones de los diferentes sectores de desarrollo (instituciones gubernamentales centrales y locales, ONGs, proyectos, entidades públicas, instituciones financieras, sector privado y productores). Además, la estrategia tiene que considerar en forma inter-disciplinaria las tecnologías para mejorar el uso y manejo tanto de los suelos como de los nutrientes, agua, cultivos, ganado, pastos y bosques debido a las interacciones que existen entre estos componentes en el sistema agropecuario.

Los cambios propuestos implican que los investigadores de suelos adopten un papel más amplio, de tal manera, que participen en todos los pasos desde la caracterización del ambiente agropecuario, la identificación de los problemas y posibles soluciones, hasta la evaluación de las soluciones probadas.

En esta publicación se presentan varias sugerencias de actividades prioritarias para contribuir al desarrollo de tecnologías capaces de superar la degradación de los suelos y mejorar su productividad como: la capacitación de extensionistas y productores sobre los principios del manejo de suelos para aumentar el número de personas, en el país, que entiendan como manejar los suelos; el desarrollo de métodos simples, para uso por productores y extensionistas en el campo, sobre cómo identificar los tipos de degradación de suelo y cómo monitorear cambios en la salud del suelo bajo diferentes tipos de manejo; la promoción de investigaciones participativas, llevadas a cabo por agricultores, sobre incrementos en la producción de forraje en la propiedad para poder dejar más rastrojos en las parcelas para la protección de los suelos, la selección e inserción de cultivos de cobertura en diferentes sistemas de cultivos anuales y perennes, el uso de pastos y arbustos como mulch para cultivos de alto valor; la selección de especies multi-propósitos para barreras vivas; la viabilidad y ventajas de combinar fertilizantes con materias orgánicas y el desarrollo de sistemas manuales de cero labranza y labranza mínima.

INTRODUCCION

Una gran proporción de la población boliviana depende de la actividad agropecuaria, pero muchos de los suelos están perdiendo su fertilidad debido a varios procesos de degradación. Si continua este proceso, la reducción de la fertilidad de suelos conducirá a la inseguridad alimentaria, aumento de pobreza, inestabilidad social y al deterioro del ambiente en la calidad de los suelos, aguas, vegetación y biodiversidad. Cuanto más degradados están los suelos, antes de tomar medidas para contrarrestar la degradación y restaurar la fertilidad, más difíciles y costosas serán las acciones necesarias.

Este artículo trata primero de los procesos dominantes de degradación de los suelos tropicales de Bolivia y luego presenta, en términos generales, algunas posibles soluciones para contrarrestar la degradación y aumentar la fertilidad. Se incluyen referencias a varias experiencias de otros países que parecen ser relevantes a las condiciones de Bolivia. Luego, se presentan sugerencias sobre

algunos cambios en las estrategias institucionales, en los procedimientos y actividades para frenar la degradación de los suelos, restaurar su fertilidad y aumentar el impacto de los trabajos con los beneficiarios o productores.

PROCESOS DOMINANTES DE LA DEGRADACIÓN DE LOS SUELOS TROPICALES DE BOLIVIA

Existen varios procesos de degradación en los suelos tropicales de Bolivia, los dominantes y más importantes son la eliminación de cobertura de los suelos, la pérdida de materia orgánica y actividad biológica, el deterioro de la estructura y compactación, la erosión hídrica y la explotación de nutrientes.

Eliminación de cobertura de los suelos

Los suelos bajo la vegetación natural se encuentran en un estado de equilibrio debido al ciclo cerrado del flujo de nutrientes y de materia orgánica. Una vez que este ciclo ha sido disturbado, por la eliminación de la vegetación natural, los procesos de degradación comienzan, siendo más fuertes bajo sistemas convencionales de cultivos anuales donde hay una gran remoción de biomasa. El manejo del cultivo, especialmente en relación al nivel de producción y si cosechan sólo el grano o el grano más follaje, influye mucho en el grado de reducción de la materia orgánica y de los nutrientes.

Pérdida de materia orgánica y actividad biológica

Estos procesos constituyen la llamada degradación biológica que puede ser el resultado de quemar o quitar la vegetación y rastrojos, del sobrepastoreo, de la erosión y de la mineralización acelerada debido al uso de labranzas convencionales en la producción de cultivos anuales por períodos largos sin descanso. Datos de las tasas de disminución de la materia orgánica de los suelos de Santa Cruz (Cuadro 1) dan variaciones enormes, desde 44% en 20 meses en Saavedra hasta ningún cambio detectable en 16 meses en un suelo de Pailón. Tales variaciones son atribuidas a las características de los suelos, el tipo de manejo y además a la eficiencia de las operaciones de desboscado.

CUADRO 1. Cambios en la materia orgánica de suelos

Pailón		Saavedra J1		Brechas C2		Brechas C3		Saavedra F1	
Años	M.O. mg/30 cm-ha	Años	M.O. mg/30 cm-ha	Años	M.O. mg/30 cm-ha	Años	M.O. mg/30 cm-ha	Años	M.O. mg/15 cm-ha
0.0	156	0.0	101	0.0	59	0.0	87	5.0	74.2
0.5	162	1.7	53	18.0	34	14.0	75	29.0	25.6
		4.5	58						
		4.7	62						
		5.5	57						

Fuente: Barber, 1994.

La pérdida de materia orgánica tiene muchas repercusiones perjudiciales, como el deterioro estructural del suelo, la formación de costras que restringen la infiltración de la lluvia, reducción en la capacidad del suelo para retener nutrientes y agua y una reducción en la actividad de la meso- y micro-fauna. Hay evidencia reciente de que la materia orgánica del suelo disminuye las fuerzas de retención de la humedad y por lo tanto su pérdida dificultará la absorción de humedad por los cultivos (Gregory, 1999. Comunic. Pers.). En Malawi el cultivo de suelos, por largos períodos de tiempo sin aplicar material orgánico y sin descansos, ha dado como resultado una gran disminución de la fertilidad de los suelos, rendimientos bajos y, además, descensos en las repuestas de los cultivos a los fertilizantes en respecto a los kilogramos de grano producido por kilogramo de nitrógeno aplicado (Cuadro 2).

CUADRO 2. Rendimientos de maíz sin fertilización y las repuestas a fertilizantes para dos épocas en Malawi.

Lugar	Rendimiento	Rendimiento	Respuesta	Respuesta
	kg.ha ⁻¹	kg.ha ⁻¹	kg maíz. kg ⁻¹ N	kg maíz . kg ⁻¹ N + P ₂ O ₅
	1957-1962	1985-1987	1957-1962	1982-1985
Lilongwe	1,760	1,100	23	13
Kasungu	1,867	1,120	24	18
Salima	1,693	1,060	25	17
Mzuzu	1,535	775	32	18

Fuente: FAO, 1998.

Pérdida de la estructura y compactación

El deterioro de la estructura de suelos es más común donde siembran cultivos anuales por mucho tiempo sin descanso y en suelos arenosos donde se devuelve poca cantidad de materia orgánica. Los suelos jóvenes del oriente de Bolivia, de origen aluvial, son muy susceptibles a la compactación que empeora el drenaje y restringe la penetración de las raíces. Hay evidencia que la compactación también disminuye la retención de humedad disponible en los suelos (Cuadro 3). La causa principal de la compactación de suelos es la preparación mecanizada de suelos con rastras y arados de discos, pero el pisoteo del ganado y labranzas manuales con azadón también pueden causar compactación. En Malawi hay mucha evidencia de "pisos de azadones" producidos por la preparación de suelos con azadones durante largos períodos, causando graves problemas de penetración de raíces (FAO, 1998). El autor también ha encontrado pisos de azadones en Uganda.

CUADRO 3. Cambios en la distribución del tamaño de poro del suelo de Saavedra J1 desde bajo bosque hasta después de 68 meses de labranza.

	Volumen de poros (% v/v)		
	Poros de Almacenamiento 0.0002-0.05 mm *	Poros de Transmisión >0.05 mm	Poros de Enraizamiento >0.1 mm**
Bosque	13.4	11.4	5.2
Suelo cultivado (68 meses)	10.1	5.5	4.5
Significancia estadística	**	**	NS

* Diámetros de poros cilíndricos equivalentes

** Equivalente al diámetro de las raíces seminales de cereales y raíces grandes

Fuente: Barber, 1994.

Erosión hídrica

Por lo general, la erosión hídrica es una consecuencia de la pérdida de la cobertura de los suelos y puede ser muy perjudicial, aún en pendientes de sólo 2-3% si los suelos son arenosos y susceptibles al encostramiento. Sin embargo, para los productores la pérdida de agua es a menudo más grave que la pérdida de suelo, porque tiene un efecto más inmediato sobre los rendimientos. En pendientes fuertes la producción de cultivos anuales con uso de azadones exagera el proceso de erosión natural debido a que la remoción del suelo está en dirección arriba-abajo.

Explotación de nutrientes

Las pérdidas de nutrientes sucede bajo sistemas de cultivos intensivos y de larga duración, cuando el grano y los rastrojos se eliminan de la parcela y no se compensan los nutrientes extraídos. La disminución de fertilidad por este proceso se llama "explotación de nutrientes", quitar nutrientes en la cosecha es inevitable, pero el uso intensivo de suelos en combinación con las pérdidas de nutrientes por quitar rastrojos, erosión, lixiviación, volatilización y desnitrificación reducen aún más la fertilidad, dando como resultado balances negativos de nutrientes, salvo que se apliquen al suelo. Estudios recientes de Uganda dieron como resultado balances negativos de nutrientes en los sistemas de producción de muchos cultivos (Cuadro 4), estas pérdidas representan una descapitalización para el productor. Una gran parte de la pérdida de nutrientes se atribuye a la

extracción de nutrientes en la cosecha y en los rastrojos, a la que se suma la pérdida de materia orgánica de los suelos.

CUADRO 4. Balances estimados de nutrientes (kg.ha⁻¹.año⁻¹) para cultivos en Palissa, Uganda.

	Banana	Maíz	Frijol	Batata	Soya
Nitrogeno	-13.2	-104.2	-40.4	-71.3	-121.5
Fósforo	1.2	-13.6	-8.8	-13.2	-16.4
Potasio	-35.7	-82.4	-42.7	-78.9	-68.3

Fuente: Wortmann y Kaizzi, 1998.

Interacciones entre los procesos de degradación de suelos

Cuando los procesos de degradación de suelos se manifiestan en bajos niveles de uno o más de los siguientes factores: nutrientes, agua, estructura, materia orgánica, cobertura o enraizamiento, frecuentemente, hay una interacción entre ellos que resulta en rendimientos aún más bajos. Esto se debe a la relación cíclica entre estos factores y al reforzamiento de los efectos negativos que resultan en reducciones progresivas de los rendimientos (Figura 1). Por ejemplo, a medida que la cobertura del suelo se reduce la estructura se deteriora más, dando como resultando la formación de costras y reducción de la infiltración del agua, que a su vez resulta en la disminución de nutrientes, reducción del rendimiento. A medida que la producción de grano, follaje y raíces disminuya, la cobertura y la devolución de materia orgánica al suelo disminuirán con el consecuente deterioro de la estructura superficial y una mayor pérdida de agua como escorrentía, repitiendo el proceso de manera cíclica.

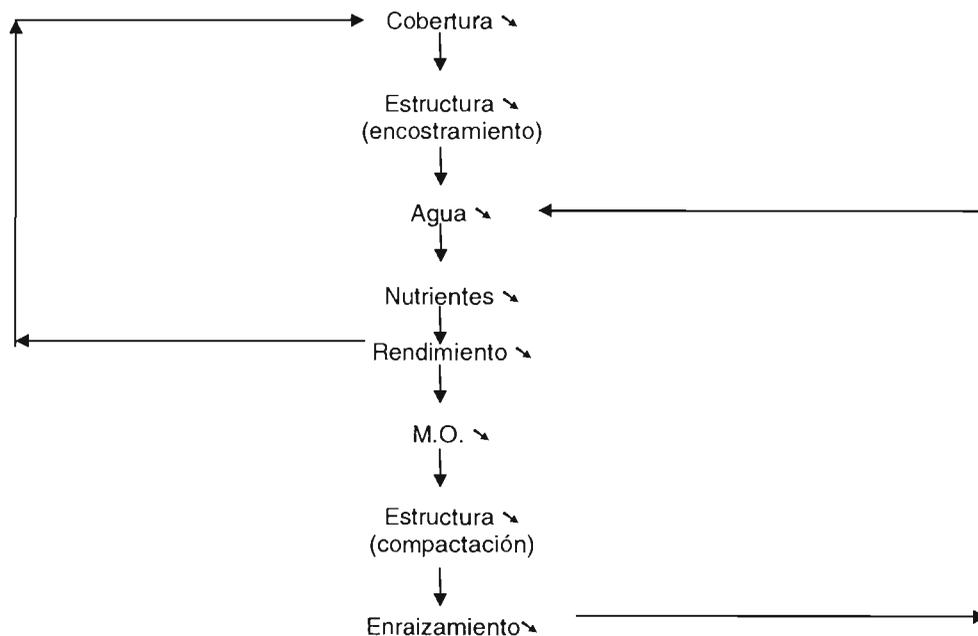


FIGURA 1. La relación cíclica entre los efectos de la degradación de suelos y el reforzamiento de los efectos negativos lo que resulta en reducciones progresivas de los rendimientos.

Existe también una interacción entre la degradación del suelo y la precipitación pluvial, el deterioro de la estructura debido a la pérdida de materia orgánica, cobertura o compactación tiende disminuir la cantidad de poros de transmisión y de almacenamiento, como consecuencia, los suelos son más susceptibles a las lluvias excesivas y a las sequías, el efecto será más grave en suelos que han sido físicamente degradados (Cuadro 3).

Durante los últimos cincuenta años, parece ser que ha habido un cambio en el esquema de precipitación pluvial, que se manifiesta por una variabilidad que aumenta en el tiempo, tanto para la lluvias de verano como de invierno (Barber, 1994). La probabilidad de que se presenten precipitaciones pluviales excesivamente copiosas o excesivamente escasas, ha sido mucho más alta desde 1971-72 en Santa Cruz, lo que acentúa la severidad y impacto de las sequías y inundaciones sobre los suelos y cultivos.

TECNOLOGIAS PARA CONTRARRESTAR LOS PROCESOS DE DEGRADACION Y AUMENTAR LA FERTILIDAD DE LOS SUELOS

Dejar rastrojos de cultivos en la superficie del suelo

Esta tecnología puede contribuir sustancialmente a contrarrestar la falta de cobertura, las reducciones de materia orgánica y actividad biológica, las pérdidas de nutrientes y agua por erosión y el deterioro de la estructura.

En sistemas de bajos insumos, el reciclaje de rastrojos puede contribuir cantidades significativas de nutrientes para el siguiente cultivo. En Sri-Lanka el reciclaje de los rastrojos de 4 tn.ha⁻¹ de arroz proporciona aproximadamente 30% del nitrógeno y 100% del potasio que estaría presente en las cantidades recomendadas de fertilizantes (Cuadro 5).

CUADRO 5. Comparación de las cantidades de N y K en los rastrojos de arroz producidos en Sri Lanka y en los fertilizantes químicos aplicados al arroz en 1989.

Fuente	Nitrógeno (tn)	Potasio (tn)
Rastrojos de arroz	17,192	44,208
Fertilizantes químicos	62,776	24,037

Fuente: Amarasiri, sf.

Investigaciones en El Salvador han indicado que un 75% de cobertura de rastrojos, equivalente a 3.5-4.2 tn.ha⁻¹ de rastrojos de maíz, reduce los riesgos de erosión hasta bajos niveles en pendientes de 20-50% (Figura 2) (Argueta, 1996). Además, esta tecnología ha producido 20-43% más de maíz en comparación con parcelas donde los rastrojos son retirados (Cuadro 6).

CUADRO 6. Producción de granos de maíz en parcelas de demostración con y sin rastrojos sobre la superficie del terreno

Forma de Manejo de Rastrojos	Cabañas		Usulután		Morazán	
	kg.ha ⁻¹	%	kg.ha ⁻¹	%	kg.ha ⁻¹	%
Sin rastrojos	2,346		3,120		1,690	
Con rastrojos	3,139	+34	3,744	+20	2,418	+43

Fuente: Proyecto CENTA-FAO, (1999).

A menudo los rastrojos de los cultivos anuales son usados para forraje o techos de paja, bajo estas circunstancias es necesario buscar soluciones basadas en alternativas del sistema agropecuario. Por ejemplo, en situaciones donde los rastrojos son usados para forraje, será necesario producir fuentes alternativas de forraje para la época seca, en cantidades suficientes para satisfacer los requerimientos del ganado y también para proteger los suelos de la erosión. La figura 3 muestra un modelo muy simple que permite estimar la cantidad requerida de rastrojos, el déficit en la producción actual de rastrojos y las posibles fuentes adicionales de forraje como especies mejoradas de pastos, árboles forrajeros o la producción de heno o ensilaje, por ejemplo, sorgo forrajero intercalado con *Dolichos lablab* (Barber, 1998).

Aplicar mulch

Hay variaciones marcadas en el contenido de nutrientes en diferentes tipos de mulch y para diferentes fuentes del mismo tipo de mulch (Cuadro 7). La aplicación de mulch da los mismos

beneficios que los rastrojos de cultivos, pero la baja disponibilidad de materiales aptos para ser mulch y los altos costos de comprar, recolectar, transportar y aplicarlos frecuentemente limita su adopción. Hay situaciones donde los agricultores aplican mulch debido a las grandes ventajas económicas de la práctica, especialmente con cultivos de alto valor, por ejemplo, la aplicación a las bananeras en Uganda de mulch de *Paspalum sp.* combinado con rastrojos de maíz incrementó los rendimientos de 4.3 hasta 10.8 tn.ha⁻¹.año⁻¹ (Speijer et al., 1998). El efecto principal del mulch, en este caso, es probablemente la reducción de la pérdida de agua por evaporación de los suelos. En el este de Africa, en un intento de superar la falta de materiales aptos para mulch, se ha probado el uso de las hojas de arbustos que comúnmente crecen como malezas a lo largo de los bordes de los caminos, como *Lantana camara*, *Tithonia diversifolia*, *Cassia hirsuta* y *Aspilia africana* (Kaizzi, 1996). Un amplio rango de ensayos para probar el efecto de la aplicación de 5 tn.ha⁻¹ de mulch de *Tithonia diversifolia* sobre los rendimientos de varios cultivos han dado incrementos de más de 100% con maíz y más de 200% con frijoles (Cuadro 8).

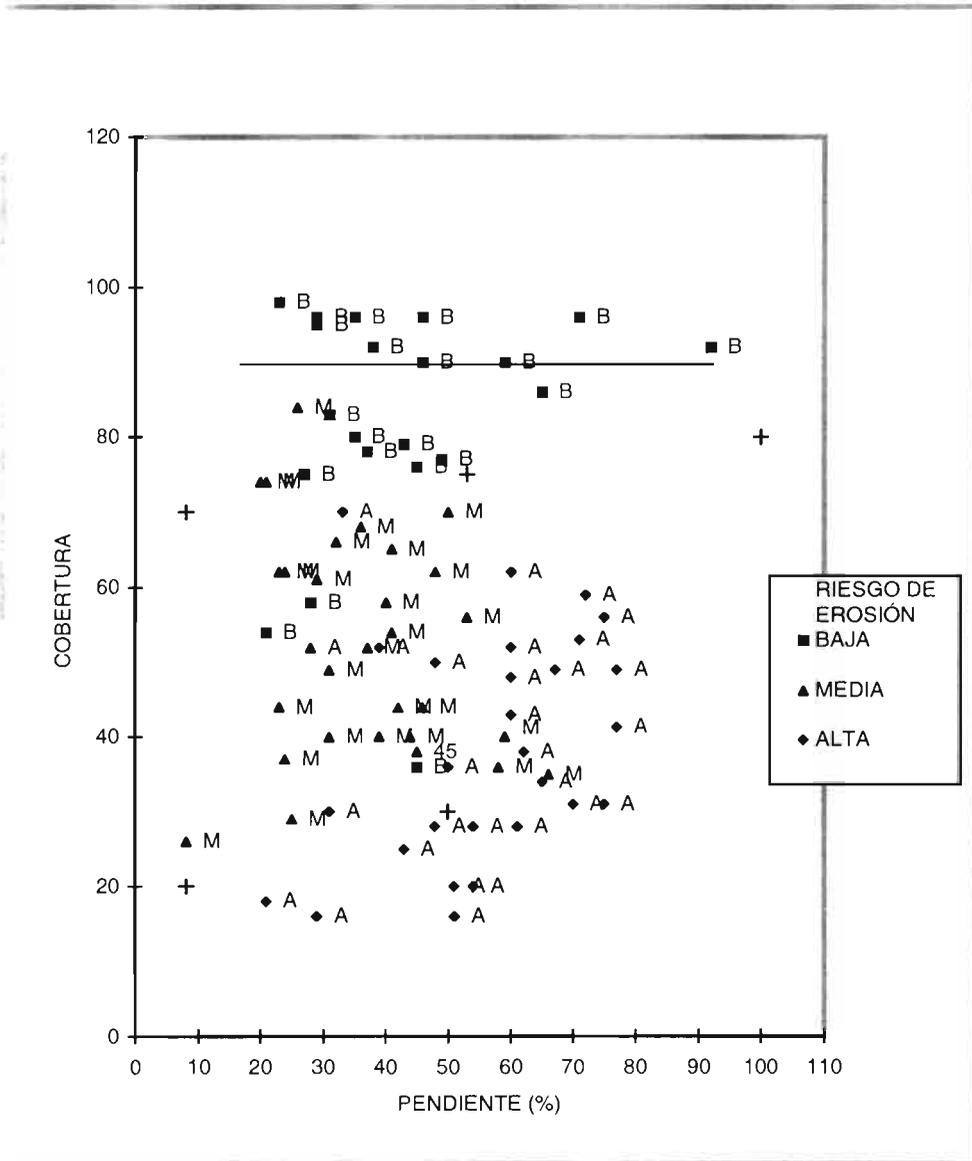


FIGURA 2. Relaciones entre los riesgos de erosión de los suelos, cobertura de rastrojos y pendiente (Argueta, 1996).

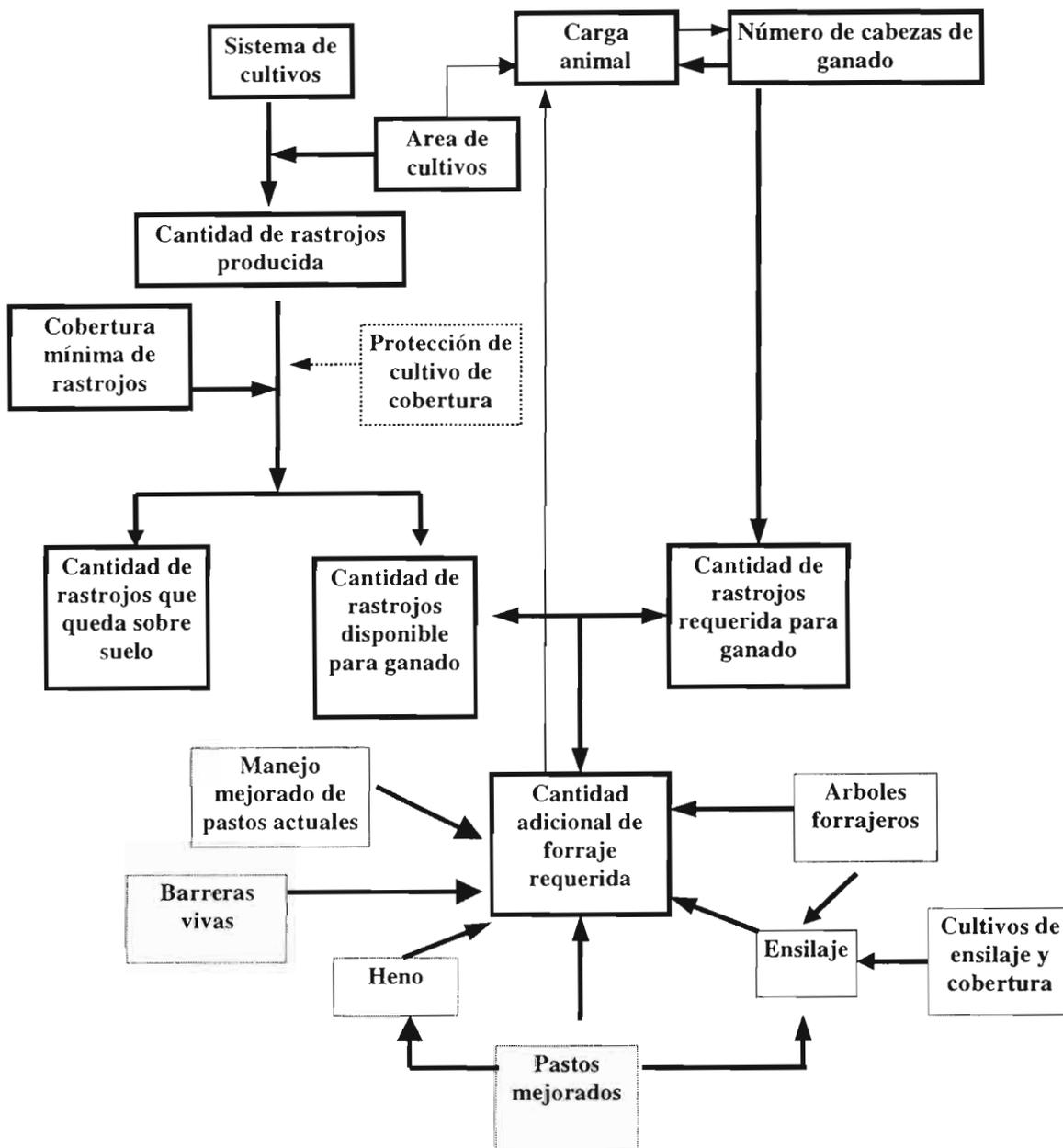


FIGURA 3. Modelo simple para estimar las cantidades adicionales de forraje requeridas para satisfacer las necesidades del ganado y proteger los suelos.

En Honduras, los agricultores han desarrollado una práctica que se llama “Quesungwale,” se aplica un mulch de ramas y hojas de los árboles dispersos que dejan crecer dentro de sus parcelas de cultivos anuales, este sistema se desarrolló en respuesta a la falta de leña en la zona (Barber, 1999).

Introducir cultivos de cobertura

Los cultivos de cobertura pueden dar beneficios que contrarresten la falta de cobertura, la reducción de materia orgánica y actividad biológica, las pérdidas de nutrientes y agua por erosión y el deterioro de la estructura. Pueden también proporcionar cantidades bastante altas de nutrientes,

si son eliminados durante la época de floración, además los cultivos de cobertura del tipo leguminosa tienen la ventaja adicional de fijar nitrógeno de la atmósfera. Sin embargo, si el cultivo tiene un índice de cosecha alto y las semillas son cosechadas, el cultivo no va a reponer muchos nutrientes al suelo. Se han hecho investigaciones en Bolivia y otros países latinoamericanos sobre la selección, uso y manejo de los cultivos de cobertura para diferentes sistemas de cultivos anuales y perennes, para los cultivos anuales puede ser factible sembrar el cultivo de cobertura en asociación, en relevo o como cultivo puro durante períodos de descanso. Investigaciones de los productores y evaluaciones de las investigaciones de los investigadores en Uganda, han resultado en la formulación de una guía sobre la selección de cultivos para diferentes usos, presenta variaciones en la especie y la época de siembra y variaciones sobre la forma de sembrar, ubicación y espaciado (Cuadro 9).

Esta tecnología ha sido probada e investigada por muchos años en América Central y, a pesar de todos los esfuerzos de promocionarla, los agricultores de pequeña escala mayormente la adoptan sólo bajo las siguientes condiciones:

- cuando no es factible sembrar otro cultivo en aquel lugar o momento debido a los costos de oportunidad
- cuando el cultivo de cobertura no requiere insumos como insecticidas
- cuando el cultivo de cobertura no requiere mano de obra adicional
- cuando el cultivo de cobertura tiene otras ventajas adicionales como ser un alimento para ganado o humanos o reduce los costos de las carpidas

CUADRO 7. Contenido de nutrientes en fuentes alternativas de mulch

Tipo de Mulch	Contenido de nutrientes (kg.tn ⁻¹)		
	N	P	K
Rastrojos de maíz	10	1.0	13.0
Pastos	8	0.9	9.5
Desechos de soya	12	1.1	6.5
Ceniza de leña	-	6.0	40
<i>Cassia hirsuta</i>	30	1.8	45
<i>Lantana camara</i>	27	1.6	27
<i>Aspilia kotschyi</i>	13	1.1	40
Cáscara de café	13	1.2	20
Cáscara de café	4.8	1.2	10
Cáscara de café	22	1.7	40

Fuente: Barber, 1999a.

CUADRO 8. Rendimientos de cultivos (kg.ha⁻¹) con y sin mulch de *Tithonia*

	Sin <i>Tithonia</i>	Con <i>Tithonia</i>	Con <i>Tithonia</i> + Roca Fósforica
Maíz	450	1,670	3,930
Frijoles	260	734	-

Fuente: ICRAF, 1997.

Tasas de liberación de nutrientes de la materia orgánica

La liberación de nutrientes de los diferentes tipos de materiales orgánicos (mulch, rastrojos y cultivos de cobertura) depende del contenido de nitrógeno, lignina y polifenoles que influyen en las tasas de descomposición, la composición química de los materiales también varía con el estado de madurez de las plantas. Otro factor que incide en la tasa de liberación de nutrientes es el tipo de manejo, por ejemplo, si los materiales son incorporados o quedan en la superficie del suelo o si son mezclados con fertilizantes o compost. Palm et al. (1997) han desarrollado un árbol de decisiones sobre el manejo de materia orgánica para cubrir las necesidades de nitrógeno con base en las concentraciones de nitrógeno, lignina y polifenoles de ésta. Sin embargo, los productores rara vez tienen muchas opciones sobre el tipo de materia orgánica a aplicar, las ventajas de dejar los materiales orgánicos sobre la superficie del suelo tienen mayor peso que las ventajas de incorporarlos.

CUADRO 9. Líneas de guía sobre el uso de cuatro especies de cultivos de cobertura en Uganda Central y Oriental

Si uno quiere ...	Sembrar ...	No siembra ...
Producir en cultivo puro	Mucuna o lablab	Canavalia
Intercalar con maíz	Canavalia o lablab a una densidad muy baja	Mucuna
Intercalar con banana o café recién establecido	Canavalia	Mucuna o lablab
Intercalar con banana o café establecido	Canavalia o mucuna a baja densidad	Crotalaria
Intercalar entre las camellones de batatas	Crotalaria o canavalia	Mucuna o lablab
Intercalar con yuca recién plantada	Canavalia o crotalaria	Mucuna o lablab
Intercalar con yuca establecida	Canavalia o mucuna a baja densidad	Crotalaria
Producir forraje	Lablab o mucuna	Canavalia o crotalaria
Suprimir malezas	Mucuna o lablab	Crotalaria o canavalia
Reducir nemátodos	Crotalaria	Canavalia
Producir mulch resistente	Crotalaria y canavalia cuando son maduras	Lablab o mucuna

Fuente: Fischler y Wortmann, (En imprenta).

Labranza conservacionista

Para asegurar los beneficios de las tecnologías de dejar rastrojos o aplicar mulch o cultivos de cobertura es importante adoptar un sistema de labranza conservacionista, preferentemente labranza cero. La combinación de dejar rastrojos de maíz y sorgo sobre la superficie con cero labranza usando un huizute, variedades mejoradas y fertilizantes en Guaymango-Metalío, de El Salvador, ha aumentado los rendimientos de maíz por un factor de 2 a 3 (Cuadro 10). Este resultado además destaca el efecto sinérgico cuando se combinan varias tecnologías.

CUADRO 10. Cambios en los rendimientos de maíz y sorgo en el área de Metalío-Guaymango, El Salvador.

Año	Maíz (tn.ha ⁻¹)	Sorgo (tn.ha ⁻¹)
1974	0.97	0.70
1978	2.34	1.50
1983	3.25	2.08
1989	3.25	2.10

Fuente: Calderón et al., 1991.

Barreras vivas

Esta tecnología contribuye a limitar las pérdidas de suelo y agua de la parcela por medio de la filtración de los sedimentos llevados por la escorrentía y su deposición dentro y arriba de las barreras, dando como resultando la formación lenta de terrazas durante periodos de varios años. La eficiencia de las barreras vivas para formar terrazas con el tiempo, varía según la especie y su forma de crecimiento. Sin embargo, las barreras vivas no evitan la erosión ni la escorrentía, ni estimulan la actividad biológica en las áreas entre las barreras individuales.

Para la mayoría de los productores, los aspectos más importantes en la selección de las especies para barreras vivas es que aporten productos para el consumo o la venta y que no invadan ni compitan con los cultivos adyacentes. Un estudio en Guinope de Honduras ha demostrado que a pesar de la introducción de sólo dos variedades de pastos como barreras vivas en 1981, 15 años después, los productores están utilizando 19 diferentes especies que dan productos como pastos para forraje y frutas (Hellin y Larrea, 1996).

Barreras muertas

Piedras y troncos de árboles colocados perpendiculares a la dirección de la pendiente máxima actúan como barreras muertas y tienen ventajas y desventajas similares a las de las barreras vivas, pero no dan productos de valor. Su adopción es menos popular que las barreras vivas.

Terrazas y acequias

Las acequias y terrazas, con la excepción de terrazas de banco, no resuelvan los problemas de la degradación de suelos en las áreas entre estructuras. Debido a sus altos costos de construcción y de mantenimiento y el largo período para recuperar las inversiones, los productores están generalmente poco dispuestos a construirlas para cultivos de subsistencia, salvo que reciban incentivos (Barber, 1998). En cambio, en zonas donde hay déficit de humedad, la adopción de terrazas y acequias de retención (retienen la escorrentía) es mayor, especialmente para suelos poco profundos o con capas superficiales degradadas y para cultivos de alto valor. En Uganda se construyen acequias de ladera, tipo retención, para bananas en aquellas zonas donde la lluvia es menor que la óptima y donde hay una escasez de materiales para mulch. No obstante, se debería combinar esta tecnología con prácticas que restauran la cobertura y la estructura de la superficie del suelo con el propósito de mejorar la infiltración del agua. En este caso, las acequias deberían ser consideradas como prácticas provisionales.

Compost y abonos orgánicos

El valor del compost para mejorar la fertilidad química, la estructura de los suelos y estimular la actividad biológica es bien conocido, pero pocos agricultores lo producen por la cantidad de mano de obra necesaria y la escasez de materiales aptos para hacer compost, por lo tanto, la aplicación de compost muchas veces está limitada sólo a los jardines cerca de la casa. En Kenia su uso, aplicado en camellones de doble cultivo, ha sido tan exitoso que hubo una adopción espontánea muy marcada, el número de productores aplicando compost se duplicó en sólo tres años y la tecnología ha sido difundida desde las hortalizas en la vecindad de la casa hasta las parcelas de granos y los jardines de té (Shaxson, 1997). En Nepal la gran mayoría de los productores hacen compost del estiércol, orina, hojarasca del bosque, paja, cenizas y desechos de la casa, esta tecnología ha sido desarrollada por siglos y es la base de la sostenibilidad actual de los sistemas de producción. Para el cultivo de arroz inundado aplican entre 0-23 tn.ha⁻¹año⁻¹ y para maíz 20-28 tn.ha⁻¹año⁻¹ (Kandel y Wagley, 1999).

A pesar de que los abonos y materiales orgánicos proporcionan materia orgánica y nutrientes, en muchas situaciones, no hay la cantidad suficiente de material disponible para satisfacer los requisitos de todos los cultivos. En situaciones donde hay cantidades suficientes, es importante evitar que baje la fertilidad de los suelos donde crecen las plantas usadas para mulch. Otro problema es la dificultad de aplicar estos materiales a parcelas que quedan lejos del corral, para agricultores de pequeña escala en Uganda se estimaron, tomando en cuenta el tamaño del recipiente más grande que tendría el agricultor en su casa, que para aplicar cinco toneladas de abono a una parcela de una hectárea ubicada a 0.5 km del corral, el agricultor tendría que caminar 864 km (M. Foster, 1998, Pers. Com.).

Fertilizantes

Los fertilizantes tienen la ventaja de tener mayores concentraciones de nutrientes que los materiales orgánico y, por lo tanto, son más fáciles transportar y aplicar. En Uganda la mayoría de los pequeños agricultores no tienen dinero suficiente para aplicar fertilizantes en las aplicaciones recomendadas. La cantidad y tipo de fertilizante a aplicar dependerá de muchos factores, por ejemplo, el cultivo, tipo de suelo, disponibilidad de crédito, si aplica mulch o no y la fecha de siembra. En base de información ya disponible, los investigadores y los agricultores han desarrollado una guía simple y tentativa sobre recomendaciones de fertilizantes para maíz y frijoles en algunas zonas agroecológicas que dan buenas respuestas, aunque no son las respuestas máximas, toman en cuenta varios de los factores mencionados arriba (Cuadro 11).

Hay evidencia de ensayos de largo plazo en Africa que no es factible mantener una alta productividad de suelos con aplicaciones de sólo fertilizantes sin las aplicaciones de abonos o materiales orgánicos (Swift et al., 1994). En áreas extensivas de Malawi los agricultores han aplicado casi exclusivamente fertilizantes por muchos años, debido a los subsidios a los fertilizantes y a la fácil disponibilidad de crédito. Esta práctica ha tenido como resultado suelos muy degradados, debido principalmente a la disminución de los niveles de materia orgánica de los mismos, como consecuencia, los rendimientos de maíz sin aplicaciones de fertilizantes y las

respuestas a los fertilizantes han disminuido mucho con el tiempo (Cuadro 2). Lo más serio es la disminución de las respuestas a los fertilizantes, porque esto significa que los suelos se degradan por el deterioro de la estructura, la pérdida por erosión de suelo, nutrientes y agua, una baja actividad biológica, menor capacidad de retener nutrientes, la compactación y restricción del crecimiento de las raíces como consecuencia de labranzas excesivas.

CUADRO 11. Guía tentativa de fertilizantes para maíz y frijoles en suelos tipo franco arcillo arenoso en el distrito de Iganga.

Condiciones	Solo maíz	Solo frijoles	Maíz-Frijoles Intercalados
1. Dinero o crédito disponible	50 kg SPT.ha ⁻¹ + 25 kg urea.ha ⁻¹ a la siembra; 50 kg urea.ha ⁻¹ a la segunda carpida	100 kg SPT.ha ⁻¹ + 20 kg urea.ha ⁻¹ a la siembra	100 kg SPT.ha ⁻¹ + 20 kg urea.ha ⁻¹ a la siembra; 50 kg urea.ha ⁻¹ a la segunda carpida
2. Dinero o crédito insuficiente	50 kg urea.ha ⁻¹ a la primera carpida	50 kg SPT.ha ⁻¹ + 20 kg urea.ha ⁻¹ a la siembra	50 kg SPT.ha ⁻¹ + 20 kg urea.ha ⁻¹ a la siembra; 50 kg urea.ha ⁻¹ a la segunda carpida
3. Abono verde en la época anterior	No fertilizante	No fertilizante	No fertilizante
4. Mulch de <i>Lantana</i> disponible	Reducir la cantidad de urea de la segunda aplicación por 30% por cada tonelada de <i>Lantana</i>	No fertilizante	Reducir la cantidad de urea de la segunda aplicación por 30% por cada tonelada de <i>Lantana</i>
5. Demora en la siembra por 15 días	Reducir la aplicación de fertilizante por 50%	No cambia la aplicación de fertilizante	Reducir la aplicación de fertilizante por 50%

Fuente: Wortmann, (1998).

Combinaciones de fertilizantes con abonos o materiales orgánicos

Debido a la escasez de cantidades adecuadas de materiales para compost y abonos orgánicos y el hecho de que el uso continuo de fertilizantes químicos no es sostenible, hay mayor énfasis sobre el uso de la combinación de materiales orgánicos con fertilizantes. Se recomiendan usar todas las fuentes de materiales orgánicos disponibles, de la manera más eficiente posible, y luego agregar fertilizante para compensar por la falta de nutrientes en la materia orgánica para satisfacer los requisitos del cultivo.

Esta tecnología a menudo da buenas respuestas. Por ejemplo, Jones et al. (1997) han citado un ensayo donde la aplicación de hojas de *Leucaena* combinadas con N y P fertilizante dio una respuesta de 45 kg maíz.kg⁻¹ N, mientras en la ausencia de las hojas de *Leucaena* la respuesta fue sólo 17-25 kg maíz.kg⁻¹ N. Hay evidencia que la aplicación de materiales orgánicos junto con fertilizantes aumenta la eficiencia del fertilizante y puede dar un 15% incremento de rendimiento más que darían los dos componentes por separado (FAO, 1984). Este incremento de eficiencia del fertilizante se puede atribuir a una mayor disponibilidad de humedad que aumenta la absorción de nutrientes, mayor actividad biológica que estimula la mineralización de la materia orgánica del suelo y una mayor disponibilidad del fósforo debido a la formación de quelatos de fósforo por la presencia de moléculas orgánicas aplicadas.

Introducir leguminosas en el sistema de cultivos

La siembra de cultivos tipo leguminosa como cultivos puros en rotación, intercalados o en relevo es una tecnología importante para introducir nitrógeno dentro del sistema de cultivos, siempre y cuando, existan cantidades adecuadas de fósforo disponible, ausencia de acidez y que no se coseche el grano si el índice de cosecha del cultivo para nitrógeno es alto. Investigaciones recientes en Uganda han demostrado que la aplicación de 10 kg N.ha⁻¹ y 10 kg P.ha⁻¹ estimula la fijación de nitrógeno por los frijoles y que cada kg de P fertilizante aplicado resulta en la fijación de

1 kg de N. El nitrógeno fijado es usado por el siguiente cultivo de cereales, la diferencia del uso de N de los fertilizantes, se da cuando la respuesta continua por tres épocas (Wortmann, 1998, Pers. Com.).

PROCEDIMIENTOS PARA SUPERAR LA DEGRADACIÓN DE SUELOS Y MEJORAR SU PRODUCTIVIDAD

En el procedimiento convencional para superar la degradación de suelos y mejorar su productividad, los investigadores deciden cuales son los problemas principales de los productores y luego hacen investigaciones para identificar las soluciones más apropiadas para ellos, luego los extensionistas difunden las soluciones. Esencialmente es un proceso de "arriba hasta abajo."

Lamentablemente, este sistema no ha tenido el éxito esperado en muchos países, el análisis del grado de éxito de muchos proyectos de la FAO y del Banco Mundial, que incluyeron la conservación de suelos y que comenzaron entre los años 1960-1986, ha dado resultados decepcionantes (Hudson, 1991).

Existe una creencia general que el sistema convencional de investigación y extensión agropecuaria no ha beneficiado a la mayoría de los productores en muchos países (Pretty y Shah, 1997), como consecuencia, muchos especialistas técnicos y los que formulan las políticas de desarrollo han sido obligados a reconsiderar las estrategias del desarrollo agropecuario (Pretty, 1995). Continuar con los mismos procedimientos de investigación y extensión con la esperanza que por hacerlos mejor que antes mejorará la situación, no es realista. Sólo se puede lograr impactos reales y duraderos, en la mejora del nivel de vida de los productores de pequeña escala, si cambian fundamentalmente las estrategias, actitudes y procedimientos actuales de investigación y extensión.

En los últimos 5-10 años se han dado cuenta que una de las razones principales para la falta de éxito de los sistemas convencionales de investigación y extensión, ha sido que los agricultores no fueron suficientemente involucrados, a partir de ello, surgieron metodologías participativas en las cuales los productores y otros actores involucrados en el proceso de desarrollo agropecuario participan en todos los pasos, desde la identificación de los problemas hasta la puesta a prueba y evaluación de las posibles soluciones.

Otra razón para la falta de impacto, fue el énfasis que tenían estos procedimientos en la aplicación de tecnologías que normalmente fueron recomendaciones fijas, sin considerar adecuadamente los factores sociales, culturales, económicos y ambientales que también influyen en la aptitud y aceptación de las tecnologías, como consecuencia muchas tecnologías no respondieron a los problemas prioritarios de los productores o no fueron apropiadas para sus condiciones económicas, sociales, culturales o ambientales.

Las tecnologías difundidas como "recetas fijas" no fueron acompañadas de la enseñanza de los principios de manejo de suelos a los productores, de manera que les permitan ajustar y cambiar sus tecnologías como consecuencia de los cambios inevitables en los mercados, precios y disponibilidad de insumos que influyen en la rentabilidad de sus sistemas de producción. Es necesario capacitar a los agricultores para resolver sus problemas y aprovechar de sus oportunidades para lograr una producción agropecuaria sostenible (Bunch, 1995).

El nuevo procedimiento para el desarrollo agropecuario involucra la colaboración de los investigadores y extensionistas, así como los empleados de los diferentes agencias gubernamentales, las municipalidades, ONGs, proyectos, instituciones financieras y el sector comercial, además los investigadores e extensionistas deberían participar en gran parte de los siguientes pasos del proceso de desarrollo agropecuario:

- caracterización del ambiente agropecuario
- diagnóstico y priorización de los problemas
- identificación de las causas de los problemas
- identificación de posibles soluciones de una selección de tecnologías
- análisis de la factibilidad de las posibles soluciones
- puesta a prueba de las posibles soluciones
- monitoreo
- evaluación de las soluciones probadas
- ajuste de las soluciones y repetición de la puesta a prueba y evaluación

- difusión de las nuevas tecnologías comprobadas
- aprendizaje por los productores de los principios del manejo de suelos

RECOMENDACIONES SOBRE ESTRATEGIAS, PROCEDIMIENTOS Y ACTIVIDADES

Las estrategias de desarrollo agropecuario en Bolivia ya están cambiando y hay mayor participación de los productores y colaboración entre los investigadores, extensionistas, productores, municipalidades, agencias gubernamentales, ONGs y proyectos. Estos cambios fueron facilitados por la aprobación de las leyes de participación popular y de descentralización. Aunque el proceso ya está encaminado, todavía se requiere mayores esfuerzos para concretar los cambios. Las siguientes recomendaciones intentan de aumentar el impacto de los trabajos de suelos para que los productores se beneficien.

Integrar las actividades de suelos dentro de proyectos de desarrollo agropecuario

En lo posible, integrar las actividades de suelos dentro de proyectos de desarrollo agropecuario más holísticos, que incluyan actividades multi-sectorales, así se puede lograr mayores impactos, debido a que las mejoras en un sector muchas veces conducen a mejoras en otros sectores. Por ejemplo, una campaña de salud o higiene puede fortalecer la mano de obra y entonces mejorar las actividades sobre el manejo de suelos. Ejemplos de los diferentes tipos de actividades que pueden influir en el impacto de las actividades de suelos son:

- tecnológicas (mejoramiento de variedades, sistemas mejorados de manejo de cultivos, agua, bosques, pastos, etc.)
- económicas (mejor acceso al mercado, mayores precios, reducciones en los costos de insumos, mayor acceso al crédito, etc.)
- sociales (formación y funcionamiento de asociaciones de productores, sistemas de producción que requieren menos mano de obra, construcción de letrinas, etc.)
- ingenieriles (construcción de trilladoras, adaptaciones a las sembradoras para siembra directa, mejoramientos de caminos, etc.)
- de capacitación (sobre injerto, riego, uso de herbicidas, salud, alfabetización, contabilidad, higiene, liderazgo, etc.)

Como un ejemplo, el éxito de la producción de naranjas en Huaytú, Bolivia se puede atribuir a la combinación de los siguientes factores:

- variedades mejoradas de cítricos
- sistema mejorado de manejo de cítricos que incluye el uso de cultivos de coberturas, fertilizantes y sistemas de poda
- mejoramiento de los caminos y puentes hacia Santa Cruz,
- acceso a un mercado con buenos precios de naranjas.

Promocionar actividades en forma más holística para mejorar los suelos y los sistemas agropecuarios.

Poner mayor énfasis en la combinación de tecnologías para mejorar las condiciones físicas, químicas, hídricas, y biológicas de la fertilidad del suelo. Sólo cuando todos estos componentes se presentan en condiciones adecuadas que la productividad del suelo se puede manifestar por completo. El efecto de combinar diferentes tecnologías es muchas veces mayor que la suma de los efectos de las tecnologías solas, debido a las interacciones entre ellas. Esto es equivalente al concepto de "interacción" en la estadística.

Es probable que se pueda lograr el potencial completo del suelo y una mejor producción de granos, en sistemas mecanizados de Santa Cruz, por medio de la combinación de: dejar rastrojos, labranzas conservacionistas (especialmente labranza cero), rotaciones de cultivos con leguminosas, fertilizantes y cultivos de cobertura.

Por otra parte, la combinación de tecnologías para mejorar los suelos, agua, cultivos, ganado, pastos y bosques permitirá una manifestación más completa de la productividad potencial de todo el sistema agropecuario. Como ejemplo, el éxito de los sistemas de cultivos frutales en Samaipata, se atribuye a la combinación de variedades mejoradas de duraznos que son resistentes a la gomosis, sistemas mejorados del manejo de los frutales, cultivos de cobertura tipo leguminosa y cursos de capacitación. La combinación de estas tecnologías ha resultado en mejoras en los rendimientos de los duraznos y en la fertilidad de los suelos, reducciones en el costo de controlar

las malezas, la producción de alimentos para cerdos e incrementos en la rentabilidad del sistema agropecuario.

Ampliar el papel de los investigadores de suelos

La sugerencia que los investigadores de suelos y extensionistas adopten un papel más amplio en el proceso de desarrollo agropecuario, es parecida al papel de muchos académicos en las universidades de los Estados Unidos, tipo "Land Grant," que reciben contratos que especifican que tienen que trabajar en investigación, extensión y enseñanza, a menudo en partes iguales. Así, tanto los investigadores como los extensionistas tendrán una visión más holística y auténtica, que será más parecida a la que tiene el productor y les ayudará a entender mejor los problemas y limitaciones de los productores. El papel más amplio de los investigadores también debería incluir mayor énfasis sobre la estimulación de investigaciones participativas y el desarrollo e implementación de cursos de aprendizaje para productores y extensionistas sobre los principios del manejo de suelos.

Estimular investigaciones participativas llevadas a cabo por productores

Estimular investigaciones participativas llevadas a cabo por los productores en sus propias parcelas es una estrategia que asegurará que las investigaciones respondan a los problemas prioritarios de los productores y que sean hechas bajo las condiciones actuales de los productores, además, es factible llevar a cabo un número mucho más elevado de ensayos probando diferentes tratamientos, a pesar de que son ensayos simples sin replicaciones. Temas aptos a ser investigados por los productores son:

- La producción de otras fuentes de forraje, dentro de la propiedad, para dejar mayores cantidades de rastrojos en la parcela como protección de los suelos.
- La selección y validación de cultivos de cobertura aptos para ser incorporados dentro de sistemas de cultivos anuales, perennes y horticolas y cómo insertarlos.
- Selección de especies multi-propósito para barreras vivas y su eficiencia en reducir la pérdida de suelo y agua.
- Evaluación de la aceptación y beneficios de aplicar materiales orgánicos locales de bajo costo como mulch en los suelos, como por ejemplo pastos, vegetación de los pantanos, los bordes de los caminos y los límites de las parcelas para cultivos de alto valor.
- Evaluación de la factibilidad y beneficios de combinar materiales y abonos orgánicos con fertilizantes, usando bajos niveles de fertilizantes.
- Investigación de la aplicación de niveles bajos de fertilizantes a los cultivos más importantes y su aceptación económica y social.
- El desarrollo de prácticas e implementos para cero labranza en sistemas manuales.
- Investigación sobre prácticas de recuperación de suelos degradados.

Desarrollar técnicas simples para identificar los problemas de suelos

Desarrollar técnicas simples para la identificación de los problemas de la degradación de los suelos en el campo, que puedan ser usadas por agricultores, extensionistas e investigadores con énfasis en problemas físicos, biológicos e hídricos, por la dificultad de identificar problemas nutricionales en el campo, salvo que sean muy graves. Esta estrategia contribuye a aumentar la capacidad humana y el conocimiento sobre suelos.

Desarrollar técnicas simples para monitorear la calidad de los suelos

Desarrollar técnicas simples para monitorear los cambios en la calidad del suelo, bajo diferentes sistemas de manejo, que puedan ser usadas por agricultores, extensionistas e investigadores en el campo con un mínimo de equipo. La calidad o salud del suelo muchas veces puede ser caracterizada adecuadamente usando observaciones y pruebas muy simples. Un estudio reciente de los Estados Unidos (Liebig y Doran, 1999) ha demostrado que las percepciones de los agricultores sobre la calidad de sus suelos usando criterios simples fueron precisas o casi precisas en más de 75% de los casos para la mayoría de los indicadores de la calidad de suelos, cuando se compararon con evaluaciones hechas en el laboratorio o en el campo usando equipos.

Establecer escuelas de capacitación de productores (farmer's field schools)

Desarrollar currícula y materiales de aprendizaje sobre los principios del buen manejo de suelos para uso en escuelas de capacitación de productores.

Capacitar productores como extensionistas

Desarrollar currícula para capacitar los productores más sobresalientes que gradúan de las escuelas de capacitación de productores como extensionistas para que ellos divulguen los

principios del buen manejo de suelos a otros agricultores. Esta estrategia también sirve para aumentar la capacidad humana y el conocimiento sobre el manejo de suelos.

CONCLUSIONES

Aunque Bolivia ya está bien encaminada en las estrategias y procedimientos para promocionar mejoras en los sistemas de manejo de suelos, todas las personas involucradas en el estudio y manejo de suelos deberían considerar que cambios son necesarios para aumentar el impacto de sus trabajos sobre los beneficiarios/productores. A veces se requieren modificaciones de las estrategias institucionales, a veces mayor integración con las actividades de proyectos sobre el desarrollo agropecuario y a veces compartir más el conocimiento y experiencias con los productores y extensionistas en todos los pasos del proceso de desarrollo de mejores sistemas de manejo de suelos, muchas veces, esto significa una extensión del papel de los investigadores.

BIBLIOGRAFÍA

Amarasiri, S.L., s/ f. Rice straw recycling in flooded rice cultivation, Sri Lanka. Artículo preparado para la FAO, Roma. No publicado.

Argueta, M.T., 1996. Análisis de la producción y utilización de rastrojos y su efecto sobre el riesgo de erosión en el departamento de Morazán. San Salvador, El Salvador, Facultad de Ingeniería, Universidad Centroamericana "José Simeón Cañas"

Barber, R.G., 1994. Degradación de suelos en las tierras bajas tropicales de Santa Cruz, Oriente de Bolivia. Manual del Manejo de Suelos para Agricultores Mecanizados, Capítulo 2. CIAT.

Barber, R.G., 1998. Linking the production and use of dry-season fodder to improved soil conservation practices in El Salvador. En: eds. H.P. Blume, H. Eger, E. Fleischhauer, A. Hebel, C. Reij and K.G. Steiner, "Towards sustainable Land Use - Furthering cooperation between People and Institutions.", Bonn, Germany, Selected papers of the 9th. Conference of the International Soil Conservation Organisation (ISCO), 26-30 August, 1996, Advances in GeoEcology 31, Volume II, Catena-verlag GmbH, Reiskirchen, Germany, 1560 pp.

Barber, R.G., 1999. Technical guidelines for training farmer-extensionists in land husbandry and sustainable crop production for the hilly terrains of Central America. Roma, Italia, AGLS-AGP. FAO. En imprenta.

Barber, R.G., 1999a. Discussion Paper 1. Soil fertility constraints to agricultural productivity and proposed technical strategies and recommendations to enhance and sustain fertility. Rome, Consultancy report, FAO-World Bank Mission to Uganda, October 1998.

Bunch, R., 1995. Two ears of corn: A guide to people-centred agricultural improvement. Oklahoma, USA, 3rd. Edition, World Neighbours.

Calderón, F., Sosa, H., Mendoza, V., Sain, G. y Barreto, H., 1991. Adopción y difusión de la labranza de conservación en Guaymango, El Salvador: Aspectos institucionales y reflexiones técnicas. En: Agricultura sostenible en las laderas centroamericanas: Oportunidades de colaboración interinstitucional. San José, Costa Rica, Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA), pp 189-210.

FAO, 1984. Fertilizer and plant nutrition guide. Fertilizer and plant nutrition bulletin No. 9, Rome.

FAO, 1998. Malawi: Soil fertility initiative. Draft Concept Paper. Informe Número 98/036 CP-MLW, 14 Mayo 1998.

Fischler, M. y Wortmann, C.S. (En imprenta). Green manure research in eastern Uganda - a participatory approach. Sometido a Agroforestry Systems.

Hellin, J. y Larrea, S. 1996. Ecological and socio-economic reasons for the adoption and adaptation of live barriers in Guimope, Honduras. *ENABLE Newsletter of the Association for Better Land Husbandry*, No. 6, pp. 13-19.

Hudson, N.W., 1991. A study of the reasons for success or failure of soil conservation projects. Rome, Italy, *Soils Bulletin No. 64*, FAO.

ICRAF, 1997. Using the wild sunflower, tithonia, in Kenya for soil fertility improvement. Nairobi, Kenya, International Centre for Research in Agroforestry,.

Jones, R.B., Snapp, S.S. y Phombeya, H.S.K., 1997. Management of leguminous leaf residues to improve nutrient use efficiency in the sub-humid tropics. En: *Driven by Nature; plant litter quality and decomposition*, eds. G. Cadisch y K.E. Giller. Wallingford, UK, CAB International, pp 239-250.

Kaizzi, C.K. 1996. Effect of plant residues and other organic manures on the maintenance and improvement of soil fertility. *Soils and Soil Management Programme, Annual Report* pp. 995-96.

Kawanda Agricultural Research Institute, NARO, Entebbe, Uganda.

Kandel, D.D. y Wagley, M.P. 1999. Some salient indigenous technology practices for watershed management in Nepal. Rome, Italy, Department of Soil Conservation and Watershed Management (DSCWM), Kathmandu, Nepal and FAO.

Liebig, M.A. y Doran, J.W., 1999. Evaluation of point-scale assessments of soil quality. *J. Soil Water Conservation*, 54, pp 510-518.

Palm, C.A., Myers, R.J.K. y Nandwa, S.M. 1997. Combined use of organic and inorganic sources for soil fertility maintenance and replenishment. Indiana, USA, Paper presented at the ASA Conference, November 1996.

Pretty, J., 1995. *Regenerating agriculture: Policies and practice for sustainability and self-reliance*. Earthscan, London.

Pretty, J. y Shah, P., 1997. Making soil and water conservation sustainable: From coercion and control to partnerships and participation. *Land degradation and Rehabilitation*, pp.39-58.

Proyecto CENTA-FAO, 1999. Manejo Integrado de la Fertilidad del Suelo en Zonas de Ladera, San Salvador, El Salvador, Centro Nacional de Tecnología Agropecuaria y Forestal (CENTA) - FAO - Holanda (CPP/ELS/004/NET), Programa de Agricultura Sostenible en Laderas de América Central (PASOLAC-IIICA), Programa de Desarrollo Rural en el Departamento de Chalatenango (PROCHALATE), 136 pp.

Shaxson, T.F., 1997. The effects of composted double-dug beds on small farmers livelihoods in Kenya. Conservation farming with near nil investment. *ENABLE (Newsletter of the Association for Better Land Husbandry)*, No. 7, pages 32-35.

Speijer, P.R., Mudioppe, J., Ssango, F and Adipala, E., 1998. Nematode damage and densities at different plant growth stages of East African Highland banana (*Musa AAA*) cv.Mbwazirume. *African Plant Prot.* (In Press).

Swift, M.J., Seward, P.D., Frost, P.G.H., Quereshi, J.N. y Muchena, F.N. 1994. Long-term experiments in Africa: developing a data-base for sustainable land use under global change. En: *Long-term experiments in Agricultural and Ecological Sciences* (eds. R.A. Leigh and A.E. Johnstone), Wallingford, UK, pp 229-251, CAB

Wortmann, C.S., 1998. Development of decision guides for soil fertility management: an approach to soil fertility research and extension. Fotocopia, Kampala, Uganda, CIAT.

Manejo sostenible de suelos con sistemas agroforestales en los trópicos húmedos

Julio Alegre¹ y Luis Arevalo¹

1ICRAF, Pucallpa, Perú.

RESUMEN

La agroforestería representa probablemente el reto científico más complejo del sistema de investigación agrícola, ¿Cómo integrar cultivos anuales con árboles, pastos y animales en sistemas de producción, de modo que la inevitable competencia por luz, agua, nutrientes y el daño físico, tenga como resultado una producción sostenible, sin degradación del medio ambiente? El objetivo de esta presentación es hacer una síntesis de la contribución al incremento sostenible de la producción de los sistemas agroforestales en suelos ácidos e infértiles de los trópicos húmedos del Perú. Esto mediante el conocimiento de los procesos biofísicos y sus interacciones de tal manera que se puedan integrar en un manejo adecuado del suelo que evite la competencia por luz, agua y nutrientes, haya un reciclaje de nutrientes, acumulación de materia orgánica, reducción de los procesos erosivos y control integral de malezas y plagas.

Se describe la dinámica de nutrientes durante diez años con diferentes sistemas de uso de la tierra que van desde sistemas de cultivos con altos y bajos insumos comparado con sistemas agroforestales (multiestratos, frutales perennes con coberturas) concluyéndose que con un manejo adecuado de fertilizantes en sistemas de altos insumos o el manejo adecuado basándose en reciclaje natural de las especies nativas en sistemas sin fertilizantes, se evitará la degradación o agotamiento del suelo en cuanto a nutrientes y biodiversidad del suelo.

En otros estudios se reporta el manejo agroforestal de barbechos plantados de ciclo corto con fines de reciclaje de nutrientes en sistemas de cultivos anuales. Se concluye que además del mejoramiento del suelo en cuanto a fertilidad y control de malezas para aumentar la producción de los cultivos, es necesario usar como barbechos mejorados las especies arbóreas de uso múltiple (reciclaje, fruto, madera, leña etc.) y que sean económicamente rentables de tal forma que sea atractivo para el agricultor y lo pueda adoptar.

También se describen los sistemas agroforestales de cultivos en callejones (líneas de árboles intercalados con cultivos) con fines de protección de la erosión del suelo y que después de cinco años de estudios se concluyó que este sistema es muy ventajoso protegiendo en los suelos con pendientes fuertes de pérdidas por erosión y por ende de los nutrientes haciéndolo más sostenible.

Finalmente, se reporta el manejo agroforestal con sistemas silvopastoriles en la que una plantación perenne de *Bactris gasipaes* con *Centrosema macrocarpum*, pastoreado con bovinos durante cinco años, mantuvo el sistema productivo y las propiedades químicas y físicas del suelo mejoraron debido al manejo adecuado con carga animal apropiada, pastoreo rotacional y mantenimiento de la fertilidad con aplicación de fertilizantes.

INTRODUCCION

El sistema de corte y quema o agricultura migratoria es el sistema predominante en los trópicos húmedos del Perú y otros países de la Amazonía. Este sistema consiste en la tumba de un bosque, ya sea primario o secundario, para la siembra de cultivos y posterior abandono en barbecho por un tiempo variable para volver nuevamente con cultivos. Este sistema de uso tradicional de la tierra pierde muy rápido su productividad debido al deterioro de las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo. Además, es el sistema que causa mayor deforestación (Nye y Greenland, 1960; Sánchez y Buol 1975; Barrow 1991; Alegre y Cassel 1996; Hughton 1993).

Una de las formas más prácticas de mitigar la deforestación es proporcionar alternativas viables a los agricultores que practican el sistema de tumba y quema. El ICRAF tiene como mandato global, dentro del sistema CGIAR, ayudar a disminuir la deforestación, el agotamiento de las tierras y la pobreza rural mediante el uso de mejores sistemas agroforestales (ICRAF 1996, 1998).

La agroforestería representa probablemente el reto científico más complejo del sistema de investigación agrícola: ¿Cómo integrar cultivos anuales con árboles, pastos y animales en sistemas de producción, de modo que la inevitable competencia por la luz, el agua, los nutrientes y daño físico, tenga como resultado una producción sostenible, sin degradación del medio ambiente?

Para esto la meta general del ICRAF es establecer y mantener, en colaboración con los programas nacionales en Latinoamérica, una base estratégica de investigación para desarrollar sistemas agroforestales sostenibles para el trópico húmedo latinoamericano. La aplicación de los resultados de investigación nos permite desarrollar tecnologías agroforestales, ecológicamente sostenibles, para los agricultores de bajos recursos y el aumento del bienestar de la población que vive dentro y alrededor de la foresta. Esto demanda una diversificación en la producción y aumento de la biodiversidad en los sistemas de uso de la tierra y agricultura de tumba y quema.

El objetivo de esta presentación es hacer una síntesis de la contribución al aumento sostenible de la producción de los sistemas agroforestales en suelos ácidos y con baja disponibilidad de nutrientes de los trópicos húmedos del Perú.

Dinámica de las propiedades del suelo con diferentes sistemas de uso de la tierra

En este estudio se discuten algunas alternativas tecnológicas de uso de la tierra en los trópicos húmedos del Perú y como cambian las propiedades químicas del suelo en los primeros 15 cm de la capa superficial del suelo y su efecto en la productividad a largo plazo (10 años) (ICRAF, 1996, 1998).

El área de estudio está ubicada en la región amazónica, en la provincia de Alto Amazonas, distrito de Yurimaguas a una altura de 180 msnm y con precipitaciones anuales de 2,200 mm y una temperatura promedio de 26°C. El suelo es un ultisol típico, silicio iso-hipertérmico. La textura de estos suelos es franco arenosa con porcentajes de arcilla no mayor de 20% en los primeros 15 cm de profundidad. El nitrógeno y la materia orgánica son bajos, tienen alta acidez y bajos niveles de cationes intercambiables y fósforo y con alta saturación de aluminio.

Los sistemas de uso de la tierra estudiados fueron seis (altos insumos, bajos insumos, agricultura migratoria, multiestrato, producción de pijuayo y el bosque secundario), repetidos tres veces en un diseño de bloques completamente randomizados. Se tomaron muestras de suelo a diferentes profundidades antes de la quema y 3, 6, 12, 24, 36, 48, 60, 72, 84 y 120 meses después de la quema para cada sistema de uso de la tierra. Se evaluó la producción de cultivos anuales (arroz, caupí, yuca, maíz, soya, maní) y de los árboles (fruto, leña) de acuerdo al tratamiento.

Con la quema se redujo la acidez y saturación de Al y aumentaron los niveles de Ca, Mg, K, P y N pero, posteriormente, de acuerdo al manejo con y sin insumos (se añadieron cal y fertilizantes) estos fluctuaron con el tiempo.

El sistema de altos insumos debido al encalado (cal dolomítica) y fertilizado (urea, cloruro de potasio y superfosfato triple) mantuvo los niveles de nutrientes del suelo por encima de lo crítico y los otros sistemas en los que no se usaron insumos se mantuvieron igual o por encima de los niveles del bosque secundario que no fue intervenido durante diez años.

A partir del quinto año el Mg en el sistema de altos insumos empezó a declinar por el cambio de la fuente de cal dolomítica a hidróxido de calcio que carece de Mg. Se tuvo que aplicar un reforzamiento de sulfato de magnesio para los cultivos posteriores.

El potasio solo aumentó inicialmente como consecuencia de la quema y después de tres meses declinó y esto se debió a la absorción por los cultivos, lixiviación y escorrentía. Sin embargo, el K no disminuyó por debajo de los niveles observados en suelos del bosque secundario.

El carbono orgánico disminuyó ligeramente después que el bosque secundario fuera desmontado en el primer año, pero después empezó a aumentar en todos los sistemas hasta fines del segundo año, período en el cuál empezó a declinar en todos los sistemas excepto el bosque secundario. La disminución en los sistemas agroforestales con pijuayo y multiestratos fue menor que en los sistemas con cultivos continuos debido a que se adicionaron residuos orgánicos de las coberturas y hojarasca de los árboles.

Estos sistemas no presentaron ningún efecto mayor en el fósforo disponible comparado con el bosque secundario, pero el sistema de altos insumos presentó niveles de tres a seis veces más altos que el resto de los sistemas debido a la fertilización frecuente con superfosfato triple.

La acidez del suelo (Al intercambiable) y la saturación de Al declinó en el primer año después del desmonte por efecto de las cenizas de la quema y después se incrementó progresivamente de acuerdo al sistema de manejo. El bosque secundario que no se quemó mantuvo sus valores altos de aluminio seguido de los sistemas intervenidos sin insumos y presentándose los valores más bajos en sistemas de altos insumos por efecto del encalado continuo.

La productividad del sistema de multiestratos fue mayor debido a la diversidad de productos y al eficiente reciclaje de nutrientes (Cuadro 1).

CUADRO 1. Rendimiento de cultivos y árboles en el sistema de multiestratos en Yurimaguas, Perú.

Año de cosecha Cultivo y árbol	Rendimiento
1986	
Arroz (tn.ha ⁻¹)	1.62
Arroz (tn.ha ⁻¹)	1.20
Caupi (tn.ha ⁻¹)	0.90
1987	
Arroz (tn.ha ⁻¹)	0.77
Vainas de Inga (número.ha ⁻¹)	11,000
1988	
Vainas de Inga (número.ha ⁻¹)	32,920
Leña de Inga (m ³ .ha ⁻¹)	62.2
Frutos de Araza (tn.ha ⁻¹)	1.22
1989	
Frutos de Araza (tn.ha ⁻¹)	2.1
1990	
Vainas de Inga (número.ha ⁻¹)	6,737
Frutos de Araza (tn.ha ⁻¹)	3.48
1991	
Leña de Inga (m ³ .ha ⁻¹)	23.9
Frutos de Araza (tn.ha ⁻¹)	0.73
Frutos of pijuayo (tn.ha ⁻¹)	10.3
1992	
Vainas de Inga (número.ha ⁻¹)	10,490
Leña de Inga (m ³ .ha ⁻¹)	24
Frutos de pijuayo (tn.ha ⁻¹)	6.8
1993	
Vainas de Inga (número.ha ⁻¹)	2,245
Frutos de pijuayo (tn.ha ⁻¹)	6.2
1994	
Frutos de pijuayo (tn.ha ⁻¹)	5.45
1995	
Frutos de Araza (tn.ha ⁻¹)	1.0
Frutos de pijuayo (tn.ha ⁻¹)	9.5
1996	
Frutos de pijuayo (tn.ha ⁻¹)	5.0

Fuente: Alegre et al 1999

Barbechos plantados de ciclo corto

Los agricultores de la Amazonía Peruana se ven forzados a reducir los períodos de barbechos o purmas de 10-15 años a sólo 3-5 años debido a la presión sobre la tierra y cuyo resultado son los bajos rendimientos y una mayor deforestación. Los barbechos mejorados de ciclo corto son considerados como alternativas para la intensificación de uso de la tierra y reducción de la deforestación (ICRAF, 1996-1998).

Los objetivos principales son los de evaluar el efecto de los barbechos con árboles y coberturas de leguminosas en el mejoramiento de la fertilidad del suelo y la reducción en la competencia de las malezas, comparando con el barbecho natural. También evaluar el efecto de los árboles fijadores y no fijadores del N en el mejoramiento del suelo. El otro propósito del uso de barbechos es que ofrezcan otros servicios como fruto, leña, medicina, etc. La especie de *Inga edulis* aporta algunos de estos servicios (Alegre et al., 1998).

Esta investigación aplicada se está llevando en el campo de un agricultor en Yurimaguas que practica la agricultura migratoria de corte y quema del bosque. Después de sembrar arroz y yuca se abandonó con barbecho natural. Los tratamientos que se están probando son: a) el barbecho natural, b) el árbol de multipropósito *Inga edulis* sembrado a 1.5 x 1.5 m, c) *Inga edulis* (Guaba) con cobertura de

Centrosema macrocarpum que es una leguminosa herbácea, d) el árbol para maderaje de techos *Colubrina sp* con cobertura de *Centrosema* y f) *Centrosema macrocarpum*.

Estos barbechos mejorados se dejaron crecer por tres años y durante este período se cosecharon los productos como fruto y leña en el caso de Inga y palos de soporte para techo en el caso de la colubrina. Todo residuo que quedó sobre la superficie se quemó y se sembró una rotación de maíz, caupí y arroz.

Ambas especies arbóreas se establecieron y crecieron bien con prácticas de deshierbes basales mínimas en los primeros meses después del transplante. Los árboles de inga, después de tres años, midieron en promedio 6.79 m de altura y 6.6 cm de diámetro a la altura del pecho (dap) y los árboles de colubrina midieron 9.2 m de altura con 9.34 cm de dap (Cuadro 2).

CUADRO 2. Altura y diámetro de los árboles en el experimento de barbechos plantados en Yurimaguas, Perú.

Tratamiento	1997 (un año)		1998 (tres años)	
	Altura m	Diámetro cm	Altura m	Diámetro cm
Inga	2.47	4.38	6.65	6.66
Inga + <i>Centrosema</i>	3.00	3.79	6.82	6.52
Colubrina	2.77	3.58	9.27	9.48
Colubrina + <i>Centrosema</i>	2.17	2.60	9.03	9.33
LSD(0.05)	0.24	0.46	0.94	1.14
SE	0.15	0.23	0.48	0.58

El barbecho natural presentó una diversidad de árboles siendo los predominantes la ocuera (*Vernonia baccharoides*) y yanavara (*Pollalestra discolor*) con un promedio de crecimiento en altura de 4.24 m y con 2.9 dap. Ochenta y seis por ciento del área fue cubierta por ocuera y doce por yanavara. (Cuadro 3). Estas especies son maderas blandas y son usadas solo para leña. No se encontraron especies de madera dura.

CUADRO 3. Promedio de altura y diámetro a la altura del pecho (dap) de las especies predominantes de árboles en el barbecho natural al final del segundo año.

Nombre local/especies	Número de árboles/27m ²	1995 (un año)		1997 (tres años)	
		Altura m	Diámetro cm	Altura m	Diámetro cm
Ocuera*	40	3.15	1.93	5.85	3.55
Yanavara**	6	2.69	2.02	5.94	3.81
Chicle caspi	1	1.91	<1	3.68	2.05
Cético***	2	1.33	<1	3.57	1.93
Ocuera blanca	1	2.15	<1	----	----
Ojo de gato	1	1.47	1.65	3.10	2.50
Huamansamana****	2	1.03	<1	2.12	1.61

* *Vernonia baccharoides*, ** *Pollalestra discolor*, *** *Cecropia sp* **** *Jacaranda copaia*

Centrosema permitió que en los barbechos de árboles se redujeran completamente las malezas con una buena cobertura y 3.23 tn.ha⁻¹ de hojarasca en el primer año y 9.04 tn.ha⁻¹ en el segundo año.

La plantación de inga, sin cobertura después de dos años, presentó un promedio de cuatro especies de malezas, mientras que la colubrina presentó ocho especies de malezas diferentes. El bosque natural presentó seis especies de malezas. La colubrina por su poca área de copa y su crecimiento recto no protege bien al suelo y da oportunidad para que las malezas prosperen. En el caso de inga, la gran cantidad de hojarasca que produce no permite el crecimiento de malezas a menos que sea defoliada por las hormigas cortadoras y es lo que sucedió en algunas parcelas de este experimento. En estos tratamientos sin cobertura predominan las malezas *Homolepsi* y *Paspalum* (torourco).

Después de dos años las malezas se redujeron en un 100% en los tratamientos con árboles y coberturas y con las coberturas solas (Cuadro 4). Los barbechos naturales y los árboles solos debido a la menor cobertura de la superficie del suelo presentaron malezas siendo mayor en el tratamiento

con colubrina sola e inga sola. La inga sola debido a la defoliación por las hormigas cortadoras presentaron también alta biomasa de malezas.

CUADRO 4. Dinámica de malezas en biomasa (B) dado en kg. ha^{-1} y número de especies (S) en el experimento de barbechos mejorados en Yurimaguas, Perú.

Tratamiento	Inicial		2 meses		3 meses		24 meses		36 meses
	B	S	B	S	B	S	B	S	B
Barbecho natural	581	12	107	12	63	9	390	5	1275
Inga	787	12	69	9	88	8	756	4	1287
Inga + Centrosema	847	8	81	7	78	10	0	0	0
Colubrina	1097	8	79	8	97	8	473	7	1881
Colubrina+ Centrosema	585	10	64	8	96	9	0	0	0
Centrosema	537	11	55	9	71	10	0	0	0
LSD (0.05)	656	4	51	3	66	4	665	2	1007
SE	341	2	26	2	33	2	327	1	503

La lixiviación del amonio (NH_4) y el nitrato (NO_3) se redujo en el segundo año en un tercio comparado con el primer año. A pesar de que los barbechos con árboles no hicieron mucha diferencia en la lixiviación en el primer año, se midió a 100 cm de profundidad el doble de nitrato que el barbecho natural (Cuadro 5). Parece que la mineralización de los árboles y la hojarasca de centrosema contribuyeron a la mayor lixiviación del N en los barbechos con árboles. La inclusión de coberturas dentro de los árboles comparado con los árboles solo redujo la lixiviación debido a la captación de nutrientes en la biomasa (sobre y en el suelo).

CUADRO 5. Amonio y Nitrato total (kg. ha^{-1}) desde octubre de 1994 a marzo de 1997 para diferentes barbechos mejorados en Yurimaguas, Perú.

Tratamiento	0 – 50 cm		0 – 100 cm	
	NH_4	NO_3	NH_4	NO_3
Barbecho natural	1.58	27.00	1.37	29.79
Inga	2.96	40.60	2.09	36.33
Inga + Centrosema	2.04	46.10	2.56	23.11
Colubrina	1.29	69.92	1.67	46.13
Colubrina+Centro sema	3.19	54.97	1.64	26.57
Centrosema	1.81	45.02	2.12	32.87
DLS (0.05)	1.15	42.00	1.20	25.20
SE	0.54	19.71	0.56	11.83

Al final del tercer año los árboles de inga ($4,444 \text{ árboles. ha}^{-1}$) produjeron en promedio 34.5 tn. ha^{-1} de leña y los árboles de colubrina produjeron 1,111 palos para maderaje de techos o cercos con una biomasa total de 24.8 tn. ha^{-1} . La biomasa de inga que fue quemada en los barbechos con ésta especie fue de 14.4 tn. ha^{-1} para las ramas menores de 2.5 cm de diámetro y de 3.7 tn. ha^{-1} para el total de hojas. Para colubrina la biomasa total menor de 2.5 cm de diámetro que fue quemada, fue de solo 6.0 tn. ha^{-1} y 1.2 tn. ha^{-1} para el total de hojas. La producción total de ceniza después de quemar los barbechos fue de 1.24, 1.1, 0.86, 1.38, 1.31, y 1.06 tn. ha^{-1} para el barbecho natural, inga, inga con centrosema, colubrina, colubrina con centrosema y centrosema solo, respectivamente.

Los rendimientos de los dos primeros cultivos, después de haber quemado los barbechos, están dados en el cuadro 6. Los rendimientos del maíz fueron bajos en el barbecho natural y en los barbechos de inga con y sin centrosema y la colubrina sola, siendo no significativamente diferentes entre ellos. Sólo el tratamiento con colubrina combinada con centrosema y centrosema sola, tuvieron rendimientos que fueron significativamente más altos que el resto. Una de las razones de estos bajos rendimientos fue la alta cantidad de biomasa extraída fuera del sistema como leña, la cual también

lleva consigo gran cantidad de nutrientes como Ca y Mg. La colubrina sola, no presentó buenos rendimientos debido a la presencia de malezas, pero al combinarse con centrosema, estos rendimientos se duplicaron. Centrosema parece ser la cobertura que recupera más rápido la fertilidad y se comprueba por el mayor rendimiento del maíz. Esta cobertura produjo bastante hojarasca durante los tres años de establecida y al quemarse, liberó buena cantidad de nutrientes y de ahí la buena respuesta del maíz. La inga extrae muchos nutrientes y al ser removido del sistema para ser usado como leña está agotando los nutrientes del suelo, especialmente en Ca y Mg, como reportan Szott y Palm en 1996. A pesar de que con algunos barbechos mejorados no hubo diferencias en rendimiento, tanto para maíz como para caupí, en comparación con el tratamiento de barbecho natural, sí se dieron diferencias significativas en cuanto al beneficio económico, ya que se obtuvieron frutos y leña con la inga y palos para maderaje de techos con la colubrina, que presentan buenos precios en el mercado local. Con el barbecho natural de tres años sólo se obtuvo pequeños árboles de madera suave y que sólo sirven para leña.

CUADRO 6. Rendimientos de los cultivos después de tres años con diferentes barbechos mejorados en Yurimaguas, Perú.

Tratamiento	Maíz kg.ha ⁻¹	Caupí kg.ha ⁻¹
Barbecho natural	498	687
Inga	577	690
Inga+Centrosema	502	475
Colubrina	484	642
Colubrina+Centrosema	867	404
Centrosema	926	782
LSD (0.05)	390	237
SE	183	111

Cultivos en callejones para la conservación de suelos

Está bien demostrado que el uso de coberturas del suelo ya sean vivas o muertas, traídas de otros sitios o residuos de cultivos anteriores o las hojarascas de los árboles son muy eficaces en la conservación del suelo y agua (Alegre et al., 1998). Si esta práctica se maneja con plantaciones de surcos de contorno, entonces el beneficio en la conservación de los suelos es mayor. En un experimento localizado en Yurimaguas, Perú en los mismos suelos ya descritos anteriormente se hizo un estudio de erosión del suelo sobre un área de agricultura migratoria con pendientes del 20%. El objetivo principal fue medir la erosión del suelo y agua en un sistema de cultivos continuos con bajos insumos y un cultivo en callejones donde se intercalo el árbol leguminosa *Inga edulis* plantado en surcos en contorno con cultivos. También se mantuvo una parcela completamente sin vegetación para evaluar el potencial erosivo de las lluvias en esta región y otra parcela dentro del bosque secundario. Otro objetivo fue el evaluar la productividad de ambos sistemas.

El sistema de evaluación fue el de las parcelas de escorrentía de 15 m de largo por 2 m de ancho, tomándose las medidas del agua de escorrentía y sedimentos de suelo por cada evento de lluvia durante 5 años.

En el cuadro 7 se dan algunas propiedades físicas del suelo y su cambio por efecto de los tratamientos. La densidad aparente (DA) del suelo bajo cultivo solo fue significativamente mayor que la de cultivos en callejones y estos mostraron valores de DA 19% y 7.5% más altos que el bosque secundario. La conductividad hidráulica saturada siguió el mismo patrón de cambio que los resultados de densidad aparente. El cultivo solo, presentó una disminución del 82% y el cultivo en callejones disminuyó el 50% comparado con el valor del bosque secundario.

CUADRO 7. Efecto del cultivo comparado con el cultivo en callejones sobre la densidad aparente (0 – 7.5 cm de profundidad) y la conductividad hidráulica saturada después de 14 cultivos consecutivos en Yurimaguas, Loreto, Perú.

Sistema	Densidad Aparente (g.cm ⁻³)	Conductividad Hidráulica (cm.h ⁻¹)
Cultivo anual solo	1.43	18.5
Cultivo en callejones	1.29	50.0
DLS (0.05)	0.06	6.30
Bosque secundario	1.20	99.8

Fuente: Alegre y Rao 1996

La pérdida de suelo y agua durante cinco años se resume en el cuadro 8 y estuvo en función de la cantidad e intensidad de las lluvias, el estado del cultivo en cuanto a cobertura del suelo y el período entre cultivo y cultivo. La pérdida de agua por escorrentía fue aproximadamente siete veces mayor que la pérdida en el sistema de cultivos en callejones en el cual, la hojarasca y la barrera viva de inga impidieron el escurrimiento. Comparado con el bosque secundario esta escorrentía para el cultivo solo y el cultivo en callejones fue de cien y treinta veces mayor respectivamente. La pérdida de suelo promedio durante cinco años para el cultivo solo fue trece veces mayor que el cultivo en callejones. Las pérdidas en el bosque secundario fueron mínimas mientras que en las parcelas desnudas estas fueron dos veces mayores que el cultivo solo y veintiocho veces mayor que el cultivos en callejones.

CUADRO 8. Promedio de escorrentía y pérdida de suelo durante cinco años de evaluación en los sistemas en cultivos anuales solos y cultivos en callejones comparados con el bosque secundario y la parcela desnuda en Yurimaguas, Perú.

Tratamientos	Promedio de 5 años
Escorrentía (mm)	
Cultivos anuales solos	414
Cultivos en callejones	60
EE(+/-)	15
Bosque secundario	4.5
Parcela desnuda	838
Pérdida de suelo (tn.ha⁻¹)	
Cultivos anuales	69
Cultivo en callejones	5
EE (+/-)	3
Bosque secundario	0.4
Parcela desnuda	140

Fuente: Alegre y Rao 1996

La fertilidad del suelo declinó después del desmonte del bosque secundario y el cultivo continuó durante cinco años con cultivos solos y se evidenció un 21% de reducción en carbono orgánico (Cuadro 9). El cultivo en callejones mantuvo la fertilidad mucho mejor que el de cultivos solos. Mostró un 12% más de carbono orgánico que el cultivo solo, que a su vez, presentó 11% más bajo que el bosque secundario. Los cationes disponibles y el fósforo disponible fueron significativamente mejorados con el cultivo en callejones comparado con el cultivo solo y el bosque secundario. Se redujo la saturación de aluminio en el cultivo en callejones y que se puede deber al acomplejamiento del Al por la materia orgánica ocasionada por el material vegetal proveniente de las podas y la hojarasca de la inga.

CUADRO 9. Contenido de nutrientes en la capa superior de suelo (0-15 cm) después de 5 años con cultivos anuales o cultivos en callejones.

Tratamientos	Carbono Orgánico	P	K	Ca	Mg	Saturación de Al
	%	mg.l ⁻¹	--- cmol(+).100gr ⁻¹ ----			%
Cultivos anuales solos	1.18	6.0	0.07	0.80	0.18	78
Cultivos en callejones	1.12	9.1	0.13	0.96	0.22	73
EE (+/-)	0.01	0.2	0.005	0.04	0.01	1.2
Prueba de F	**	**	**	**	**	*
Bosque secundario	1.49	6.3	0.08	0.55	0.19	84

EE= Error estándar

Fuente: Alegre y Rao, 1996.

Los rendimientos de doce de los diez y seis cultivos no fueron significativamente diferentes y cuyos promedios de ocho cultivos de arroz, seis cultivos de caupí y un cultivo de maíz se dan en el cuadro 10. El maíz es muy susceptible a la alta saturación de Al y por eso los rendimientos en ambos sistemas fueron muy bajos.

CUADRO 10. Rendimientos promedios de granos (tn.ha⁻¹) para 16 cultivos consecutivos en rotación con arroz, caupí y maíz en un sistemas de cultivos solos y cultivos en callejones en Yurimaguas, Perú.

Sistema	Promedio de		
	8 cultivos de arroz	6 cultivos de caupí	1 cultivo de maíz
Cultivos solos	1.14	0.57	0.1
Cultivos en callejones	1.23	0.73	0.3
EE (+/-)*	0.02	0.04	0.01
Prueba F	Ns	Ns	*

*EE= Error estándar

Fuente: Alegre y Rao, 1996.

La adición continua de residuos orgánicos por efecto de las podas mejoró las propiedades físicas del suelo y el reciclaje de nutrientes.

El establecimiento y las podas regulares de los callejones requiere una labor adicional. Sin embargo, esto no puede ser una limitación si el sistema va a intensificar el uso de la tierra y puede ahorrar mano de obra que se requiere para el continuo corte y quema del bosque, practicado en la agricultura migratoria. Una vez establecido el cultivo en callejones, y luego de haber producido algunos cultivos, éstos callejones se pueden dejar que crezcan libremente, por lo tanto, se puede tener un barbecho enriquecido y mejorado del suelo y se puede volver después de 2 a 3 años para hacer agricultura con cultivos anuales.

Sistema silvopastoril con pijuayo (*Bactris gasipaes*) y centrosema (*Centrosema macrocarpum*).

El *Bactris gasipaes* (pijuayo) es plantado extensivamente por pequeños agricultores en la Amazonía por sus frutos y ofrece oportunidades para un sistema integrado de árboles-animales usando una cobertura herbácea y poniendo ganado vacuno al pastoreo. Entre las muchas especies de leguminosas evaluadas en la región se encontró que la especie forrajera de *Centrosema macrocarpum* (centrosema) resiste sombra y pastoreo.

En base a este conocimiento se evaluó en Yurimaguas un sistema silvopastoril con el fin de determinar el efecto de los animales sobre la centrosema creciendo bajo una plantación de pijuayo. Se estudió: a) las propiedades físicas y químicas del suelo, b) la regeneración y productividad de la centrosema y su reciclaje de nutrientes bajo pastoreo, c) la producción del pijuayo, y d) la ganancia de peso de los animales al pastoreo.

El centrosema fue sembrado en octubre de 1988 como una cobertura, a un espaciamiento de 1 m entre líneas por 0.50 m dentro de las líneas, en una plantación de seis años sobre un área degradada que fue desmontada con un tractor de orugas (D6). La densidad fue de 600 árboles por hectárea. El área fue fertilizada uniformemente con aplicaciones al voleo de 20 kg de P y 20 kg de K por hectárea, usándose como fuentes la roca fosfórica y cloruro de potasio respectivamente. Estas son las dosis recomendadas para el establecimiento de pasturas mejoradas en sitios degradados. El estudio consistía en la evaluación de dos tratamientos: 1) pastoreo de centrosema para el ganado y 2) no pastoreado y repetido tres veces con un diseño de bloque completamente randomizados. El pastoreo empezó a los 18 meses después del establecimiento de centrosema en abril de 1990 con 2 terneros y con una carga animal de 3.3 animales.ha⁻¹, seguido de un pastoreo rotacional de 9-14 días de pastoreo y 28-30 días de descanso entre los tres bloques. La carga animal fue subsecuentemente reducida a 2.3 animales ha⁻¹ hacia fines de la estación seca, cuando la producción de centrosema declinó lo cual permitió la recuperación de la pastura. Esta carga animal se mantuvo hasta el final del experimento. Los animales recibieron suplementos de sales minerales. Los suelos de las parcelas fueron monitoreados en un período de cinco años, para el estudio de los cambios en las propiedades físicas del suelo (densidad aparente, resistencia mecánica, infiltración y contenido gravimétrico de agua), propiedades químicas (cationes intercambiables y P extractable) y la producción de biomasa. También se evaluó la ganancia de peso de los animales.

La centrosema germinó bien y cubrió el suelo en un 100% a los ocho meses de establecido. Sin embargo, los animales no fueron introducidos hasta después de 18 meses, cuando las plantas produjeron semillas y asegurarse su persistencia después del pastoreo. Las parcelas no pastoreadas produjeron el doble de la cantidad de biomasa de centrosema y hojarasca comparado con el pastoreado que empezó a inicios de 1991 (Cuadro 12).

La introducción de animales para el pastoreo de centrosema causó una reducción en la densidad aparente y la resistencia mecánica en el tiempo, ni la sortividad ni el contenido gravimétrico de agua fue afectado por el pastoreo. Estas observaciones indican que las adiciones de centrosema a la plantación de pijuayo influyó las propiedades físicas del suelo debido a las adiciones regulares de la hojarasca y actividad de las raíces.

El pastoreo de los animales juega un rol muy importante en la dinámica de los nutrientes así como afecta la cantidad de hojarasca producida, la concentración y reciclaje de nutrientes. Adiciones de centrosema redujeron la acidez del suelo en un 35% y la saturación de Al en un 10% en un período de cinco años y medio, independiente del pastoreo animal, probablemente debido a que los compuestos orgánicos adicionados complejaron el Al. El estado de los nutrientes del suelo como los cationes intercambiable, fósforo extractable y carbono del suelo, no fue influido por la presencia de animales en el sistema dentro del período de estudio.

La cantidad total de nutrientes en los tejidos de las pasturas disponibles fue siempre mayor en las parcelas sin pastoreo debido a la mayor acumulación de biomasa (Cuadro 11 y 12).

CUADRO 11. Efecto del pastoreo y no pastoreo en el contenido de nutrientes en la biomasa total en Yurimaguas, Perú.

kg.ha ⁻¹						
Tratamiento	Años	N	P	K	Ca	Mg
Pastoreo	90	204	13.6	150	103	11.0
	91	137	8.2	70	78	12.4
	92	156	9.7	92	72	11.2
	93	139	8.4	107	61	9.3
	94	131	8.3	140	69	11.3
Total		767	48.2	559	383	55.2
Sin pastoreo	90	261	17.4	191	132	13.0
	91	261	13.9	104	115	19.1
	92	281	17.2	167	143	19.2
	93	242	14.4	193	97	15.3
	94	254	14.5	200	129	19.0
Total		1299	77.4	855	616	86.5

Fuente: Arévalo et al., 1998.

La producción de frutos de pijuayo fue de solo un tercio a un cuarto de lo producido en los alrededores debido a las pobres condiciones de suelo del lugar con alta acidez, compactación y bajo contenido de nutrientes (Cuadro 12). Sin embargo, el pastoreo de animales con centrosema no tuvo efecto en la producción de pijuayo. Los animales ganaron peso en un rango de 426 a 456 gramos por animal día, en el transcurso de los años, los cuales son mucho mayores que lo obtenido en un sistema tradicional de pastoreo con pastos naturales. El peso total en vivo de 1.2 tn.ha^{-1} , acumulado en los 4 años en el tratamiento de pastoreo es una fuente muy buena de ingresos adicionales. El estudio claramente demuestra la alternativa de recuperar áreas degradadas a través de un sistema silvopastoril centrosema-pijuayo, pero también se indica que para aumentar los rendimientos del pijuayo será necesario adicionar fertilizantes a suelos pobres en nutrientes.

CUADRO 12. Efecto del pastoreo y no pastoreo en la producción de la biomasa de *Centrosema macrocarpum*, frutos de pijuayo y ganancia animal en un período de 4.75 años en Yurimaguas, Perú.

Sistema	1990	1991	1992	1993	1994
Biomasa de centrosema (tn.ha^{-1})					
Pastoreo	7.8	10.7	11.9	10.7	4.9
Sin pastoreo	10.6	21.1	24.2	22.2	11.1
SED	0.30	0.43	0.39	0.33	0.50
Frutos de pijuayo (tn.ha^{-1})					
Pastoreo	4.2	4.0	3.4	4.2	4.5
Sin pastoreo	3.8	4.0	3.2	3.8	4.3
SED +	0.30	0.43	0.39	0.33	0.50
Promedio de ganancia de peso animal (g/ animal día)					
Pastoreo	--	426	456	440	455

Fuente : Arevalo et al., 1998.

CONCLUSIONES

- Después de diez años con un uso intensivo del suelo con diferentes sistemas agrícolas y agroforestales los niveles de nutrientes del suelo se mantuvieron o fueron mayores a los niveles del bosque secundario que no fue tocado durante diez años.
- El reciclaje de nutrientes fue eficiente en los sistemas agroforestales en los que no se usaron insumos externos.
- La productividad de los sistemas agroforestales fue significativamente mayor que los sistemas con cultivos solos.
- Para el mejoramiento del suelo, en cuanto a fertilidad y control de malezas, para aumentar la producción de los cultivos es necesario usar como barbechos mejorados las especies arbóreas de uso múltiple (reciclaje, fruto, madera, leña etc.) y que sean económicamente rentables de tal forma que sea atractivo para el agricultor y lo pueda adoptar.
- Después de cinco años de estudios, se concluyó que el sistema de cultivos en callejones es muy ventajoso en suelos con pendientes protegiéndolo de la pérdida de suelo y agua y por ende de los nutrientes haciéndolo más sostenible.
- El manejo agroforestal con sistemas silvopastoriles con una plantación perenne de *Bactris gasipaes* con *Centrosema macrocarpum* pastoreado con bovinos durante cinco años mantuvo el sistema productivo y las propiedades químicas y físicas del suelo mejoraron debido al manejo adecuado con carga animal apropiada, pastoreo rotacional y mantenimiento de la fertilidad con aplicación de fertilizantes.

BIBLIOGRAFIA

Alegre, J.C. y Cassel, D., 1996. Dynamics of soil physical properties under alternatives systems to slash-and-burn. *Agriculture, Ecosystems Environment* 58:39-48.

Alegre, J. C. y Rao, M.R., 1996. Soil conservation by contour hedgerows of *Inga edulis* on slopes in the humid tropics of Peru. *Agriculture, Ecosystems, Environment* 57:17-25.

Alegre, J. C., Weber, J.C., Bandy, D.E., 1998. The potential of Inga species for improved woody fallows and multistrata agroforest in the Peruvian Amazon Basin In. *The genus Inga- Utilization* (ed.: T.D. Pennigton and E.C.M. Fernandez), TheRoyal Botanic Garden, Kew, Chapter 6, pp 87-100.

Alegre, J.C., Smyth, J, Weber, J.C. y Bandy, D.E., 1999. Long-term evaluation of a prototype multistrata system in the humid tropics of Peru. *Memories of International Symposium on Multi-strata Agroforestry Systems with Perennial Crops*. Turrialba, Costa Rica, February 22-27, pp 90-93.

Arevalo, L. , Alegre, C. , Bandy, D.E. y Szott, L. 1998. The effect of cattle grazing on soil physical and chemical properties in a silvopastoral system in the Peruvian Amazon. *Agroforestry System* 40/2, pp 109/124.

Barrow, C. J. , 1991. *Land degradation*. Cambridge/London/New York, Cambridge University Press.

Houghton, R.A. Unruh, J.D. y Lefebyre, P.A., 1993. Current land use in the tropics and its potential for sequestering carbon. *Global Biogeochemical Cycles*, 7: 305-320

ICRAF, 1996. *Investigación agroforestal para desarrollar sistemas ecológicamente sostenibles en la amazonía occidental*. Reporte Final Enero 1994 a Diciembre 1995: Banco Interamericano de Desarrollo-International Center for Research in Agroforestry, IDB/ICRAF ATN/SF 4375-R6 ICRAF, Lima, Perú.

ICRAF, 1998. *Respuesta a nuevas demandas tecnológicas, fortalecimiento de la investigación en agroindustria y en el manejo de recursos naturales*. Reporte final Enero 1996 a Junio 1998. Banco Interamericano de Desarrollo-International Center for Research in Agroforestry.

Nye, P.H. y Greenland, D.J., 1960. *The soils under shifting cultivation*. Commonwealth Bureau Soils, Tech. Comm. N° 51. Harpedenden, England.

Szott, L.T. y Palm, C.A., 1996. Nutrients stocks in managed and natural humid tropical fallows. *Plant and Soil*: 293-309

Efecto de la incorporación de diferentes niveles de estiércol y estudio de su mineralización en suelos de suka kollus y pampa con cultivo de papa

Isabel Morales¹, Cristina Ruiz¹ y Patricia Amurrio¹.

¹ Instituto de Ecología. Universidad Mayor de San Andrés. Programa PROSUKO.

RESUMEN

Se estudia la influencia de la incorporación de diferentes dosis de estiércol en las propiedades edáficas, rendimiento del cultivo de papa y la dinámica de descomposición de la materia orgánica en los sistemas suka kollus y pampa en la localidad de Batallas, provincia Los Andes del departamento de La Paz. Se observaron parámetros físico-químicos iniciales más favorables para la fertilidad de los suelos en el sistema suka kollus que en el pampa. En suka kollus se constata niveles más altos de mineralización y de actividad microbiana, que implican una descomposición más rápida de la materia orgánica incorporada que en pampa y una respuesta directa del rendimiento de papa al abonamiento.

INTRODUCCION

El sistema agrícola precolombino de suka kollus (término aymara) o waru warus (término quechua) ha suscitado un interés creciente dado que ha mostrado ser una posible alternativa para enfrentar las limitaciones a la agricultura que presenta el altiplano. Entre estas limitaciones podemos nombrar las lluvias irregulares, temperaturas diarias muy fluctuantes, frecuentes heladas de radiación y estaciones húmedas y secas muy marcadas.

El sistema suka kollus consiste en la construcción de campos elevados o camellones rodeados por canales por donde circula agua de diferentes orígenes (Erickson, 1988). Estudios realizados sobre las propiedades de este sistema han demostrado su importancia como amortiguadores de las heladas (Aguilar et al., 1994) y la obtención de altos rendimientos en cultivos cuando los camellones son de reciente construcción (Canahua et al., 1992; Aguilar y Canahua, 1992). Los suelos de los camellones presentan características muy particulares, relacionadas principalmente al proceso de su construcción: remoción e inversión de horizontes, suelos disturbados expuestos a alta evapotranspiración y un régimen hídrico muy distinto al que se observa en el sistema tradicional de pampa. Esto implica, que se hacen necesarios estudios sobre la fertilidad de suelos de los camellones a largo plazo, así como, estudios sobre la respuesta de este sistema a la incorporación de abonos orgánicos.

En el presente trabajo se realiza un seguimiento de las variaciones de las propiedades edáficas y de la descomposición de la materia orgánica en suelos de suka kollus y pampa en los cuales se han incorporado diferentes dosis de estiércol de origen bovino y ovino. Este estudio es llevado a cabo por la unidad de suelos del Instituto de Ecología dentro del Proyecto Interinstitucional Suka Kollus (PROSUKO), institución que viene realizando diferentes estudios en sistemas tradicionales de agricultura en el altiplano boliviano con el objeto de contribuir al mejoramiento de la productividad agrícola y a la mejora de la calidad de vida del campesino.

El objetivo del trabajo de investigación es estudiar la influencia de la incorporación de diferentes dosis de estiércol en las propiedades edáficas, rendimiento del cultivo de papa y la dinámica de su descomposición en los sistemas suka kollus y pampa, durante una campaña agrícola. Para cumplir con este propósito se deberá contar con un diagnóstico inicial de los suelos en ambos sistemas; cuantificar y evaluar los principales parámetros físico-químicos y biológicos de los suelos al inicio y al final de una campaña agrícola; evaluar el rendimiento de papa bajo los diferentes tratamientos en ambos sistemas; determinar las propiedades químicas del estiércol incorporado y relacionar las variables de temperatura, humedad y pH con la descomposición de la materia orgánica para los dos sistemas.

MATERIALES Y METODOS

El estudio se sitúa en la comunidad de Igachi, cantón Batallas de la provincia Los Andes, en la Granja Experimental de Batallas de la Universidad Católica Boliviana, aproximadamente a 70 km de la ciudad de La Paz, a una altitud de 3825 msnm, las coordenadas geográficas de la granja son 16°19' latitud sur y 68°36' longitud oeste.

Las áreas de estudio, tanto en el sistema suka kollus como en pampa, fueron divididas en tres bloques de 45 x 4 metros, en cada bloque se establecieron cuatro parcelas de iguales dimensiones en las cuales se incorporan diferentes niveles de estiércol: 0, 5, 15 y 20 tn.ha⁻¹, denominándose a cada nivel tratamiento, según un diseño de bloques al azar, por tratamiento se tienen tres repeticiones.

Se hizo un diagnóstico inicial, antes del abonado y de la siembra, de los suelos de las áreas de estudio de ambos sistemas mediante la descripción de perfiles y la toma de muestras de la capa arable de cada parcela. Se realizó asimismo un muestreo de la capa arable al finalizar la campaña agrícola.

En las muestras del inicio y final de la campaña agrícola 97/98 se realizaron los siguientes análisis de laboratorio: textura, pH acuoso, conductividad eléctrica en pasta, cationes extractables y solubles (Na, K, Ca y Mg), aniones solubles (Cl⁻, CO₃²⁻, SO₄²⁻), fósforo disponible, carbono y materia orgánica, nitrógeno total.

Para el seguimiento de la descomposición de la materia orgánica se determinaron cada seis semanas, los siguientes parámetros: mineralización neta de nitrógeno (a partir de muestras que han permanecido seis semanas dentro de bolsas de polietileno enterradas en las parcelas de estudio), nitrógeno total, carbono orgánico, pH, actividad y biomasa microbianas.

El tratamiento de datos se realizó con los siguientes análisis estadísticos: análisis de varianza, análisis de regresión lineal simple y múltiple y prueba de Tukey.

RESULTADOS Y DISCUSION

Los suelos de suka kollus presentan una clase textural franco limosa en la superficie y franco arcillo limosa a partir de los 22 cm de profundidad. Por debajo de los 22 cm, se identifica claramente un horizonte orgánico (O) con un alto contenido de materia orgánica (52%) y elevada porosidad, los otros análisis químicos realizados en este horizonte le confieren una alta fertilidad química porque presenta altos niveles de nitrógeno, calcio y magnesio. Todas estas cualidades dan condiciones muy favorables para el desarrollo radicular y la actividad biótica. Los resultados obtenidos indican que en los suka kollus se tiene buena disponibilidad de agua para el cultivo.

Los suelos de pampa presentan una clase textural franco limosa, donde la fracción mineral dominante es el limo. No se observan horizontes con alto contenido de materia orgánica y los valores de los nutrientes principales son menores a los de los suelos de suka kollus. Los valores de sodio intercambiable, determinados en este perfil, indican que este catión se encuentra en mayor porcentaje dentro de la capacidad de intercambio catiónico respecto a los porcentajes observados en suka kollus. Existen capas con alto contenido de material grueso (grava) que permiten una rápida infiltración y pérdida de agua por gravitación, haciendo que estos suelos sean secos.

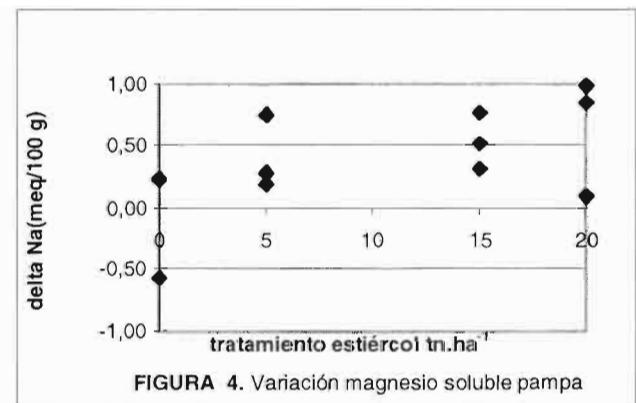
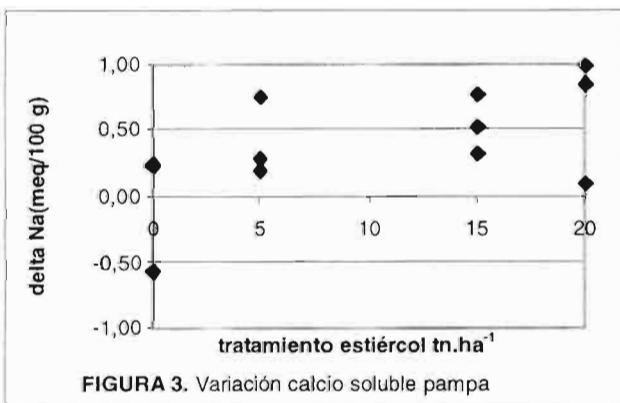
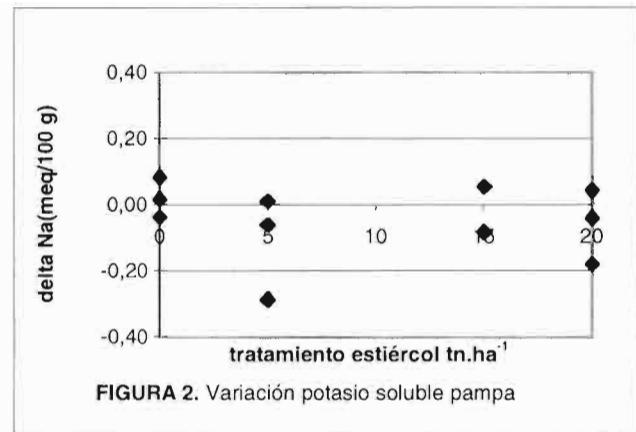
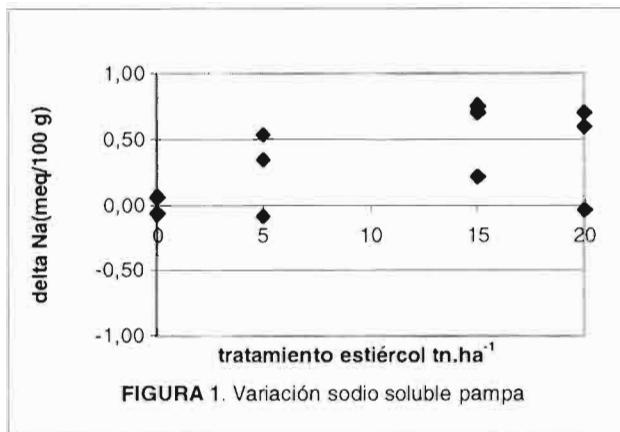
Para los suelos de suka kollus los valores iniciales de pH oscilan entre 5.0 y 8.3, registrándose los valores más altos en el suka kollu 1 que tiene características similares a pampa. Para suelos de pampa, la distribución del pH es mucho más homogénea, los valores oscilan entre 7.2 y 7.9.

Los valores de pH al finalizar la campaña agrícola, para ambos sistemas, muestran poca diferencia respecto a los iniciales. Los distintos tratamientos no tienen influencia sobre la variación del pH entre cosecha y siembra.

El estudio de los cationes solubles iniciales para suka kollus muestra para sodio un valor promedio de 0.8 meq/100 gss, para potasio 0.2 meq/100 gss, para calcio entre 1.5 meq/100 gss y 0.5 meq/100 gss. para magnesio. Al finalizar la campaña agrícola, se tiene un aumento de los cationes sodio hasta un promedio de 0.9 meq/100 gss, calcio hasta 2.8 meq/100 gss y magnesio hasta 1.49 meq/100 gss, que no presenta relación con las dosis de estiércol aplicadas. Para el nutriente potasio, se observa disminución entre cosecha y siembra, con la excepción de las parcelas donde se ha incorporado dosis mayores a 15 tn.ha⁻¹. Para los suelos de pampa al inicio de la campaña, los valores promedio de cationes solubles son: 0.5 meq/100 gss de sodio soluble, 0.1 meq/100 gss de potasio, alrededor de 1 meq/100 gss de calcio y 0.3 meq/100 gss. para magnesio. Al finalizar la campaña se observa un aumento para sodio (promedio 0.82

meq/100 gss), calcio (1.11 meq/100 gss) y magnesio (0.98 meq/100 gss) el cual está relacionado en forma directa a los diferentes tratamientos. Para potasio se observa disminución a 0.08 meq/100 gss en la mayoría de las parcelas (Figuras 1 a 4).

Los valores de capacidad de intercambio catiónico (CIC), para los suelos de suka kollus, al inicio de la campaña agrícola son: para el suka kollus 1 alrededor de 10 meq/100 gss y para los suka kollus 6 y 9, cuyo contenido en materia orgánica es mayor, entre 15 a 20 meq/100g. Los valores de CIC para los suka kollus al finalizar la cosecha muestran diferencias poco significativas con los iniciales.



El mayor porcentaje dentro del CIC en suka kollus corresponde al calcio, con valores entre 5 y 15 meq/100 gss. El magnesio intercambiable es el segundo catión en importancia con valores situados entre 2 y 5 meq/100 gss. El potasio intercambiable presenta valores entre 0.02 y 0.60 meq/100 gss.. La variación del potasio intercambiable entre siembra y cosecha depende del tratamiento, observándose variaciones ligeramente positivas para niveles de estiércol de 15 y 20 tn.ha⁻¹.

Los valores de capacidad de intercambio catiónico para pampa se sitúan entre 8 y 11 meq/100gss. Al no tenerse suelos altamente orgánicos como en el caso de los suka kollus, los valores de CIC son más bajos en pampa. El calcio y el magnesio son los cationes intercambiables más abundantes, con valores entre 2.8 y 5.0 meq/100 gss para Ca y entre 2.0 y 4.75 meq/100 gss para magnesio. El tercer catión en abundancia es el potasio con valores de 0.2 a 0.5 meq/100 g para la mayoría de las parcelas. El sodio intercambiable se encuentra por lo general por debajo de 0.4 meq/100gss. Al finalizar la campaña agrícola, no se observa variaciones significativas para el CIC, ni para los valores de cationes intercambiables.

El porcentaje de materia orgánica para los suelos del suka kollus 1 y de pampa se sitúa entre 2 y 3%, mientras que para los suka kollus 6 y 9 los valores son mayores a 5%. La comparación de los valores iniciales con los valores finales para suka kollus, permite observar que en todas las parcelas ha existido disminución de la materia orgánica, pero que para la dosis de 20 tn.ha⁻¹ la pérdida de materia orgánica es

menor. En pampa, los valores de materia orgánica al final de la campaña muestran que no han existido pérdidas importantes, indicando que en este sistema la descomposición ha sido menor que en suka kollus.

En el suka kollus 1 se registran porcentajes de nitrógeno total alrededor de 0.20% , para los suka kollus 6 y 9 los valores de nitrógeno se encuentran son mayores a 0.35%. Los valores finales de nitrógeno total son menores a los iniciales en todas las parcelas, oscilando entre 0.15 y 0.35%, indicando que ha existido una pérdida de nitrógeno debida a la descomposición de la materia orgánica. Para los suelos de pampa, los valores de nitrógeno oscilan entre 0.14 y 0.20, al terminar la campaña agrícola, no se observa una disminución sistemática del nitrógeno total.

Los niveles de fósforo disponible determinados para las parcelas de ensayo acusan niveles mayores en los suelos de suka kollus que para las parcelas de pampa. En suka kollus, la variación entre cosecha y siembra sugiere que el tratamiento influye en la disponibilidad de este nutriente. La disminución en fósforo es más importante para dosis pequeñas de estiércol, mientras que con 20 tn.ha⁻¹ se logra un incremento. Los valores de mineralización neta del nitrógeno y la biomasa microbiana, que tienen una directa relación, muestran en todos los casos un aumento entre las 6 y 12 semanas (Figuras 5 a 8). Para ambos parámetros, los valores son mayores en suka kollus que en pampa, este resultado muestra que las condiciones de humedad y temperatura de los camellones favorecen la presencia y actividad de los microorganismos.

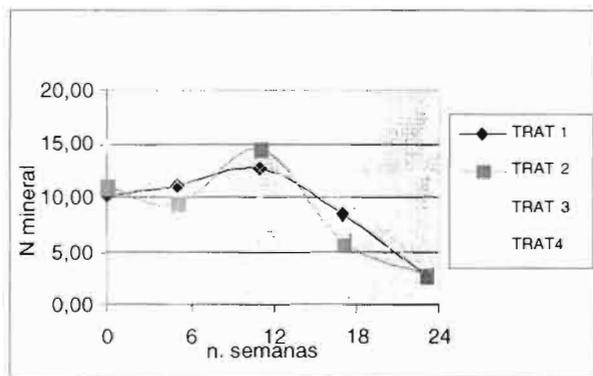


Figura 5. N mineral en función al tiempo. Suka kollu 6

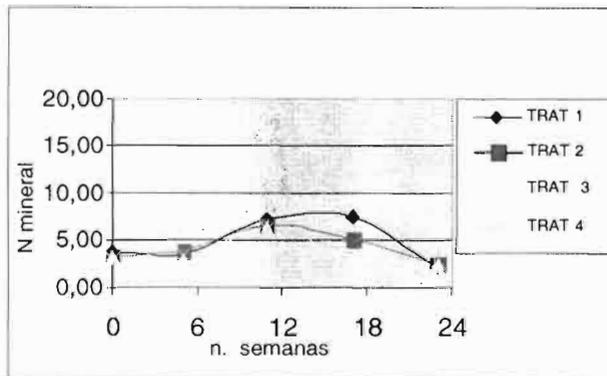


Figura 6. N mineral en función al tiempo. Pampa

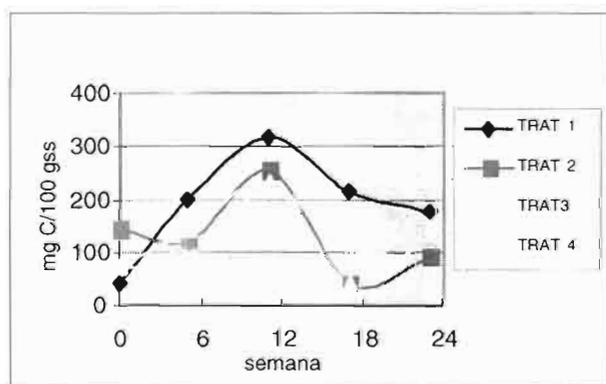


Figura 7. Evolución biomasa microbiana (mg C/100gss) Suka kollu 6

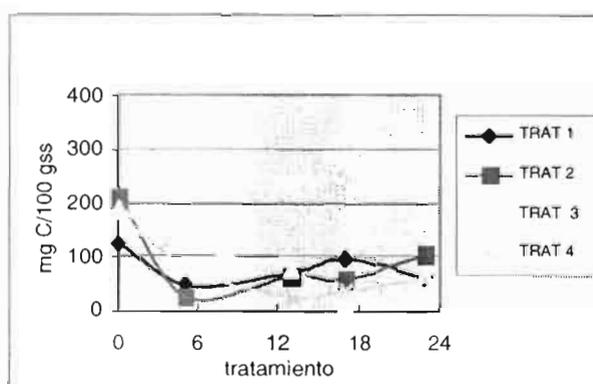


Figura 8. Evolución biomasa microbiana (mg C/100gss) Pampa 3

Los rendimientos obtenidos en el cultivo de papa en los suka kollus, se encuentran entre 46 y 68 toneladas por hectárea, con un rendimiento promedio de 52.82 toneladas por hectárea. En el sistema pampa, el rendimiento promedio es de 45.07 toneladas por hectárea. En el sistema suka kollus se observa una dependencia del rendimiento de la dosis de estiércol incorporada. Se observa un ligero

aumento del rendimiento con el tratamiento, indicando que el estiércol incorporado ha sufrido procesos que liberan nutrientes esenciales para el cultivo. El sistema pampa, no presenta correlación entre los distintos niveles de estiércol y los rendimientos, se observa que en este sistema influye mucho más la presencia de suelos con baja retención de humedad .

CONCLUSIONES

- La presencia de humedad permanente en los suelos de suka kollus determina niveles altos de: actividad microbiana, mineralización del nitrógeno y biomasa microbiana, respecto a los resultados que se observan en los suelos de pampa, implicando una mejor descomposición del estiércol en el sistema de camellones.
- Para el sistema suka kollus, se observa una relación directa entre el rendimiento de papa y los diferentes tratamientos de estiércol. El tratamiento de 20 tn.ha⁻¹, demuestra en suka kollus un mejor aporte de nutrientes principales como nitrógeno, fósforo y potasio (NPK). En pampa no se observa proporcionalidad entre el rendimiento y las distintas dosis de estiércol.
- En los suelos de suka kollus se observa un aumento de los cationes solubles sodio, calcio y magnesio, al finalizar la campaña agrícola, no relacionado con las dosis de estiércol incorporadas. Esta salinización se debería al ascenso de sales provenientes de horizontes inferiores. En los suelos de pampa también se observa incremento de los mismos cationes pero relacionado proporcionalmente con el tratamiento.
- El uso de elevadas dosis de estiércol en pampa podría llevar a una gradual salinización de suelos.

BIBLIOGRAFIA

Alexander, M., 1980. Introducción a la microbiología del suelo. México, D.F. AGT Editor S.A.

Anderson, J.P.E. y Domsch, K.H., 1980. Quantities of plant nutrients in the microbial biomass of selected soils. Soil Science, Baltimore, v.130, n.4, pp 211-216

Black, C. A., 1965. Methods of soil analysis. Madison, Wisconsin, Amer. Soc. of Agronomy, 1171pp.

Cochrane, T.T., 1973. El Potencial agrícola del uso de la tierra en Bolivia. Un mapa de sistemas de Tierra. La Paz, Bolivia, Ed. Don Bosco.

Cochrane, T.T. y Barber, R.G., 1993. Análisis de suelos y plantas tropicales. Santa Cruz de la Sierra, Bolivia, CIAT, 226 pp.

Dewis, J. y Freitas, F., 1984 . Métodos físicos y químicos de análisis de suelos y aguas. Boletín de Suelos de la FAO N° 10. Roma, Italia, Organización de las Naciones Unidas para la agricultura y la alimentación.

F A O, 1977. Guía para la descripción de perfiles de suelos. Servicio de Fomento y Conservación de Recursos de Suelos, Dirección de Fomento, Tierras y Aguas, Roma, Italia.

Fassbender, H. W., 1987. Química de suelos, con énfasis en suelos de América Latina. San José, Costa Rica, 2a. ed., IICA.

Foth, H.D., 1975. Fundamentos de la ciencia del suelo. México, Atenea, 527 pp.

Isermeyer, H., 1962. Eine einfache Methode zur Bestimmung der Bodennatmung und der Karbonate im Boden. z. Pflanzenern., Boden K. 56, 26.

ISRIC, 1993. Procedures for soil analysis. L.P van Reeuwijk ed.

Programa Interinstitucional de Waru Waru (PIWA), 1992. Tomos I al V. Pelt/Inade - IC/COTESU, Puno Perú.

Richards, L. A., 1994. Suelos Salinos y Sódicos. Balderas, México. Ed. Limusa, 172 pp.

Ruiz, M.C., 1982. Mineralización del nitrógeno en algunos suelos del Dpto. de La Paz. La Paz, Bolivia, Tesis de grado.

Ruiz, M.C. y Bustamente, Z., 1988. Descomposición de la materia orgánica bajo condiciones controladas. La Paz, Bolivia, Ecología en Bolivia N°11, Instituto de Ecología.

Runge, M., 1970. Untersu Chungen zur Bestimmung der Mineralstickstoff-Nachlieferung am Standort. Flora, Abt. B. 159:233-257.

Sastriques, F.O., 1979. La materia orgánica de los suelos. La Habana, Cuba, Academia de Ciencias de Cuba, 126 pp.

Schlichting, E., y Blume, H., 1966. Boden kundliches Practikum - Parcy. Hamburg, Berlín, 20pp.

Thompson, L.M., 1980. Los suelos y su fertilidad. España, Editorial Reverté S.A., 649pp.

Villaruel, J. A., 1988. Manual práctico para la interpretación de análisis de suelos de laboratorio. Cochabamba, Bolivia, AGRUCO, 34 pp.

Efectos del rastrojo en la superficie del suelo sobre el balance hídrico y el rendimiento

M. Campero¹ y P.C. Wall²

1 Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo, CIMMYT. Calle Honduras 191. CC 971. Sucre, Bolivia.

2 Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo, CIMMYT. CC 2305. Santa Cruz, Bolivia.

RESUMEN

Los suelos en las áreas tradicionales de producción de trigo están muy erosionados, principalmente porque no tienen residuos en superficie que los protejan del impacto de la gota de lluvia y los efectos del viento. El suelo desnudo y mullido se sella al inicio de las lluvias y el agua empieza a escurrir iniciando la erosión hídrica. El presente ensayo se desarrolló durante cuatro años en dos localidades (Tarabuco y Yamparaez), donde estudiamos el beneficio de cubrir el suelo con residuos de cosecha para combatir el estrés hídrico y la erosión. Se estudiaron tres tratamientos: testigo sin cobertura, 50% de residuos producidos por el cultivo anterior sobre el suelo y 100% de residuos sobre el suelo. El ensayo se realiza en siembra directa, sin roturación del suelo, con sembradora a tracción animal. Con este sistema se logró incrementar la infiltración y conservar la humedad en el suelo, traduciéndose en un aumento de rendimiento del trigo de hasta 30% en el mejor año, producto del incremento del número de espigas por metro cuadrado. En un año muy lluvioso los residuos saturaron el suelo y afectaron al rendimiento. Con esta alternativa es posible realizar agricultura teniendo un control sobre la erosión de los suelos.

INTRODUCCION

El sistema de labranza convencional ha sido utilizado por cientos de años en las zonas tradicionales de producción de trigo en Bolivia. Esta práctica es la principal causa para la pérdida de la fertilidad de los suelos y la erosión avanzada. Otro factor es el sistema de trilla en hera, donde los residuos de las cosechas son extraídos y no se devuelven al campo, luego de esto los animales ingresan y se alimentan de la poca paja que queda, dejando el suelo desnudo y susceptible a las inclemencias del tiempo.

Esta forma de manejo, ha provocado una degradación física y química de los suelos en las principales áreas trigueras (provincias Yamparaez, Oropesa y Zudañes), presentando materia orgánica entre 0.4 y 1.5 %, niveles de fósforo con una media de 4 ppm y potasio con una media de 0.9 meq/100g.

Un diagnóstico realizado por CIMMYT e IBTA (1994) en la región, determinó que los principales problemas de la zona son la erosión hídrica y el estrés hídrico. Esto se debe a que el suelo sin cobertura no soporta la intensidad de las lluvias, entonces éste se satura rápido y el agua en lugar de infiltrar comienza a escurrir arrastrando las partículas más finas y ricas del suelo (arcillas). El proyecto decidió iniciar ensayos exploratorios manteniendo el suelo cubierto de residuos para evitar el impacto directo de la gota de lluvia, factor que inicia la erosión hídrica, y mantener la humedad en el suelo por más tiempo.

Los objetivos planteados fueron: aumentar la infiltración del agua de lluvia en el suelo, incrementar el agua almacenada en el perfil del suelo antes de la siembra e incrementar el rendimiento de los cultivos.

MATERIALES Y METODOS

El ensayo se realizó durante cinco años en dos localidades Yamparaez (3100 msnm) y Tarabuco (3284 msnm). Los suelos de la zona son luvisoles crómicos, con predominio de litosoles. La textura varía entre franco a franco arcillosa, con pH casi neutro, topografía plana a ondulada e inclinada, presentan un fragipán entre 10 a 40 cm de profundidad.

El último año se realizaron pruebas en la zona de valles, teniendo parcelas con y sin rastrojo en superficie.

En todos los años se sembró trigo a excepción de la campaña 96/97 que se sembró cebada. Se utiliza el diseño de bloques aleatorios con cuatro repeticiones. En el segundo y tercer ciclo se hicieron parcelas divididas probando dos niveles de fertilización con trigo y cebada respectivamente.

Se estudian tres tratamientos: T1 = suelo desnudo, T2 = 2 tn.ha⁻¹ de residuos y T3 = 4 tn.ha⁻¹ de residuos. A partir del segundo año en el tratamiento 2 se dejó la mitad de paja que produjo esa parcela y en el tratamiento 3 se dejó sobre el suelo el total de paja producida, con el objeto de acercarse a la realidad del agricultor que no puede dejar todo el rastrojo sobre el suelo porque lo necesita como forraje, asumiendo así que utilizará la mitad. El último año las pruebas se realizaron solo con dos tratamientos, sin cobertura (1) y con cobertura (2).

La siembra se realizó en surcos, el primer año se sembró a mano y se cubrió con paja de acuerdo a los tratamientos, a partir del segundo año la siembra se realizó con sembradora para siembra directa a tracción animal marca Búfalo, sin preparación del suelo. La falta de práctica hizo que los surcos tengan una variación de 20 hasta 40 cm en trigo y no permitió desarrollar todo el potencial del sistema. El último año, la siembra se realizó al voleo y se cubrió con rastra, inmediatamente después de la siembra se cubrió el suelo en las parcelas con residuos.

Como el ensayo se realizó bajo el sistema de siembra directa, 10 a 15 días antes de la siembra se aplicó una mezcla de herbicidas a razón de 2 l.ha⁻¹ de glifosato y 0.5 l.ha⁻¹ de 2,4-D, para controlar el total de malezas gramíneas y de hoja ancha, reemplazando la preparación de suelos.

La aplicación del fertilizante en ambos cultivos, se realizó en el momento de la siembra con la dosis de 18-46-0 y el resto del nitrógeno se aplicó al final del macollaje.

Los principales datos que se tomaron fueron población de plantas, humedad del suelo a la siembra y floración, días a floración y madurez fisiológica, espigas por metro cuadrado, rendimiento, peso de 1000 granos, granos por metro cuadrado y peso hectolítrico.

RESULTADOS

Durante el primer año, no se hicieron mediciones de humedad del suelo (Tarabuco 434 mm, Yamparaez 428 mm). El segundo año 95/96 la humedad del suelo se determinó por el método gravimétrico. La precipitación en Tarabuco fue de 242 mm y en Yamparaez 359 mm durante el ciclo de los cultivos. La humedad acumulada al momento de la siembra, fue mayor en las parcelas con residuos en ambas localidades (Cuadro 1), con mayor diferencia en Tarabuco, debido a que la siembra fue tarde y recibió mayor cantidad de lluvias. Cardona et al. (1994), en un monitoreo en campos de agricultores determinaron que los mayores rendimientos están asociados a la mayor humedad acumulada hasta la siembra.

CUADRO 1. Porcentaje de humedad en el suelo al momento de la siembra a tres profundidades, localidades de Tarabuco y Yamparaez. Verano 95/96.

Tratamientos	(0-30)cm		(30-60)cm		(60-90)cm	
	Tarabuco	Yamparaez	Tarabuco	Yamparaez	Tarabuco	Yamparaez *
Suelo desnudo	9.6	6.9	4.8	7.2	11.6	-
50% de residuos	14.6	8.6	13.9	8.3	10.5	-
100% de residuos	14.9	11.7	12.3	11.2	10.9	-

* no se pudo tomar muestras por ser muy pedregoso

Después de este ciclo, se colocaron bloques de yeso para continuar con el monitoreo de la humedad en el suelo, a profundidades de 5, 15, 30 y 45 cm.

La campaña 96/97 fue muy húmeda, en Tarabuco la precipitación durante el ciclo fue 551 mm y en Yamparaez 660 mm. La humedad acumulada hasta la siembra no presentó diferencias entre tratamientos, el suelo se mantuvo saturado después de la emergencia del cultivo hasta la elongación y afectó el rendimiento de cebada. Creemos que la capa dura (fragipan) presente en estas zonas, disminuye la velocidad de infiltración del agua y ocasiona en años lluviosos la saturación del suelo sobre esta capa.

El año siguiente de evaluación hubo una sequía extrema ocasionada por la corriente del niño (Yamparaez 146 mm), en la siembra se tuvo en promedio humedad del suelo de 9% en el suelo

desnudo y 11% en las parcelas con residuos. De aquí en adelante no hubo diferencias entre tratamientos.

La acumulación de residuos en superficie y el aumento de la actividad biológica en siembra directa consume nitrógeno (Sá, 1993), por este motivo, a partir del segundo año comparamos la dosis de fertilizante recomendada para sistema convencional con una dosis con aproximadamente un 25 % más de nitrógeno en parcelas divididas. En el cultivo de trigo el aumento de nitrógeno se comportó igual en los tres tratamientos, con un aumento de aproximadamente 200 kg.ha⁻¹ (Figura 1) Debido al déficit hídrico registrado en esa campaña (95-96) las diferencias fueron mínimas. Para el cultivo de cebada, en todos los tratamientos se logró un incremento de 400 kg.ha⁻¹ aproximadamente con la dosis de 64-46-0, superando la recomendación de 41-46-0. Posiblemente por la excesiva precipitación hubo pérdida de nitrógeno por lavado o lixiviación y por ende mayor demanda.

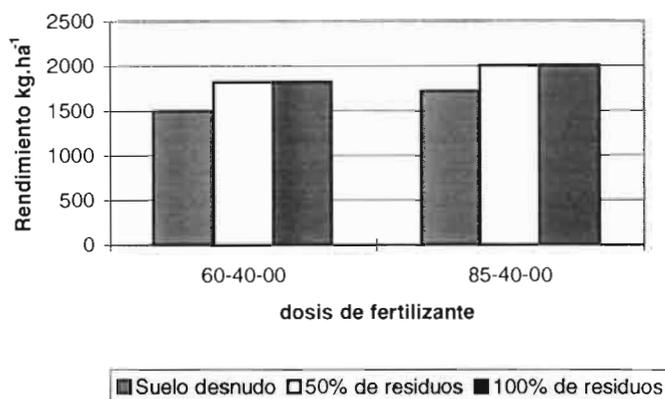


FIGURA 1. Rendimiento obtenido con dos niveles de fertilización en cultivo de trigo. Promedio de dos localidades. Verano 95/96.

Entre la siembra y el macollaje, las parcelas sobre residuos se mostraban cloróticas, indicando una mayor demanda de nitrógeno.

En la localidad de Yamparaez en los cuatro años con trigo, las parcelas con residuos se comportaron mejor, especialmente el tratamiento 3 con el 100% de paja producida se mantuvo superior a las demás. Se alcanzaron rendimientos de 2,600 kg.ha⁻¹. En la campaña 96/97, la lluvia excesiva afectó al cultivo de cebada, en las parcelas cubiertas con residuos el cultivo estaba enanizado y clorótico por asfixia de las raíces, esto se tradujo en bajos rendimientos (Figura 2).

En la localidad de Tarabuco, la siembra se realizó siempre después que en Yamparaez y en siembra directa. Cuando existe suficiente humedad acumulada en el suelo el cultivo alarga más su ciclo, por esta razón, en la campaña 94/95, se observaron grandes diferencias en espigas por metro cuadrado (T1= 221, T2= 262, T3= 311) y biomasa que no se tradujeron en rendimiento porque en el momento del llenado de grano las lluvias terminaron y la humedad remanente en el suelo no permitió un llenado total en parcelas con cobertura. En siembras tempranas creemos que estas diferencias serían mayores (Figura 3). En esta localidad, en el año lluvioso se vio afectado el rendimiento de cebada sobre residuos, este cultivo es susceptible al exceso de humedad.

El año con extrema sequía (97/98), hubo diferencias significativas a favor de las siembras sobre residuos, pero los rendimientos fueron muy bajos. En el tratamiento con suelo desnudo se tuvo un promedio de 125 kg.ha⁻¹, en suelo cubierto con residuos se tuvo 175 y 240 kg.ha⁻¹ para los tratamientos 2 y 3 respectivamente.

En el último año las parcelas sobre residuos dieron un mayor rendimiento, especialmente en Redención donde la precipitación fue menor. Solo en la localidad de Tarabuco se tuvo mayor rendimiento con el suelo desnudo, porque se presentó una helada en la fase de llenado de grano que afectó más al cultivo en la parcela con cobertura, donde se había alargado un poco su ciclo y su estadio de desarrollo era menor (Figura 4).

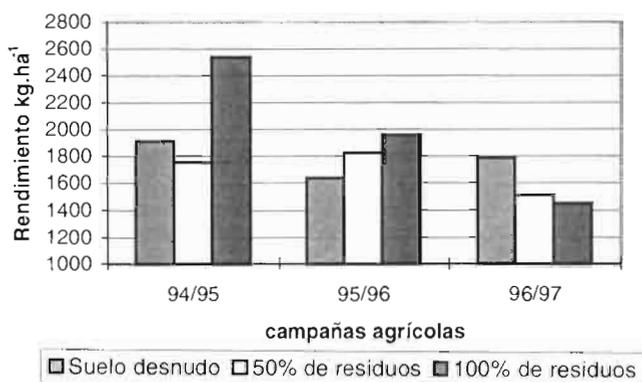


FIGURA 2. Rendimientos obtenidos en el ensayo durante las tres campañas agrícolas. Localidad de Yamparaez.

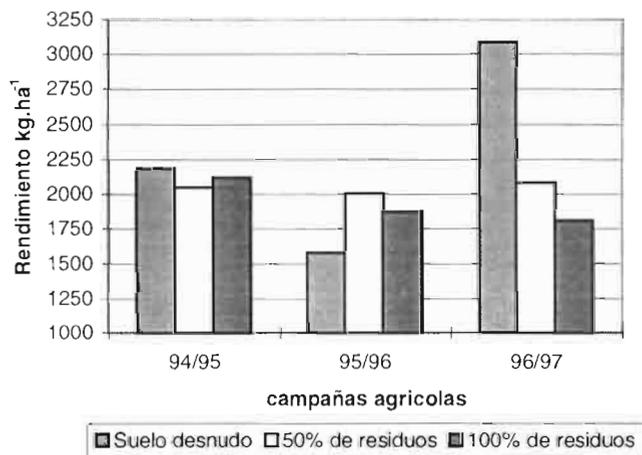


FIGURA 3. Rendimientos obtenidos durante tres campañas agrícolas en la localidad de Tarabuco.

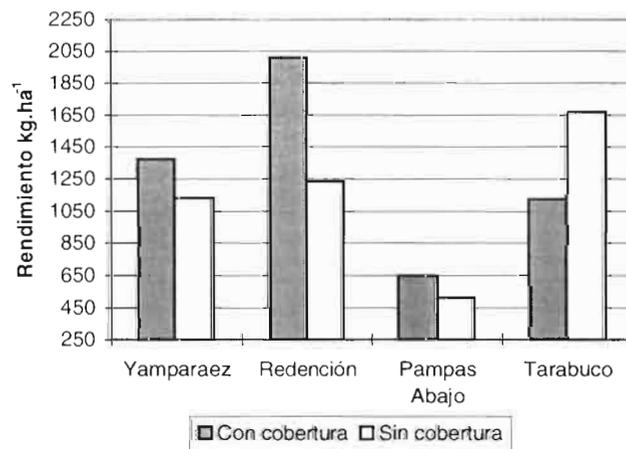


FIGURA 4. Rendimiento obtenido con y sin cobertura en cuatro localidades del departamento de Chuquisaca. Campaña 98/99.

Durante los cinco años de pruebas con rastrojos, la eficiencia en el aprovechamiento de la humedad dió como resultado un incremento en el número de granos por metro cuadrado y este componente fue el que tuvo más influencia sobre el rendimiento. Solo el año 96/97 con cebada, el incremento fue mayor en parcelas con suelo desnudo (Cuadro 2).

CUADRO 2. Número de granos por metro cuadrado registrados en el ensayo, promedios por año.

	94/95	95/96	96/97	97/98	98/99
Suelo desnudo	5,066	4,083	5,715	361	3,325
50% de residuos	5,035	4,755	4,096	494	3,564
100% de residuos	6,313	4.782	3,672	671	

En los cuatro primeros años del ensayo se tuvo como promedio una producción de 2,300 kg.ha⁻¹ de rastrojo en el tratamiento 3 y 1,100 kg.ha⁻¹ en el tratamiento 2, que según los resultados de esta investigación son suficientes para almacenar humedad. Como la paja de trigo y cebada es menuda, una cantidad de 1,100 kg.ha⁻¹ de rastrojo significa una cobertura del suelo de 90%. La cantidad de paja que se dejó sobre el suelo después de la cosecha según los tratamientos se observa en el Cuadro 3.

CUADRO 3. Cantidad de residuos dejados sobre el suelo (kg.ha⁻¹) después de la cosecha durante tres ciclos, en dos localidades.

Tratamientos	94/95		95/96		96/97	
	Yamparaez	Tarabuco	Yamparaez	Tarabuco	Yamparaez	Tarabuco
Suelo desnudo	0	0	0	0	0	
50% de residuos	1,173	1,750	1,162	776	840	1,098
100% de residuos	2,906	3,714	2,276.9	1,467	1,757	1,977

CONCLUSIONES

- Las cantidades de rastrojo estudiadas fueron suficientes para mostrar respuesta en el cultivo. En años secos es necesario tener un mínimo de 2,000 kg.ha⁻¹ y en años húmedos alrededor de 1,000 kg.ha⁻¹.
- Los residuos en superficie tienen un efecto directo sobre el aumento de la infiltración del agua de lluvia y permiten que la humedad en el suelo esté disponible por más tiempo y sea aprovechable por el cultivo. Al momento de disminuir el escurrimiento, se logra un control de la erosión hídrica.
- En la siembra sobre residuos, debido a la acumulación de humedad en el perfil, los cultivos alargan su ciclo y al finalizar las lluvias en el momento de la maduración (abril - mayo) la humedad remanente en el suelo no es suficiente para un buen llenado de grano. Para obtener el máximo rendimiento debemos sembrar con las primeras lluvias o a fines de noviembre o inicios de diciembre.
- La erosión avanzada en las zonas altas de Chuquisaca y la irregularidad de las lluvias permiten que la siembra sobre residuos sea la alternativa más segura en el tiempo.

BIBLIOGRAFIA

Cardona, M., Vargas, F. y Wall, P., 1994. Investigación por muestreo en campos comerciales de trigo en el departamento de Santa Cruz, Bolivia. Memorias de la segunda reunión del trigo y cereales menores, pp. 5-17.

Sá, J.C. de M., 1993. Manejo da fertilidade do solo no Plantio Direto. Castro, Brasil, Fundação ABC, 96 pp.

Wall, P., Calle, C., Monasterio, I., Velasco, J. y Zegada, L., 1997. Resultados de un sondeo de productores de trigo en el norte del departamento de Chuquisaca, Bolivia, abril 1994. Santa Cruz, 32 pp.

Evaluación de prácticas para el establecimiento de maní forrajero (*Arachis pintoï*) en suelos de uso pecuario

D. Ruiz¹, V. Oller¹, N. Anzaldo² y J. Pijnenborg²

1 Centro de Investigación Agrícola Tropical. CIAT. Santa Cruz, Bolivia. email: rhzciat@bibosi.entelnet.bo.

2 Proyecto Rhizobiología – CIAT. Santa Cruz, Bolivia

RESUMEN

El maní forrajero (*Arachis pintoï*) es una leguminosa que al ser cultivada en asociación con gramíneas puede favorecer al mejoramiento de la fertilidad del suelo e incrementar la cantidad de forraje de alta calidad para el ganado bovino.

En la provincia Ichilo, del departamento de Santa Cruz, grandes superficies de suelo están siendo dedicadas al uso pecuario, principalmente por la degradación acelerada del suelo por ausencia de prácticas de manejo. Aún en este tipo de uso del suelo, la productividad disminuye por el sobrepastoreo y uso de prácticas y equipos inadecuados.

Este trabajo se planteó con el objetivo de proporcionar información que permita al productor pecuario acelerar el establecimiento de *Arachis pintoï* en pasturas ya establecidas de gramíneas. Para lograr este objetivo fue evaluado el comportamiento de la leguminosa en diferentes sistemas de siembra, la fertilización con fósforo y la inoculación.

El experimento fue establecido en una parcela de uso pecuario cultivada con *Brachiaria decumbens* en la localidad de Villa El Chore, provincia Ichilo del departamento de Santa Cruz. El suelo es muy ácido y de baja fertilidad.

Fueron evaluadas cuatro formas de habilitar el surco para la siembra, siembra convencional (sin eliminar la gramínea), aplicando herbicida en surcos de 15 cm de ancho, eliminando la gramínea mediante una pasada de cultivadora y mediante la combinación de herbicida y cultivadora. Un segundo factor de estudio fue la fertilización con fósforo en dosis de 0, 1, 10 y 20 kg.ha⁻¹. La inoculación de la semilla fue evaluada en tratamientos con y sin inoculante.

La inoculación de la semilla resultó en incrementos en la materia seca de nódulos y la producción de biomasa foliar de *Arachis pintoï*. La aplicación de 20 kg de fósforo por hectárea resultó favorable para el desarrollo de raíces y follaje de leguminosa.

La forma de preparar el surco de siembra resultó ser la práctica más importante para el establecimiento de la leguminosa. Cuando se eliminó la gramínea mediante la combinación de herbicida y cultivadora se encontraron los valores más altos de materia seca de raíz y materia seca de follaje.

Así mismo, la expansión de estolones en forma paralela y perpendicular al surco de siembra y el área cubierta por *Arachis pintoï*, fueron significativamente mayores a la siembra convencional. Los tratamientos de sólo herbicida y sólo cultivadora mostraron un incremento significativo con relación al testigo pero 50% menores al tratamiento combinado de las dos prácticas.

La calidad del forraje fue también afectada por la fertilización y la forma de habilitar el surco de siembra. Se encontraron valores de proteína cruda significativamente superiores con la aplicación de 20 kg.ha⁻¹ de P y habilitando el surco de siembra con herbicida y cultivadora.

Los resultados encontrados son un claro indicativo de que las prácticas que posibilitan el mejoramiento de las condiciones físicas del suelo, aflojamiento de la capa superficial compactada, junto a las prácticas que incrementan la fertilidad del suelo, aplicación de fertilizantes e inoculación, aseguran el éxito del establecimiento de *Arachis pintoï* en praderas de *Brachiaria decumbens* ya establecidas.

INTRODUCCION

En la provincia Ichilo del departamento de Santa Cruz se practica la agricultura de corte y quema, encontrándose además, en la mayoría de las fincas el componente pecuario. En la actualidad existe una tendencia generalizada al cambio de la actividad agrícola por la pecuaria, manteniéndose en algunos casos pequeñas plantaciones de cultivos perennes.

La causas para este comportamiento están relacionadas principalmente a la reducción sostenida de los rendimientos de los cultivos, debida a la rápida degradación de los suelos. El bajo contenido de

nutrientes, la presencia de capas compactadas y fuertes infestaciones de malezas, son entre otros, factores que obligan a los agricultores a dejar sus tierras en barbecho y/o habilitarlas como pasturas. En este nuevo rubro, también se observa una rápida declinación de los rendimientos. El uso de prácticas y equipos inadecuados acentúan los problemas edáficos y junto al sobre pastoreo comprometen la productividad.

En estas condiciones, la incorporación de leguminosas en las pasturas podría elevar los rendimientos, mejorar las características de los suelos y mantener una producción animal económicamente rentable. La leguminosa forrajera *Arachis pintoii* en asociación con gramíneas, ha dado excelentes resultados en el mejoramiento de pasturas, por su alto contenido de proteínas y minerales contribuye a mejorar la producción de carne y de leche. Esta leguminosa ha sido introducida recientemente en la zona, por lo que aún no se conocen las prácticas adecuadas para su establecimiento.

Este trabajo se planteó con el objetivo de proporcionar información que permita al productor acelerar el establecimiento de *Arachis pintoii* en pasturas ya establecidas de gramíneas. Para lograr este objetivo fue evaluado el comportamiento de la leguminosa en diferentes formas de habilitar el surco de siembra, la fertilización con fósforo y la inoculación con *Bradyrhizobium*.

MATERIALES Y METODOS

El ensayo fue establecido en una parcela de uso pecuario cultivada con *Brachiaria decumbens*, ubicada en la localidad de Villa El Chore, provincia Ichilo, a 144 km en dirección noroeste de la ciudad de Santa Cruz. El suelo, de textura franca, presenta niveles bajos de materia orgánica, fósforo y cationes intercambiables, el pH del suelo es muy ácido.

Antes de la siembra se habilitaron surcos (factor A) eliminando la gramínea (15 cm de ancho) mediante el uso de herbicida (Gramoxone), cultivadora pié de pato y la combinación de herbicida más cultivadora. Un cuarto tratamiento para este factor fue la siembra convencional, es decir, sin eliminar la gramínea. La fertilización con fósforo (factor B) se realizó con superfosfato triple en dosis de 0, 1, 10 y 20 kg.ha⁻¹. En la dosis de 1 kg.ha⁻¹ de P la semilla fue peletizada con una mezcla de superfosfato triple + calcita. El factor C corresponde a la inoculación, semilla de la accesión CIAT 17434 fue inoculada con una mezcla de las cepas CIAT 3101 y NC 92.

De la combinación de los diferentes niveles de los tres factores en estudio, resultaron 32 tratamientos que fueron distribuidos en un diseño de bloques completos al azar para el factor A, con los factores B y C como parcelas divididas en el factor A. El bloque completo de tratamientos se repitió 4 veces.

Para lograr los objetivos propuestos, durante el período de investigación se evaluaron las condiciones climáticas, las características relacionadas a la fijación biológica de nitrógeno (peso seco de nódulos y cantidad de nitrógeno fijado en el follaje), características agronómicas (germinación, producción de biomasa foliar y radicular, expansión de estolones y área cubierta) y calidad de forraje (contenido de fósforo y proteína del follaje).

RESULTADOS Y DISCUSION

Durante el período de evaluación la precipitación fue de 3288 mm, presentándose una clara época lluviosa que se inicia en el mes de noviembre y la época seca se inicia en el mes de mayo y tiene una duración de 5 meses. La temperatura en la época de invierno baja hasta los 17°C en los meses de junio a agosto, mientras que en los meses de septiembre a marzo puede alcanzar hasta 34°C.

Germinación. En la fase inicial de establecimiento, los factores de inoculación (C) y forma de preparar el surco (A) no afectaron significativamente. Sin embargo, la fertilización con fósforo (B) mostró un efecto significativo negativo sobre la germinación de la semilla. Como se observa en la figura 1, el tratamiento sin fertilizante presentó una población de plantas muy superior a los tratamientos fertilizados. La aplicación de P, ya sea en la forma de pelets o como fertilizante granulado, inviabiliza y retarda la germinación. Probablemente la rápida disolución del fertilizante en el surco provoca un ambiente más ácido que afecta a la germinación de la semilla.

Nodulación. La formación de nódulos en la raíz de *Arachis pintoii* fue afectada significativamente tanto por la fertilización con P como por la inoculación de la semilla (Figura 2). A un nivel de 20 kg.ha⁻¹ de P se verificó un incremento de 44 % en la masa seca de nódulos. La aplicación de 1 y 10 kg.ha⁻¹ de P no modificó significativamente la formación de nódulos. Como era de esperar, la inoculación de la semilla favoreció a una mayor formación de nódulos. El tratamiento inoculado presentó un incremento de

67 % en la masa seca de nódulos con relación al tratamiento sin inocular.

Materia seca de la raíz. Esta característica de la planta fue evaluada a 63 días después de la siembra. Todos los factores estudiados afectaron significativamente al desarrollo del sistema radicular de *Arachis pintoii*. La eliminación del surco mediante el uso de herbicida y cultivadora favoreció a una producción de biomasa radicular, superior en 95 % con respecto a la siembra convencional (Figura 3). Con los tratamientos herbicida y cultivadora, individualmente, se obtuvieron incrementos de 44 y 42 % respectivamente. Este resultado demuestra que la descompactación superficial del suelo y la eliminación temporal de la gramínea tiene un efecto significativo en el enraizamiento debido a la mejora de las condiciones físicas del suelo y la reducción de la competencia con la gramínea. Con la aplicación de 20 kg.ha⁻¹ de P, se incrementó la producción de raíces en un 6 %. En las dosis de 1 y 10 kg.ha⁻¹ de P no se observaron incrementos (Figura 4). La inoculación de la semilla favoreció al desarrollo radicular mostrando un aumento de 21 % de biomasa, comparado con el testigo.

Materia seca de follaje. A los 63 días después de la siembra (dds) no se observaron diferencias en la biomasa foliar mientras que a los 195 y 387 dds se manifestaron los factores forma de habilitar el surco y fertilización con fósforo. En las dos últimas evaluaciones se observó un fuerte efecto de la preparación del suelo para la siembra de la leguminosa (Figura 5). El tratamiento herbicida + cultivadora mostró incrementos de 294 y 190 % a los 196 y 387 dds respectivamente. Con la eliminación mediante el uso de herbicida se consiguió incrementos en la producción de biomasa foliar de 79 y 71 % para las dos últimas evaluaciones. La remoción de la capa superficial, compactada por el pisoteo del ganado, mostró un efecto positivo en el desarrollo de plantas superior a la aplicación de herbicida. Los incrementos fueron del orden de 86 y 93 % para las dos últimas evaluaciones. Con relación a la fertilización con fósforo, fue verificado un incremento del follaje sólo en la dosis de 20 kg.ha⁻¹ de P. En la segunda evaluación (195 dds) hubo un incremento de 38 % mientras que en la última, el incremento fue de 42 %.

Expansión de estolones. La expansión de estolones de *Arachis pintoii* se determinó a 189 y 387 dds, evaluando en forma separada el crecimiento de estolones paralelo y perpendicular al surco de siembra. En la primera evaluación la habilitación del surco mediante herbicida (H), cultivadora (C) y H+C mostró incrementos de 35, 39 y 95 % respectivamente, con relación al testigo, en el crecimiento de estolones paralelo al surco de siembra. En la segunda evaluación, se observó la misma tendencia pero con un incremento promedio en las cuatro formas de habilitar el surco, de 54 cm en la longitud de los estolones (Figura 6).

La fertilización con fósforo en la primera evaluación mostró un efecto positivo sólo con la aplicación de 20 kg.ha⁻¹ de P, incrementando la longitud del estolón en 31 %. En la segunda evaluación se observaron incrementos de 9, 13 y 30 % con la aplicación de 1, 10 y 20 kg.ha⁻¹ de P. Al parecer la condición de pH ácido del suelo permite una lenta disponibilidad del P aplicado para las plantas. Entre la primera y segunda evaluación hubo un incremento promedio de 49 cm en la longitud de los estolones. Con respecto al crecimiento perpendicular al surco, se observaron similares resultados al crecimiento paralelo (Figura 7).

Area cubierta por *Arachis pintoii*. A los 385 dds fue evaluado el porcentaje de cobertura por *A. pintoii*. La preparación del surco de siembra, la fertilización con P y la inoculación afectaron positivamente al desarrollo de la leguminosa promoviendo una mayor cobertura, comparando con la siembra convencional. La habilitación del surco mediante H + C fue el tratamiento que incrementó en mayor proporción (129 %) al porcentaje de cobertura (Figura 8). La fertilización con 20 kg.ha⁻¹ de P, a su vez, mostró un incremento de 129 %. La inoculación también favoreció con un 17 % en la cobertura de la leguminosa.

Contenido de proteína cruda. Esta variable fue analizada en tres oportunidades, a 63, 195 y 387 dds. En las tres oportunidades se verificó un efecto positivo de la fertilización con P y de la forma de habilitar el surco de siembra. En las dos primeras evaluaciones el tratamiento H + C fue estadísticamente superior a las demás formas de habilitar el surco, se encontraron incrementos de 40% y 197 % respectivamente. En la tercera evaluación se observó un incremento de 85, 87 y 201 % con los tratamientos H, C y H + C respectivamente (Figura 9). Respecto a la fertilización con P, en las tres evaluaciones se observó el mismo comportamiento en el contenido de proteína cruda, para las diferentes dosis de P. Sólo con la aplicación de 20 kg.ha⁻¹ de P se verificó un incremento de 21, 55 y 54 % a los 63, 195 y 387 dds respectivamente (Figura 10).

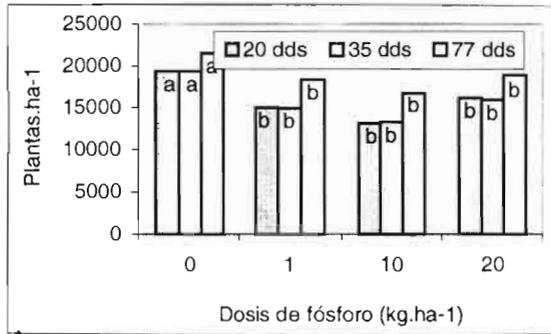


FIGURA 1. Número de plantas de *A. pinto* en función de la fertilización con P.

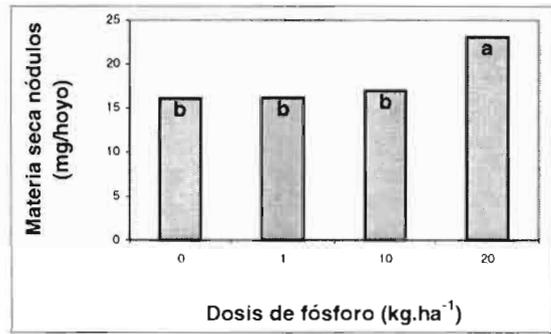


FIGURA 2. Materia seca de nódulos en *A. pinto* en función de la fertilización con P.

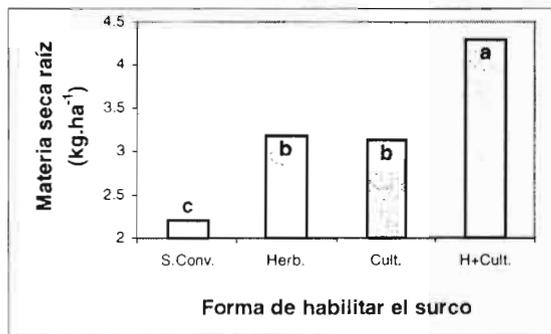


FIGURA 3. Materia seca raíz de *A. pinto* en función de la forma de habilitar el surco.

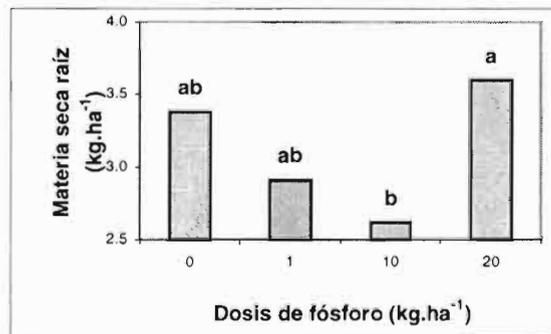


FIGURA 4. Materia seca raíz de *A. pinto* en función de la fertilización con P.

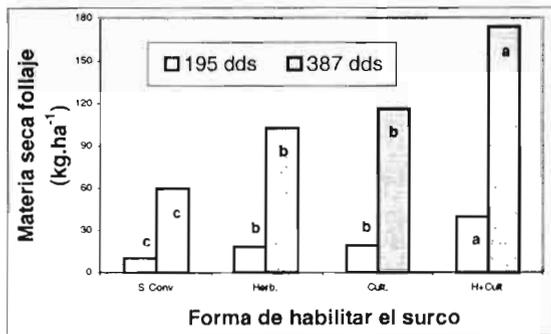


FIGURA 5. Materia seca follaje *A. pinto* en función de la forma de habilitar el surco.

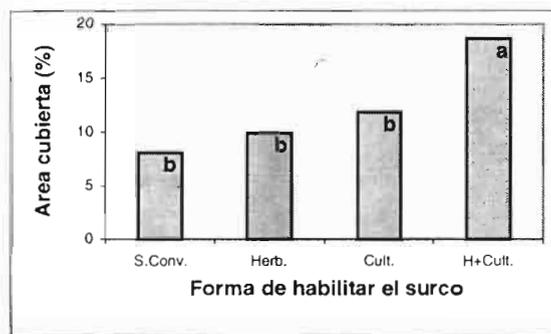


FIGURA 6. Longitud estolones paralelos en función de la forma de habilitar el surco.

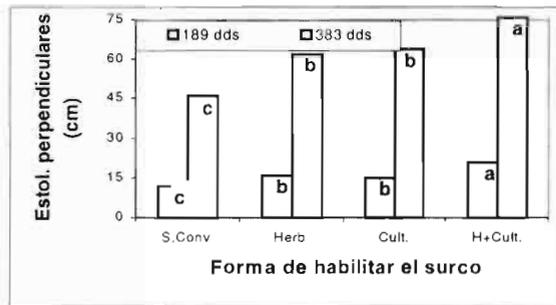


FIGURA 7. Longitud estolones perpendiculares en de la forma de habilitar el surco .

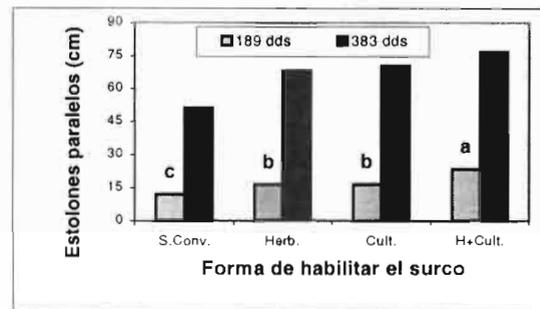


FIGURA 8. Area cubierta por *A. pintoi* en función de la forma de habilitar el surco.

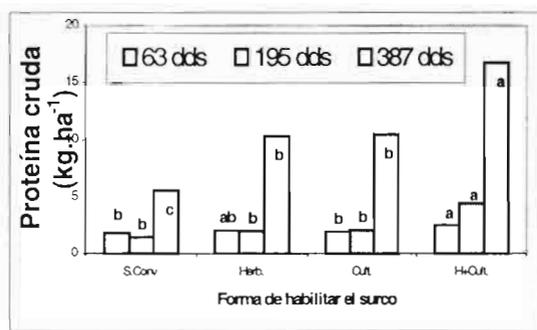


FIGURA 9. Contenido proteína cruda *A. pintoi* en función de forma de habilitar el surco.

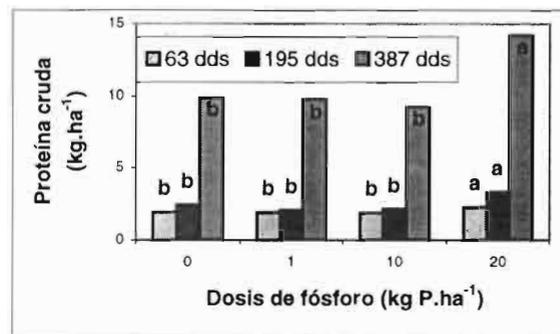


FIGURA 10. Contenido proteína cruda *A. pintoi* en función de fertilización con P.

CONCLUSIONES

- De acuerdo a resultados, es posible concluir que tanto el aflojamiento de la capa superficial del suelo, que permite un mejor drenaje y aprovechamiento del agua, a la vez que favorece a una mejor aireación del suelo y la mineralización y liberación de nutrientes, como la eliminación temporal de la gramínea mediante el uso de herbicida, son prácticas que aseguran el éxito del establecimiento de *Arachis pintoi* en praderas de *Brachiaria* sp ya establecidas.
- La inoculación y fertilización fosfórica contribuye al aumento de la producción biomasa foliar con alto contenido de proteína.

BIBLIOGRAFIA

Kwasi, O.F., 1992. Decomposition and nitrogen and phosphorous dynamics of cocoa leaf material and the effect Of cocoa leaf litter on the transformations of N and P in cocoa growing soil of Ghana. Reading.University of Reading, Department of Soil Science, 178 pp. (Tese: D.S.).

Siqueira, J.O. y Franco, A.L., 1988. Biotecnología do solo. Principios e perspectivas. São Paulo. MEC/ESAL/FAEPE/ABEAS, 235 pp.

Stevenson, F.J., 1986. Cycles of soil carbon, nitrogen, phosphorous, sulfur, micronutrients. New York, John Wiley and Sons, 380 pp.

Kiehl, E.J., 1985. Fertilizantes orgánicos. Piracicaba, Agronômica Ceres, 492pp.

Lassus, C., 1990. DE. Composição dos resíduos vegetais em solo manejado com nove sistemas de culturas. R. Bras. Ci. Solo, 14:375-380.

Efecto de las épocas de incorporación y dosis de estiércol en la conservación de la humedad del suelo y la productividad de la papa (*Solanum tuberosum* ssp. *Andigena*) en zonas de altura de Cochabamba

Victoria Parra¹, André Devaux¹, Pablo Mamani¹, Vladimir Orsag², Ruben Botello¹ y Bruno Condori¹

¹ Fundación PROINPA (CIP-COSUDE). Casilla 1078, La Paz, Bolivia. email: proinpa@mail.megalink.com

² Universidad Mayor de San Andrés. Facultad de Agronomía. La Paz, Bolivia.

RESUMEN

La presente investigación se llevó a cabo en la E.E. Toralapa (Cochabamba, Bolivia), durante la campaña 1995-96. Se estudiaron tres épocas de incorporación de estiércol: últimas lluvias (ILU) en mayo de 1994-95, primeras lluvias (ILP) en octubre de 1995-96 y en la siembra al surco abierto (IS) en noviembre de 1995 y dos dosis de estiércol bovino (5 y 10 tn.ha⁻¹), más un testigo absoluto (sin aplicación), evaluándose su efecto en la conservación de la humedad del suelo y en el rendimiento del cultivo. Con los perfiles culturales se encontró una profundidad de laboreo (arado de palo) de 15 cm aproximadamente (H1 y H2), debido a una capa muy compacta (permeabilidad moderada a lenta) y pedregosa por debajo de ella, afectando el desarrollo radicular y la infiltración del agua. Se observó distribución del estiércol hasta los 10 cm de profundidad. La humedad gravimétrica del suelo se vio influenciada por las épocas de incorporación en la capa superficial (0-10 cm), no así por las dosis de estiércol bovino (las excesivas precipitaciones encubrieron su efecto). La aplicación localizada del estiércol a la siembra (IS) tuvo un efecto positivo en el cultivo de papa incrementando los rendimientos en comparación a la aplicación anticipada (ILU e ILP). Indistintamente de la dosis de estiércol (5 y 10 tn.ha⁻¹) los rendimientos fueron altos con relación al testigo. Con la aplicación localizada del estiércol y el testigo se recuperaron los costos de inversión y además estos registraron beneficios económicos.

INTRODUCCION

Las malas prácticas agrícolas relacionadas con los excesivos e inoportunos movimientos de tierra antes y durante el desarrollo del cultivo y, principalmente, la incipiente reposición de materia orgánica al suelo constituyen, entre otras, limitantes para una adecuada conservación de la capacidad productiva de los suelos. La aplicación de estiércol al suelo como la principal fuente orgánica conocida por los agricultores, no solo debe ser estudiada desde un punto de vista social y económico. Su utilidad desde un punto de vista ecológico-ambiental debería ser aún más importante, por esta razón debe considerarse su estudio en el contexto de sistemas de producción, considerando las limitantes climáticas y los riesgos erosivos de los suelos para la agricultura.

Según reportes del INE (1995), en Bolivia se cultivan 1,734,081 ha de las cuales solo el 4% (75,468 ha) cuentan con riego beneficiando a 42,580 familias y el 96% de la superficie se cultiva bajo las condiciones climáticas de cada año. Por los antecedentes descritos, el objetivo principal del presente trabajo fue evaluar el efecto que tienen las distintas épocas de incorporación y dosis de estiércol sobre el contenido de la humedad del suelo, la productividad del cultivo de la papa y realizar el análisis económico.

MATERIALES Y METODOS

El estudio se realizó en la E. E. de Toralapa en Cochabamba, Bolivia, a una altura de 3430 msnm. En el cuadro 1 se muestra la precipitación pluvial durante el ensayo (mayo 1995 a abril 1996), distinguiéndose periodos secos y de baja precipitación (anteriores al cultivo) y periodos con precipitación (durante el cultivo).

De acuerdo a los datos de la Estación Meteorológica Toralapa, las precipitaciones tuvieron una distribución irregular y elevada, para los meses de diciembre y enero (con 187 y 179 mm respectivamente). La media general para la zona es de 531 mm acumulados anualmente la cual fue superada con 599 mm en la presente campaña.

CUADRO 1. Precipitación pluvial para la gestión agrícola 1995-96 y el promedio histórico de 10 años. Toralapa, Cochabamba.

Año	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr
1983-94	10.7	8.9	8.6	25	60.6	68.9	136	69	84	37.4	12.1	3.2
1995-96	0	0	0	80	10	24	56	187	179	73	80	24

Fuente: Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología, 1997.

Los suelos de la zona se encuentran dentro de la clasificación taxonómica Aridic haplustalf, son superficiales y de origen aluvial, algunos limitados por su extrema pedregosidad (grava superficial y dentro del perfil), con buen drenaje externo e imperfecto drenaje interno, pendientes que varían de 2 a 13 %, su principal limitante es la erosión hídrica laminar ligera (CIDETI, 1994). En el cuadro 2 se describen los horizontes encontrados en el perfil edafológico (Parra, 1998).

CUADRO 2. Descripción morfológica del perfil del suelo. Toralapa, 1995-96.*

Horizonte	Profundidad (cm)	Descripción
Ap	0 – 25	Color 10 YR 5/4 en húmedo y 7,5 YR 4/4 en seco, sin manchas de color. Textura franca, ligeramente pedregoso con poca grava. Estructura en bloque angular con abundante porosidad (medianos, finos y muy finos). Ligeramente adherente, en húmedo tiene una consistencia plástica. La topografía del limite es ondulada.
Bt	25 – 64	Color 5 YR 3/4 en húmedo, con frecuentes manchas pardas-oscuras pequeñas. Textura franco arcillo limosa. Ligeramente pedregoso. Estructura en bloque angular y bastante porosidad (medianos y finos), muy adherente en húmedo y muy duro en seco. Frecuentes nódulos minerales de color negro (Mn). La topografía del limite es ondulada.
C	mayor a 64	Color 5 YR 4/6 en húmedo y 10 YR 7/3 en seco, con manchas pardas blanquecinas. Textura arcillo arenoso y pedregoso. Estructura en bloque angular con frecuente porosidad estructural. En húmedo muy firme y en seco extremadamente duro. Pocos nódulos minerales de color negro (Mn) y rojo (Fe), ligeramente calcáreo.

*La descripción de los horizontes hallados son muy similares a la descripción del perfil edafológico realizado por CIDETI en 1994 para suelos de Toralapa.

El análisis físico-químico reporta a este suelo como de textura franca, capacidad de campo (CC) del 20% y punto de marchitez permanente (PMP) del 9.5%. La capa arable (0-20 cm de profundidad), inicialmente presentaba un pH de 4.7 fuertemente ácido, moderado contenido de materia orgánica (MO 3.48 %) y baja CIC (9 meq/100 g suelo), caracterizándolo como de baja fertilidad, común en esta zona, tal como clasifica Villarroel (1988) y presenta Condori (1996) en los reportes.

El análisis químico después de la cosecha del cultivo no mostró comportamientos muy claros con la aplicación del estiércol. El pH, el nitrógeno y el fósforo no presentaron cambios durante el ciclo del cultivo. El potasio se elevó de un nivel muy bajo a moderado en todos los tratamientos, atribuible al residuo de tejidos de la cosecha de papa (1995-96) y a la descomposición del rastrojo de avena (1994-95). La conductividad eléctrica disminuyó dentro del rango de suelos no salinos, como consecuencia del lavado de sales a profundidades mayores por las elevadas precipitaciones.

La variedad de papa utilizada fue la Waych'a. El estiércol bovino se obtuvo de los agricultores de la zona, en estado de semidescomposición, con 83 % de materia seca (promedio de cuatro muestras). El estudio fue implantado bajo el diseño de bloques completos al azar con arreglo factorial de 3 x 2 más un tratamiento adicional (testigo) con cuatro repeticiones. Los factores estudiados fueron (Figura 1):

Epocas de incorporación (e):

- e₁ = Incorporación del estiércol (dist. al voleo) con la labranza en las últimas lluvias (ILU, mayo 95).
- e₂ = Incorporación del estiércol (dist. al voleo) con la labranza en las primeras lluvias (ILP, octubre 95).
- e₃ = Incorporación del estiércol (localizado) en la siembra (IS, noviembre 95).

Dosis de estiércol bovino (d):

- d₁ = 5 tn.ha⁻¹
- d₂ = 10 tn.ha⁻¹

Las variables de respuesta consistieron en evaluaciones del suelo: perfil cultural (método FAO, 1994) considerando la dosis alta (10 tn.ha⁻¹), permeabilidad, densidad aparente (estas tres evaluaciones se realizaron en la fase de madurez del cultivo) y humedad gravimétrica del suelo (con una frecuencia de 15 días y 48 horas después de una precipitación). En el cultivo se evaluó el rendimiento agronómico. Finalmente, se realizó el análisis económico.

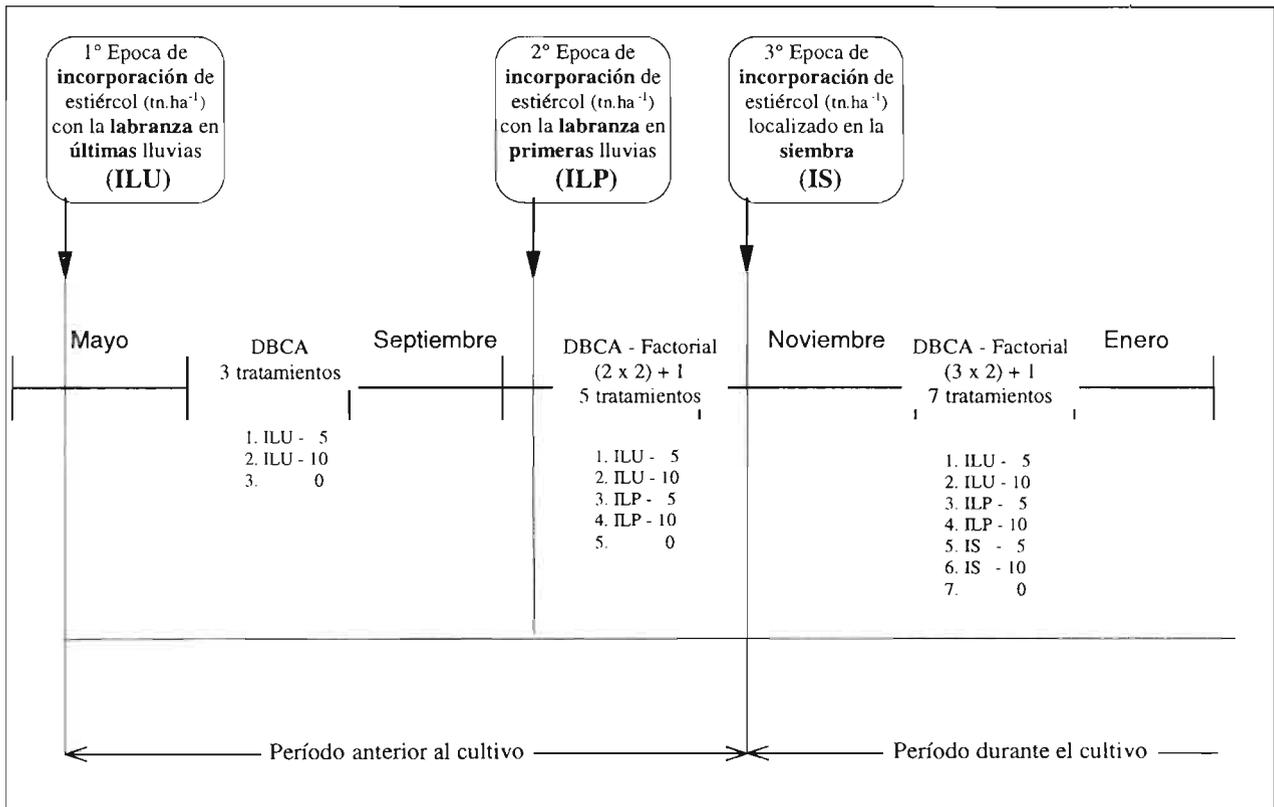


FIGURA 1. Distribución en el tiempo de los factores en estudio, para el análisis estadístico (ANVA) de la humedad del suelo. Toralapa (1995-1996).

RESULTADOS Y DISCUSION

Perfil cultural

Las características de los horizontes del perfil cultural se ven en la figura 2, se puede observar el efecto de la forma de incorporación del estiércol (al voleo y localizado) en algunas propiedades físicas de suelo (permeabilidad y densidad aparente), la profundidad y distribución en los horizontes, la relación directa de estos horizontes con el movimiento del agua y el desarrollo radicular.

En general, la descripción mostró, suelos superficiales y pedregosos, con una profundidad de laboreo (arado de palo) aproximadamente de 15 cm (H1 y H2), por la presencia de una capa muy compacta y pedregosidad por debajo de ella. El estiércol incorporado con en ILU e ILP se encontró distribuido en todo el horizonte H1 y H2, en cambio al ser aplicado a la siembra se encontró en forma localizada en el fondo de surco de siembra.

En la capa arable (Ap) se evidenciaron horizontes antrópicos, horizontes alterados por las labores agrícolas del suelo (Herve, 1996), distinguiéndose al horizonte HA (aporques), el H1 (fondo de surco de siembra) y el H2 determinando el fondo de arado o profundidad de laboreo.

Por debajo del horizonte Ap, se identificaron los horizontes antiguos mullidos por herramientas tipo subsolador (Herve, 1996). Para una mejor explicación se agrupo a los perfiles con aplicación de estiércol al voleo y localizado (al no existir una gran variabilidad de sus horizontes) y la comparación con el testigo. El H3 tiene un alto contenido de arcilla y limo, fue formado por la labor profunda que realizó la maquinaria agrícola en cultivos anteriores, la ocurrencia de precipitaciones y el drenaje imperfecto hacia los horizontes profundos por el pie de arado en el limite inferior con H4, que llegaron a conformar un horizonte muy compacto. Otra característica diferencial es el color blanco probablemente por la deposición de carbonatos de calcio.

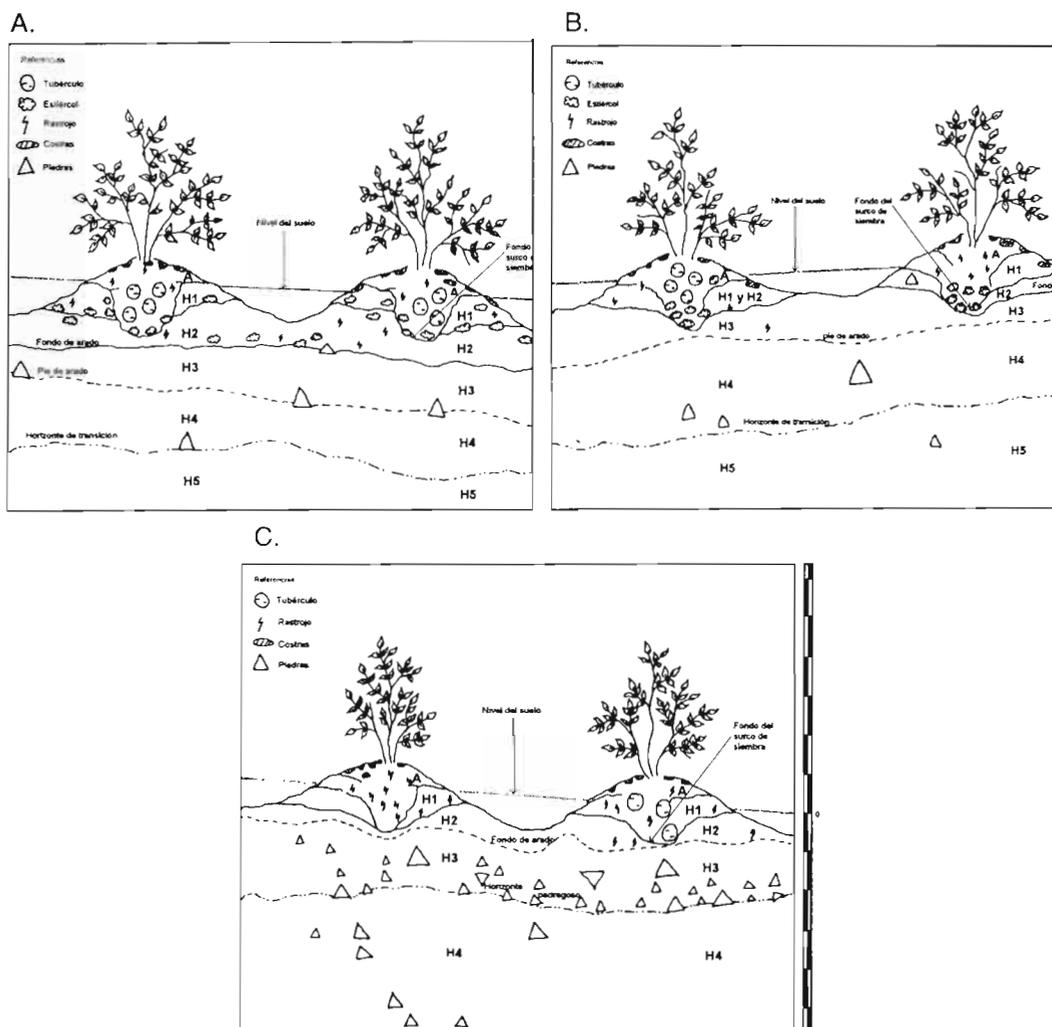


FIGURA 2. Esquema del perfil cultural que muestra la aplicación del estiércol al voleo (A), localizado (B) y el testigo sin aplicación (C). Toralapa, 1995-96.

En el testigo no se identificó este horizonte blanco, pero si un horizonte bastante pedregoso (80% de piedras), no pudiendo definirse el estado de la compactación. Al igual que en los otros perfiles presentó alto contenido de arcilla.

La presencia de este horizonte compacto, a poca profundidad del suelo, tuvo influencia en el desarrollo radicular, observando mayor crecimiento lateral que vertical en el limite con el fondo de arado. La infiltración del agua fue interrumpida en los periodos de elevada precipitación, provocando la asfixia temporal de las raíces, que repercutió en un pobre desarrollo foliar de la planta en áreas localizadas del ensayo.

El H4 presentó un elevado contenido de limo y es de característica compacta. El testigo es mucho más arcilloso que H3 y muy compacto, con un 20 a 40% de piedras. El H5 es moderadamente

pedregoso y bastante compacto. En el testigo no se observa el H5 por presentar las mismas características de H4.

Permeabilidad del suelo

La capa arable presentó una permeabilidad moderadamente rápida a moderada correspondiente al H1 y H2, en los que se observó bastante porosidad estructural y espacio aéreo entre terrones por las perturbaciones realizadas durante la labranza y las labores culturales, originando una alta velocidad de infiltración como sostiene Thompson y Troech (1982). También favorecieron el desarrollo radicular, identificándose la mayor densidad radicular (75-90%) en estos horizontes.

Entre los 15 y 25 cm de profundidad se tienen los horizontes H3 y H4 de permeabilidad moderada y moderadamente lenta. Entre estos se halló el pie de arado, alterando el normal movimiento del agua y velocidad de infiltración por la compactación que presenta. La presencia de horizontes de permeabilidad moderadamente lenta, a profundidades próximas a la superficie del suelo, se debieron al alto contenido de arcilla. Se observó en áreas localizadas plantas cloróticas, por la asfixia de las raíces por el excesivo contenido de agua en el suelo, siendo estas muy sensibles al anegamiento (Fertisuelos-FAO, 1994).

Finalmente, el horizonte arcilloso (H5) se caracteriza por la permeabilidad muy baja por el alto contenido de arcilla.

En el cuadro 3 se muestra que la aplicación anticipada del estiércol (ILU e ILP) dio lugar a una permeabilidad moderadamente rápida para el H, por el efecto granulador de la materia orgánica en la estructura del suelo y que de esta forma favorece una mejor infiltración del agua. La aplicación a la siembra (IS) no tuvo los mismos efectos ser localizada, es decir la permeabilidad de H1 fue moderada en un área poco influenciada por el estiércol. En el testigo también se encontró una permeabilidad moderada para el H1.

CUADRO 3. Conductividad hidráulica (k) y permeabilidad de los horizontes superiores del suelo por efecto de las épocas de incorporación de estiércol. Toralapa, 1995-96.

Tratamiento	Horizontes	Profundidad (cm)	K (cm. h ⁻¹)	Permeabilidad
ILU e ILP*	H1	8.0	10.87	Moderadamente rápida
	H2	18.0	4.87	Moderada
IS **	H1	8.0	3.34	Moderada
	H2	9.5	2.29	Moderada
Testigo ***	H1	9.0	6.10	Moderada
	H2	14.0	3.10	Moderada

* Distribución del estiércol al voleo (5 y 10 tn.ha⁻¹) e incorporado con la labranza del suelo.

** Aplicación localizada del estiércol (5 y 10 tn.ha⁻¹) al momento de la siembra.

*** Tratamiento adicional, sin la aplicación del estiércol.

Densidad aparente

Las mayores variaciones de densidad aparente se dan con las aplicaciones anticipadas del estiércol (ILU e ILP) en la capa arable (H1 y H2), disminuyendo de 1.5 a 1.22 g.cm⁻³ al final del ciclo de cultivo (valores similares para las dosis de estiércol). En cambio cuando la aplicación es localizada disminuye hasta 1.27 g.cm⁻³. El estiércol al formar agregados con las partículas del suelo, mejoró la estructura del suelo repercutiendo en un aumento de la porosidad, mayor disponibilidad del agua y nutrientes, favoreciendo el desarrollo radicular del cultivo.

Humedad del suelo

El contenido de agua en el suelo se encontró que está relacionado a las condiciones ambientales, tomando en cuenta principalmente la ocurrencia y distribución de las precipitaciones pluviales de la gestión 1995-96.

Las tendencias descritas de la dinámica del agua en el suelo (humedad gravimétrica en porcentaje) fueron influenciadas por el factor épocas de incorporación en la capa superficial (0-10 cm), no ocurriendo el mismo efecto con las dosis de estiércol bovino. Como se evidenció en el perfil cultural no se logró observar el estiércol bovino a profundidades mayores de los 10 cm por lo que no hubo efecto a profundidades de 10-20 y 20-30 cm.

a. Análisis de la humedad del suelo a tres profundidades. Se observó que a diferentes profundidades del suelo (0-10, 10-20 y 20-30 cm) existen diferencias estadísticas para el contenido de la humedad del suelo, tanto en un período seco (antes del cultivo) como en un período de lluvias (durante el

cultivo) (Cuadro 4). En el período seco a mayor profundidad del suelo (20-30 cm) existe mayor porcentaje de humedad con relación a las capas superficiales (0-10 y 10-20 cm), la misma tendencia se repite durante el cultivo cuando las precipitaciones comienzan a disminuir (marzo-abril). En el período de lluvias, las capas superficiales (0-10 y 10-20 cm) muestran mayor porcentaje de humedad que la capa profunda. Este comportamiento podría deberse a la presencia de una capa arcillosa, entre los 15 y 25 cm de profundidad aproximadamente, como se evidenció en los perfiles culturales, haciendo que la infiltración del agua sea lenta en el período de lluvias y de esta manera las capas superficiales se encuentren saturadas de agua por más tiempo.

En el período anterior al cultivo, se distingue el contenido de agua por debajo del PMP (9.5%) con la incorporación del estiércol durante la labranza del suelo en ILU, debiéndose al período seco y bajas precipitaciones (Cuadro 5).

b. Análisis de la humedad del suelo en la capa superficial por efecto de las épocas de incorporación. Durante el período del cultivo, se puede advertir que el agua es almacenada en mayor cantidad con la incorporación del estiércol en las ILU (15.8%) y ILP (13%) con relación a IS. La distribución del estiércol al voleo e incorporado con la labranza actuó como granulador de las partículas del suelo (agregados) lo que disminuyó la densidad aparente al final del ciclo de cultivo de 1.5 g.cm^{-3} a 1.22 g.cm^{-3} . Esto podría deberse al aumento de la porosidad del suelo y por ende el volumen del mismo, incrementando la capacidad de almacenamiento del agua en el suelo, por encontrarse íntimamente asociadas las partículas del suelo y la materia orgánica, incrementando su disponibilidad para las plantas (Orsag, 1989 y Caro, et al 1994).

c. Análisis de la humedad del suelo en la capa superficial por efecto de las dosis de estiércol. En general, en el período anterior al cultivo la tendencia de la humedad del suelo se describió por debajo del PMP (9.5%) para las dosis 5 y 10 tn.ha^{-1} de estiércol y el testigo, no encontrándose diferencias estadísticas para las mismas. La aplicación del riego a finales de agosto (76 mm a CC) influyó en las diferencias para las dosis de estiércol frente al testigo en la evaluación a mediados del mes de octubre.

Se obtuvo una mayor conservación del agua con la aplicación del estiércol indistintamente de las dosis 5 y 10 tn.ha^{-1} , con 8.96 y 8.11 mm de agua respectivamente, mientras que en el testigo se obtuvo 6.0 mm. Estos resultados representan una diferencia de 29,340 y 20,920 litros de agua por hectárea con 5 y 10 tn.ha^{-1} de estiércol respectivamente, en relación al testigo (Cuadro 5).

Se logra conservar la humedad del suelo por más tiempo en las parcelas con aplicación de estiércol por las propiedades coloidales que posee la materia orgánica (Orsag, 1988) respecto al testigo, el cual va perdiendo humedad por evaporación más rápidamente que las parcelas con estiércol, estos mismos resultados fueron encontrados por Jurado y Bustamante (s/f) con estiércol bovino.

En cambio durante el cultivo las precipitaciones pudieron encubrir el efecto del estiércol bovino, determinando el contenido de humedad de forma similar para las dosis y el testigo.

Rendimiento

El rendimiento del cultivo de papa mostró diferencias estadísticas para los factores estudiados. El cultivo de papa respondió favorablemente a la aplicación localizada del estiércol al momento de la siembra (IS) en el cual se encontró un rendimiento elevado de 28.2 tn.ha^{-1} en comparación con lo encontrado a la aplicación en las últimas (ILU) y primeras lluvias (ILP) con rendimientos de 22.4 y 20.7 tn.ha^{-1} respectivamente. Este hecho se debe a la alta disponibilidad de los nutrientes por los coloides húmicos que presenta, además de suplementar nutrientes también hace más disponibles otros elementos del suelo (Stewart, 1982 en Morales, 1989) aún considerando que la concentración en nutrientes es baja, según resultados del análisis químico.

En cuanto a las dosis, el testigo reportó los rendimientos más bajos (16.7 tn.ha^{-1}) en comparación a las dosis 5 y 10 tn.ha^{-1} con rendimientos de 22.9 y 24.6 tn.ha^{-1} respectivamente, evidenciándose un aumento en el rendimiento a medida que se incrementa el contenido de materia orgánica (Figura 3).

Se puede inferir que la materia orgánica adsorbe los nutrientes aplicados al suelo en forma mineral (fertilización de fondo), reduciendo las pérdidas por lixiviación y evaporación, haciendo más disponible para las plantas en las etapas de mayor requerimiento, siendo mejor su efecto cuando se aplica en forma localizada.

CUADRO 4. Contenido de la humedad del suelo en porcentaje a tres profundidades. Toralapa, 1995-96.

Lectura	Período de Estudio (días)		Humedad Gravimétrica (%)		
			0-10 cm	10-20 cm	20-30 cm
		0			
6 May 95	Anterior al cultivo	6	5.20 A	6.60 A	6.50 A
28 Jun 95		59	3.95 A	4.08 A	4.37 A
2 Ago 95		94	2.26 C	4.09 B	5.81 A
24 Ago 95		116	2.47 B	4.66 A	4.90 A
29 Ago 95		121	20.00 A	20.00 A	20.00 A
20 Sep 95		143	11.45 A	11.43 A	11.36 A
6 Oct 95		160	7.04 B	8.78 A	8.67 A
17 Oct 95		171	6.15 B	7.79 A	7.84 A
6 Nov 95	Durante el cultivo	190	6.73 A	7.42 A	7.26 A
21 Nov 95		205	5.06 C	6.22 B	6.89 A
29 Nov 95		213	11.00 A	11.03 A	11.40 B
19 Dic 95		233	11.08 A	12.74 A	12.25 B
3 Ene 96		248	22.05 A	20.88 B	18.56 C
31 Ene 96		276	26.77 A	24.92 B	21.54 C
19 Feb 96		295	23.03 A	20.31 B	17.37 C
14 Mar 96		319	12.29 C	14.43 A	13.40 B
2 Abr 96	338	8.68 C	10.63 B	11.16 A	
24 Abr 96	360	3.52 A	3.22 A	3.38 A	

Promedios con distintas letras en cada fila, son diferentes estadísticamente según Duncan al 5 %.

CUADRO 5. Contenido de la humedad del suelo en la capa superficial por efecto de las épocas de incorporación del estiércol. Toralapa, 1995-96.

Lectura	Período de estudio (días)		Humedad Gravimétrica (%)		
			ILU*	ILP*	IS**
		0			
6 May 95	Anterior al cultivo	6	5.2		
28 Jun 95		59	4.10		
2 Ago 95		94	2.55		
24 Ago 95		116	2.75		
29 Ago 95		121	20.00		
20 Sep 95		143	11.60		
6 Oct 95		160	7.13		
17 Oct 95		171	6.99		
6 Nov 95	Durante el cultivo	190	6.72 A	6.15 A	
21 Nov 95		205	6.04 A	4.45 B	4.68 B
29 Nov 95		213	11.24 A	10.70 A	11.06 A
19 Dic 95		233	9.64 A	10.77 A	9.82 A
3 Ene 96		248	22.00 A	22.51 A	21.64 A
31 Ene 96		276	28.17 A	27.03 A	25.09 B
19 Feb 96		295	23.47 A	23.27 A	22.34 A
14 Mar 96		319	12.25 AB	13.59 A	11.02 B
2 Abr 96	338	9.34 A	9.22 A	7.47 B	
24 Abr 96	360	3.69 A	3.75 A	3.11 B	

Valores con distintas letras en columnas, son diferentes estadísticamente según Duncan al 5 %.

* Da = 1.22 g.cm⁻³ (Últimas lluvias, ILU y primeras lluvias, ILP)

** Da = 1.27 g.cm⁻³ (Siembra, IS)

CUADRO 6. Contenido de la humedad del suelo en la capa superficial por efecto de las dosis de estiércol. Toralapa, 1995 -96.

Lectura	Periodo de estudio (Días)		Humedad Gravimétrica (%)		
			0 (tn.ha ⁻¹)**	5 (tn. ha ⁻¹)*	10 (tn. ha ⁻¹)*
		0			
6 May 95	Anterior al cultivo	6	5.2	5.2	5.2
28 Jun 95		59	3.61 A	4.08 A	4.12 A
2 Ago 95		94	1.66 A	2.81 A	2.3 A
24 Ago 95		116	1.89 A	2.78 A	2.72 A
29 Ago 95		121	20.00 A	20.00 A	20.00 A
20 Sep 95		143	11.17 A	11.51 A	11.68 A
6 Oct 95		160	6.92 A	7.37 A	6.89 A
17 Oct 95		171	4.46 B	7.34 A	6.65 A
6 Nov 95	Durante el cultivo	190	5.68 A	6.69 A	6.18 A
21 Nov 95		205	4.32 A	5.19 A	4.92 A
29 Nov 95		213	10.17 A	10.73 A	11.27 A
19 Dic 95		233	8.98 A	10.41 A	9.75 A
3 Ene 96		248	21.85 A	22.05 A	22.06 A
31 Ene 96		276	26.54 A	26.78 A	26.75 A
19 Feb 96		295	22.80 A	23.17 A	22.89 A
14 Mar 96		319	11.68 A	12.71 A	11.86 A
2 Abr 96		338	8.74 A	9.04 A	8.32 A
24 Abr 96		360	3.71 A	3.39 A	3.64 A

Valores con distintas letras en columnas, son diferentes estadísticamente según Duncan al 5%. * Da = 1.22 g.cm⁻³; ** Da = 1.35 g. cm⁻³

Análisis económico

En la figura 4, se puede observar algunos tratamientos que no recuperaron su costo de inversión (1, 2, 3 y 4) y los restantes tratamientos (5, 6 y 7) que recuperaron los costos de inversión.

Con la aplicación localizada del estiércol durante la siembra y el testigo (parcela sin estiércol) se recuperaron los costos de inversión y además aportó beneficios, siendo la tasa de retorno marginal (TRM) de 15. 86% y 10.12% para 5 y 10 tn.ha⁻¹ respectivamente, es decir por cada boliviano invertido se recupero 15.86 Bs. y 10.12 Bs.

Desde el punto de vista de la obtención de beneficios, la aplicación de estiércol anticipada a la siembra (ILU e ILP) presenta los más altos costos de inversión, por el mayor número de jornales para su aplicación en relación a la aplicación durante la siembra, que es la más rentable. Este manejo confirma la que la práctica del agricultor de la zona es apropiada.

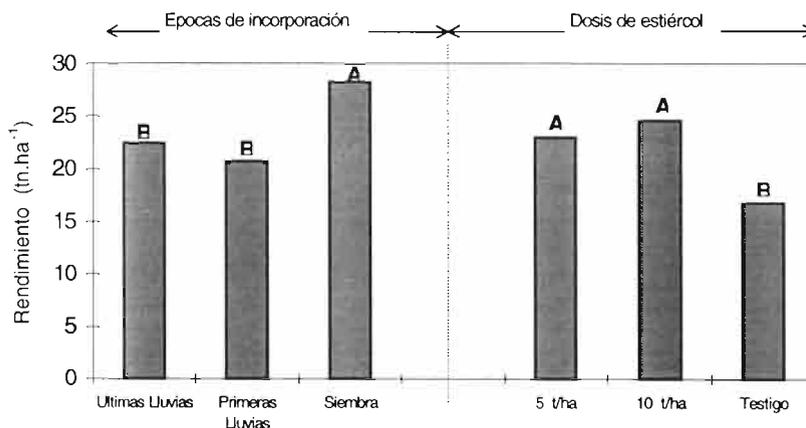


FIGURA 3. Rendimiento del cultivo de papa variedad Waych'a por efecto de las épocas de incorporación y dosis de estiércol bovino. Toralapa, 1995-96.

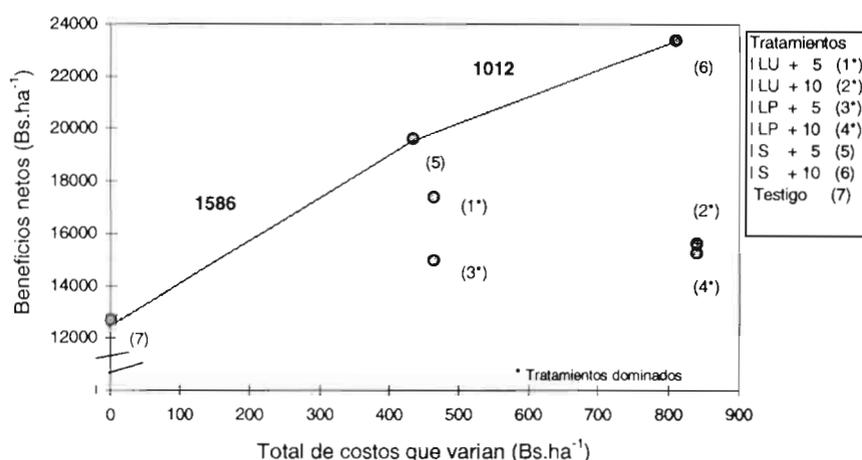


FIGURA 4. Curva de beneficios netos, análisis de dominancia y tasa de retorno marginal (TRM), por la aplicación de dosis de estiércol en diferentes épocas para el cultivo de papa variedad Waych'a. Toralapa, 1995-96.

CONCLUSIONES

- Las precipitaciones pluviales tuvieron una distribución irregular y con excesos en los meses de diciembre a marzo, influyendo directamente en la dinámica del agua en el suelo y afectando el crecimiento y desarrollo del cultivo de papa.
- En períodos secos o de bajas precipitaciones se almacena mayor porcentaje de humedad a mayor profundidad del suelo y en el período de lluvias existe mayor humedad en las capas superficiales.
- Con la incorporación del estiércol en las últimas y primeras lluvias (ILU e ILP) se tuvo mayor almacenamiento del agua en la capa superficial del suelo (durante el cultivo) respecto a la aplicación en la siembra (IS).
- Independientemente de la dosis, el estiércol influye positivamente en la conservación de la humedad del suelo en el período seco. No existiendo efecto durante el cultivo debido al enmascaramiento por las excesivas precipitaciones.
- Con la descripción del perfil cultural, se evidenció la distribución del estiércol en los primeros 10 cm de profundidad, aproximadamente, correspondiente al H1 y parte de H2.
- La permeabilidad del suelo disminuye a medida que los horizontes son más profundos.
- La densidad aparente disminuye con la aplicación de estiércol de 1.5 a 1.23 (g.cm^{-3}) al final del ciclo de cultivo, de similar manera que en el testigo de 1.5 a 1.35 (g.cm^{-3}).
- El cultivo de papa responde favorablemente a la aplicación localizada del estiércol (IS), obteniendo un rendimiento de 28 tn.ha^{-1} , en relación a las incorporaciones anticipadas en las últimas (ILU) y primeras lluvias (ILP) con 22 y 21 tn.ha^{-1} respectivamente. La aplicación del estiércol, indistintamente de la dosis, es conveniente ya que incrementa los rendimientos en comparación a las parcelas sin estiércol.
- El análisis de presupuesto parcial reportó los mejores beneficios con la aplicación localizada del estiércol (IS) con 23,405 Bs. para 10 tn.ha^{-1} y 19,610 Bs. para 5 tn.ha^{-1} . El testigo también presentó beneficios netos aceptables por sus bajos costos en comparación a los demás tratamientos.

BIBLIOGRAFIA

Botello, R., 1996. Efecto residual del encalado y la fertilización mineral en cultivos de rotación (papa-cebada-haba). Cochabamba, Bolivia, Tesis de grado Universidad Mayor de San Simón, Facultad de Ciencias Agrícolas y Pecuarias "Martín Cárdenas", 105pp.

Caro, V., et al, 1994. Materia Orgánica En Departamento de Suelos y Fertilizantes. Lima, Perú, Universidad Nacional Agraria La Molina, pp 53-75.

CIDETI, 1994. Diagnóstico socioeconómico de la microrregión Tiraque. Cochabamba, Bolivia, Volumen 2-Economía, pp 8-12.

Condori, B., 1996. Análisis agroeconómico del efecto residual de fertilización mineral y cal en el cultivo de haba (*Vicia faba* L.). La Paz, Bolivia, Tesis de grado, Universidad Mayor de San Andrés, Facultad de Agronomía, 110 pp.

Fertisuelos-FAO, 1994. Guía metodológica de la descripción rápida de los perfiles culturales para la identificación de las limitaciones al arraigamiento y el establecimiento de los balances hídricos. Folleto técnico No 3/94, 16pp. pp 21-22 y 38-39.

Herve, D et al., 1996. Guía metódica del perfil cultural. La Paz, Bolivia, IBTA – ORSTOM, Informe N° 54, 27 pp.

INE. (1995). División de estadísticas agropecuarias- Encuesta nacional En Bolivia Anuario Estadístico del Sector Rural 1995-1996. Ediciones Centro de Información para el Desarrollo-CID, pp 71.

Jurado, R. y Bustamante, O., s/f. Aplicación de estiércol vacuno en el cultivo de banano (*Musa cavendish*), en Uraba, Antioquía, 15 pp.

Morales, V., 1989. El corral itinerante, un sistema tradicional de manejo de estiércol y abonamiento de suelos. Cochabamba, Bolivia, Tesis de grado, Universidad Mayor de San Simón, Facultad de Ciencias Agrícolas y Pecuarias "Martín Cárdenas", pp 97.

Orsag, V., 1988. Las propiedades físicas del suelo, su papel en la fertilidad y las causas de su degradación. La Paz, Bolivia, Seminario Conservación del Medio Ambiente y Desarrollo en Bolivia, pp 5-20.

Orsag, V. , 1989. Efecto de un manejo agrícola alternativo de un aridisol del Altiplano central de Bolivia sobre el almacenamiento de agua en el suelo. Ecología en Bolivia, No. 13, pp. 23-32.

Parra, V., 1998. Epocas de incorporación y dosis de estiércol sobre la productividad de la papa (*S. tuberosum* ssp. Andígena) en zonas de altura de Cochabamba. La Paz, Bolivia, Tesis de grado, Universidad Mayor de San Andrés, Facultad de Agronomía, 118 pp.

PROINPA, 1996. Efecto de las enmiendas orgánicas y la fertilización mineral en un sistema de rotación de cultivos (papa-cebada-haba-papa). En IV Reunión Nacional de la Papa. Cochabamba, Bolivia. IBTA-PROINPA, UPS/SEPA, PROSEMPA, pp 129-130.

Thompson, L. y Troech, F.,1982. Los suelos y su fertilidad. Cuarta edición. Barcelona España, Ediciones Reverté S.A., pp 90-125.

Villarroel, J., 1988. Manual práctico para la interpretación de análisis de suelos en Cochabamba. Cochabamba, Bolivia, Edición AGRUCO, F.C.A.P.-U.M.S.S., 33 pp.

Diagnóstico y necesidades de fertilización de los principales cultivos de grano de la región pampeana argentina

Fernando O. García¹

1 INPOFOS/PPI/PPIC Cono Sur. Av. Santa Fe 910. (1641) Acassuso, Argentina. email fgarcia@ppi-ppic.org

RESUMEN

La región pampeana argentina comprende un área de aproximadamente 34 millones de hectáreas de tierras agrícolas, de la cual, más de un tercio se dedica al cultivo de granos principalmente trigo, soja, maíz y girasol. Si bien el consumo de fertilizantes aumentó considerablemente en los últimos años, la reposición de los nutrientes extraídos por las cosechas es baja para nitrógeno y fósforo y prácticamente nula para los otros nutrientes esenciales. La deficiencia de nitrógeno se ha generalizado a partir de la intensificación agrícola y los rendimientos crecientes de los cultivos. Los sistemas de diagnóstico de la fertilización nitrogenada calibrados incluyen balances de nitrógeno simplificados, análisis de suelo, análisis de planta y modelos de simulación. La deficiencia de fósforo se ha generalizado, ya sea por la baja disponibilidad original o como resultado de la extracción continua por las cosechas. Para determinar las necesidades de fertilización fosfatada se calibraron sistemas de diagnóstico a partir del análisis de suelos y el rendimiento esperado. Investigaciones recientes reportan deficiencias de azufre y boro y respuestas significativas a la aplicación de estos nutrientes. Investigaciones actuales y futuras deberán i) mejorar el diagnóstico y manejo de la fertilización nitrogenada y fosfatada, ii) calibrar y validar sistemas de diagnóstico y manejo para nutrientes como azufre y boro, iii) explorar deficiencias de otros nutrientes y iv) estudiar los efectos de fertilizaciones balanceadas sobre los rendimientos de los cultivos y la sustentabilidad de los sistemas de producción.

INTRODUCCION

La región pampeana argentina, originalmente un pastizal de clima templado subhúmedo, comprende un área de aproximadamente 34 millones de hectáreas de tierras agrícolas, de la cual más de un tercio se dedica al cultivo de granos (Hall et al., 1992). El área se puede dividir en cuatro zonas: ondulada o norte, arenosa u oeste, sur y mesopotámica o noreste.

La temperatura media anual es de 17-18°C en el norte y de 14°C en el sur. La precipitación anual varía desde 500-600 mm en el sudoeste a más de 1000 mm en el noreste, concentrándose principalmente en los meses de diciembre a marzo, siendo los meses de julio y agosto los más secos.

Los suelos cultivados se clasifican como molisoles de regímenes údico y térmico. Los suelos más representativos en una transecta noreste-sudoeste son los argiudoles vérticos, argiudoles típicos, hapludoles típicos y hapludoles enticos de acuerdo al gradiente en precipitaciones y en textura del material originario (loess). La zona sur presenta suelos argiudoles típicos asociados con paleudoles petrocálcicos, suelos desarrollados sobre capas calcáreas endurecidas (tosca) con limitantes de profundidad para el desarrollo de raíces.

El consumo de fertilizantes en Argentina se ha incrementado notablemente en los últimos 6 años, pasando de 325,000 toneladas en 1991 a 1'550,000 toneladas en 1997 (SAGPyA). Este incremento ha sido en gran medida responsable del aumento observado en la producción de granos, 41 a 62 millones de toneladas de 1991 a 1997 (SAGPyA). Sin embargo, el aumento en el consumo de fertilizantes está lejos de alcanzar niveles de reposición de nutrientes adecuados para la región pampeana, principal zona de producción de cereales y oleaginosas. Las dosis utilizadas son, en general, bajas y no se aplican otros nutrientes más que nitrógeno (N) y fósforo (P). Estimaciones recientes indican niveles de reposición para los cuatro cultivos principales (trigo, maíz, soja y girasol) del orden del 23% para N y 43% para P siendo prácticamente nulos para potasio y otros nutrientes esenciales. La baja reposición de nutrientes ha llevado a una disminución considerable de la fertilidad nativa de los suelos con lo cual, la fertilización se convierte en una práctica indispensable para alcanzar rendimientos rentables.

En los últimos años, el sistema de siembra directa (SD) ha experimentado un marcado crecimiento alcanzando aproximadamente 5 millones de hectáreas (Asociación Argentina de Productores en Siembra Directa). Las ventajas del sistema incluyen tanto aspectos económicos como de manejo de suelos y cultivos. Los cambios que introduce la siembra directa en el ambiente biológico, físico y químico del suelo y, por ende, en la dinámica de nutrientes, ha resultado en la necesidad de investigar sus efectos en los sistemas de producción pampeanos.

El objetivo de este trabajo es discutir algunos aspectos relacionados con el diagnóstico y necesidades de fertilización en los principales cultivos de grano de la región pampeana argentina. En general, N y P son los nutrientes más comúnmente deficientes y, por este motivo, han sido los más estudiados, en especial para trigo y maíz.

NITROGENO

El nitrógeno es considerado el nutriente más importante para la producción vegetal, debido a las cantidades requeridas por los cultivos y a la frecuencia con que se observan deficiencias en suelos agrícolas, es así que la agricultura de altos rendimientos depende del uso de fertilizantes nitrogenados. La figura 1 muestra un esquema del ciclo terrestre del nitrógeno con las distintas fracciones y transformaciones que las relacionan.

Las condiciones económicas del sector agropecuario y la necesidad de preservar el ambiente, básicamente los recursos suelo, agua y atmósfera, requieren de un uso más eficiente del N y otros nutrientes. En la región pampeana argentina, la elevada fertilidad "nativa" de los suelos y las características particulares de la explotación agropecuaria permitieron mantener rendimientos estables hasta la década del '70. Sin embargo, el mayor uso agrícola de los suelos y los rendimientos crecientes de los cultivos en los últimos 20 años, han resultado en una mayor extracción de nutrientes, particularmente N.

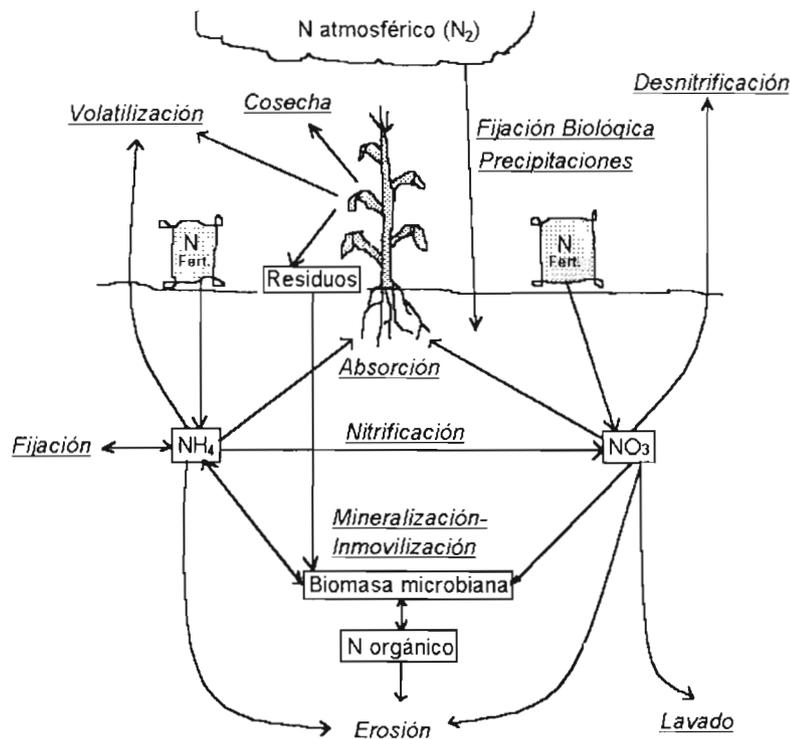


FIGURA 1. Representación del ciclo del nitrógeno en ecosistemas agrícolas.

La importancia del N en la producción agrícola genera numerosas investigaciones y experimentaciones tanto a nivel internacional como nacional en la búsqueda de métodos de diagnóstico para la fertilización. En general, los métodos de diagnóstico pretenden predecir la

probabilidad de respuesta a la fertilización a partir de la disponibilidad de N en suelo y/o en planta y el requerimiento previsto para un determinado nivel de rendimiento.

Trigo

En la región pampeana argentina se han desarrollado distintos métodos de diagnóstico para determinar las necesidades de fertilización nitrogenada de trigo.

Balances de N simplificados

A escala regional y/o zonal que incluyen la evaluación de niveles de N disponible en pre-siembra, el manejo previo del lote, las precipitaciones y el rendimiento objetivo (Sbaraglia, 1988; Loewy, 1990; Berardo, 1994).

Evaluación de N disponible en pre-siembra

En la zona sudeste se determinaron umbrales de 110-130 kg.ha⁻¹ de N disponible (N-NO₃⁻ del suelo + N fertilizante) a la siembra para alcanzar rendimientos de 4,000-5,000 kg.ha⁻¹ (González Montaner et al, 1991; García et al, 1998) (Figura 2). Para la zona sur de Santa Fe, se ha reportado un umbral de 70 kg.ha⁻¹ de N disponible a la siembra (González Montaner et al., 1997a).

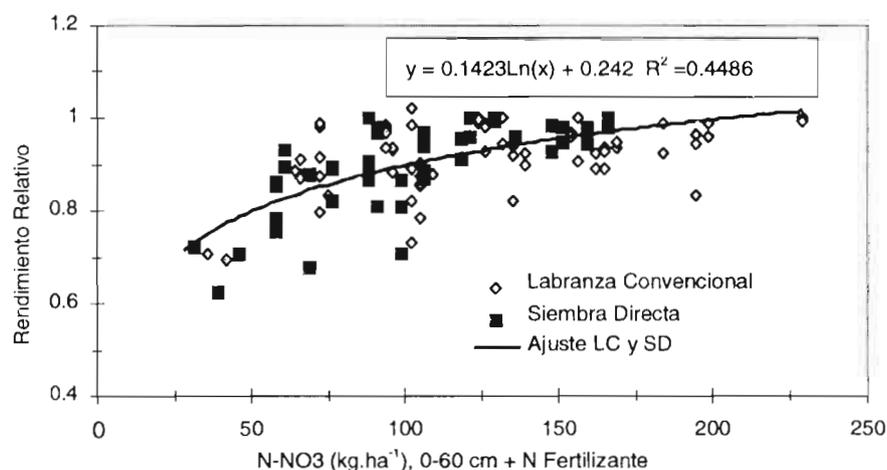


FIGURA 2. Rendimientos relativos de trigo con respecto al máximo en función de la disponibilidad de N (N-NO₃⁻ del suelo + N del fertilizante) a la siembra (n = 116) en 10 ensayos de fertilización nitrogenada realizados en 1995 y 1996 en la zona serrana del sudeste de Buenos Aires para cultivos bajo siembra directa y convencional (García et al, 1998).

Análisis de planta

Presentan la ventaja, sobre los análisis de suelo, de integrar los efectos de factores meteorológicos y edáficos sobre el estado nutricional del cultivo. González Montaner et al (1987) reportan un umbral crítico de 1,200 mg NO₃⁻.l⁻¹ en "jugo" de tallos al macollaje del cultivo. Vigliezzi et al. (1996) encontraron umbrales de 4.47 g N-NO₃⁻ kg⁻¹ y 1.25 g N-NO₃⁻ kg⁻¹ en seudotallos de trigo (base muestra seca) para los estados de "doble arruga" y espiguilla terminal, respectivamente. Estas diferencias indican la importancia de la determinación del estado fenológico del cultivo para la utilización de este análisis.

Modelos de simulación

Permiten integrar los factores de suelo, clima y manejo que afectan la dinámica de N y el crecimiento y rendimiento del cultivo. González Montaner et al. (1997b) desarrollaron un modelo basado en el balance de N durante la estación de crecimiento del cultivo, con el cual se pueden predecir las necesidades de fertilización. Este modelo ha sido calibrado y validado bajo las condiciones del sudeste de Buenos Aires, para trigos de ciclo corto, en lotes con más de 10 años de agricultura, bajo labranza convencional y con antecesor girasol. Para el norte de Buenos Aires y sur de Santa Fe, la Facultad de Agronomía (UBA) y los grupos CREA calibraron un modelo de fertilización nitrogenada basado en el modelo de simulación de crecimiento y rendimiento CERES Trigo (Ritchie et al, 1988; Maddoni, 1997). El modelo de fertilización incluye alternativas de manejo, variables edáficas y estadísticas climatológicas zonales.

Maíz

Los métodos de diagnósticos para el cultivo de maíz incluyen el análisis de suelo en pre-siembra y al estado de 5-6 hojas de desarrollo del cultivo y el análisis de planta en estadios tempranos y avanzados de desarrollo del cultivo.

Disponibilidad de N-NO_3^- en pre-siembra

Se utiliza en modelos predictivos en algunas zonas de EE.UU. (Bundy et al., 1992) y de la región pampeana (Senigaglia et al., 1984; Barberis et al., 1985; Gambaudo y Fontanetto, 1996). Sin embargo, esta determinación no parece ser adecuada para la zona del sudeste bonaerense (García y Fabrizio, com. pers.).

Análisis de N-NO_3^- a 0-30 cm de profundidad al estado de 5-6 hojas desarrolladas (pre-escardillo)

Fue inicialmente desarrollado por Magdoff et al (1984) en el noreste de EE.UU., quienes reportaron niveles críticos de 18 a 25 ppm de N-NO_3^- por debajo de los cuales se observa respuesta a la fertilización. En Argentina, Melchiori et al. (1996) encontraron niveles críticos de 17.4 ppm de N-NO_3^- en pre-escardillada a la profundidad de 0-40 cm para suelos de Entre Ríos. En el sudeste bonaerense, los resultados obtenidos muestran que, en general, se pueden esperar respuestas a la aplicación de N si el nivel de N-NO_3^- es menor de 15-20 ppm, siendo el límite inferior para cultivos en secano y el superior para cultivos bajo riego (Figura 3) (García et al., 1997). Las respuestas promedio observadas son de $850 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ con aplicaciones de $100 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ de urea o cantidades de N equivalentes. En dos ensayos de alta producción bajo siembra directa con riego, Sainz Rozas et al (1996) encontraron respuestas significativas a la fertilización nitrogenada hasta 25 ppm de N-NO_3^- a 0-30 cm.

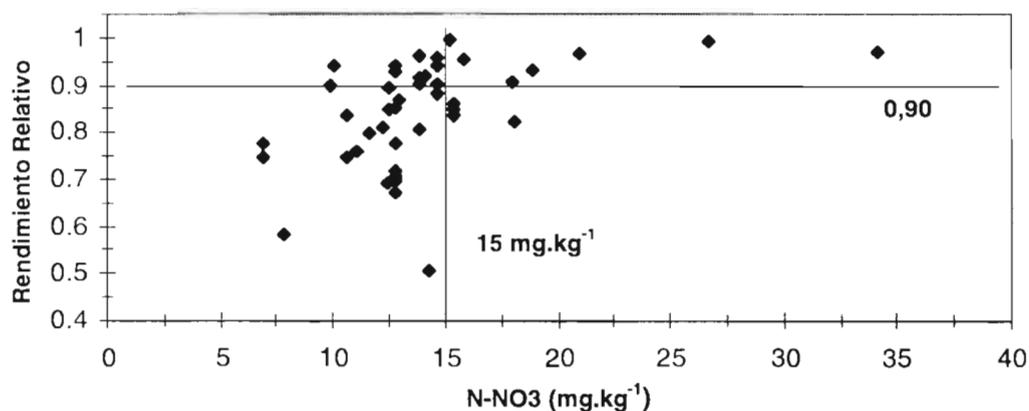


FIGURA 3. Rendimiento relativo de maíz en función del nivel de N-NO_3^- a 0-30 cm de profundidad al estado de 5-6 hojas (NPE). Ensayos Unidad Integrada EEA INTA-FCA Balcarce 1993-1996 (n=42). La línea vertical indica $\text{N-NO}_3^- = 15 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ y la horizontal Rendimiento Relativo = 0,90 (García et al., 1997).

Concentración de N-NO_3^- en savia

La concentración de nitratos en savia o "jugo" de base de tallos al estado de 4-6 hojas se ha correlacionado significativamente con el rendimiento, aunque los niveles críticos reportados por debajo de los cuales se observa respuesta a la fertilización nitrogenada variaron de 900 a $4,500 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$ (González Montaner y Di Napoli, 1997; Herfurt et al., 1997).

Medición del índice de verdor de las hojas

Utilizando el medidor del índice de verdor Minolta SPAD 502, se pueden separar con buena precisión los sitios con y sin respuesta a la fertilización nitrogenada. El método requiere de la medición simultánea del cultivo con posible deficiencia y una parcela sin deficiencias de N. Si el índice del cultivo es menor del 90% del índice de la parcela sin deficiencias, entonces la probabilidad de respuesta es alta (Schepers et al., 1992). En determinaciones realizadas en el sudeste de Buenos Aires, Sainz Rozas y Echeverría (1997) encontraron que la sensibilidad de las mediciones no es lo suficientemente elevada al estado 5-6 hojas desarrolladas para diferenciar niveles contrastantes de disponibilidad de N. En estados más avanzados del ciclo (15 días pre-floración, floración y 15 días

post-floración), los valores del índice de suficiencia de N oscilaron entre 0.97-0.98 para lograr el 95% del rendimiento máximo del cultivo.

Análisis de N-NO₃⁻ en la base de tallos a madurez fisiológica

Se basa en la tendencia de acumulación de NO₃⁻ en la base de los tallos al final de la estación de crecimiento, cuando el abastecimiento de N es suficiente. Herfurt et al. (1997) reportaron un valor de 400 ppm para el umbral de suficiencia al estado R6, próximo al rango reportado por autores norteamericanos.

Girasol

La acumulación de N-nitratos a los 30-50 cm de profundidad en pre-siembra es un indicador aceptable de la disponibilidad de N para el cultivo encontrándose respuestas significativas a la fertilización con acumulaciones inferiores a 50 kg.ha⁻¹ de N (Díaz Zorita, 1996).

Entre los análisis de planta se destacan la concentración de nitratos en el jugo de los pecíolos de la hoja más joven y el índice de nutrición nitrogenada o INN (relación entre el porcentaje de N total en planta y el N crítico estimado según la biomasa de cada planta). Díaz Zorita y Duarte (1998a) encontraron umbrales de 3,750-4,500 ppm de nitratos en pecíolos al estado de 4-6 hojas y de 0.85-0.90 de INN por debajo de los cuales se observaron respuestas a la fertilización nitrogenada del 10% en rendimiento de grano.

FOSFORO

El fósforo, después del N, es el nutriente que más frecuentemente afecta la producción de cultivos. El contenido de P total en el suelo esta definido por el material madre y, en general, se ha observado un marcado efecto del clima, siendo las zonas más húmedas, las más deficientes en este nutriente (Tisdale et al., 1993).

Del P total del suelo, sólo las fracciones soluble y lábiles (inorgánica y orgánica), están disponibles para las plantas durante el ciclo del cultivo. Las fracciones de P indicadas en la figura 4 mantienen un equilibrio dinámico y complejo entre ellas (Tisdale et al., 1993). Cuando un fertilizante fosfatado soluble es agregado al suelo, se produce un aumento de P soluble pero, rápidamente, las fracciones orgánicas e inorgánicas amortiguan este aumento a través de procesos de fijación, inmovilización y adsorción. Cuando la planta absorbe P disminuyendo la concentración de P soluble, el P inorgánico y/o orgánico es desorbido, liberado o mineralizado para reabastecer la solución del suelo. Los extractantes utilizados en la determinación de P disponible, como por ejemplo Bray 1, simulan este proceso disminuyendo el P soluble por precipitación y evaluando la cantidad de P abastecido a partir de las fracciones más lábiles.

En la región pampeana argentina, se han determinado áreas originalmente deficientes en P disponible como el sudeste de Buenos Aires y la provincia de Entre Ríos (Darwich, 1983; Barreca y Tasi, 1984). En los últimos años, se ha observado una disminución importante en la disponibilidad de P en áreas originalmente bien provistas del norte y oeste de Buenos Aires, sur de Santa Fe y este de La Pampa. Esta disminución de los niveles de P disponible se adjudica a la mayor "agriculturización" que resultó en mayores extracciones del nutriente.

La respuesta de los cultivos a la fertilización fosfatada depende del nivel de P disponible en suelo, pero también es afectada por factores del suelo, del cultivo y de manejo del fertilizante (Munson y Murphy, 1986). Entre los factores del suelo se destacan la textura, la temperatura, el contenido de materia orgánica y el pH; mientras que entre los del cultivo deben mencionarse los requerimientos y el nivel de rendimiento.

Trigo

El diagnóstico de la fertilización fosfatada se basa en el análisis de muestras de suelo del horizonte superficial utilizando un extractante adaptado a los suelos del área en evaluación. En la región pampeana, en general, el extractante utilizado es Bray 1 (Bray y Kurtz, 1945). Utilizando este método de extracción se ha ajustado la calibración correspondiente para diagnosticar la fertilización fosfatada de trigo (Figura 5) (Senigagliesi et al., 1983; Ron y Loewy, 1990; Berardo, 1994; Grattone et al, 1998). El uso de índices de disponibilidad como Bray 1, presenta algunos inconvenientes en cuanto a su exactitud para el diagnóstico. Los principales problemas incluyen: diferencias en la capacidad de fijación de P entre suelos por variaciones en el contenido de arcilla, aporte de P a partir de la mineralización de la fracción orgánica del suelo, diferencias en cuanto al criterio de recomendación entre los laboratorios y variabilidad de las condiciones ambientales que afectan a los factores biológicos de suelo y cultivo (Berardo, 1994; Cox, 1994).

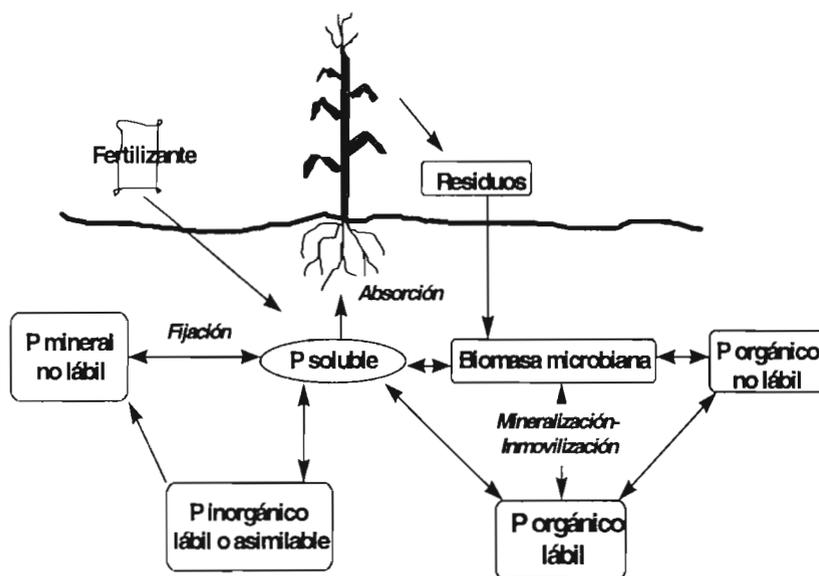


FIGURA 4. Ciclo del fósforo en ecosistemas agrícolas (Chauhan et al, 1981).

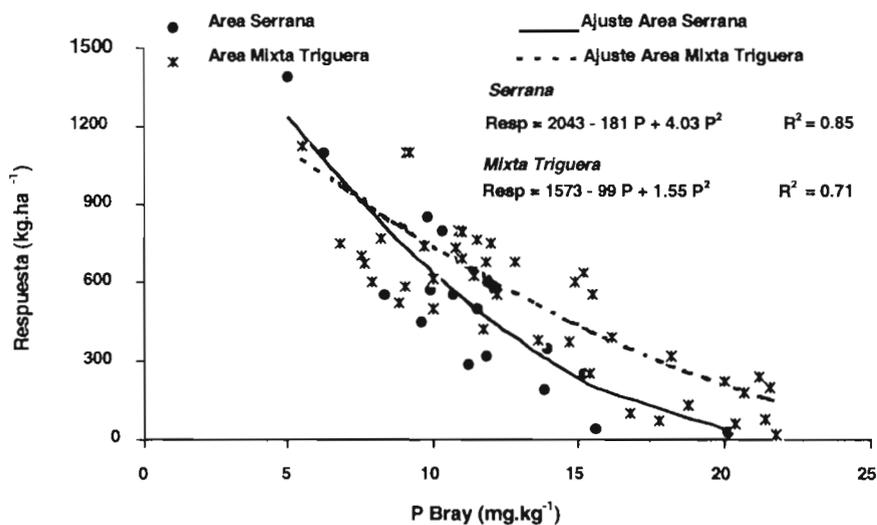


FIGURA 5. Respuesta en rendimiento de trigo en función del nivel de P Bray en las áreas Serrana y Mixta Triguera del sudeste de Buenos Aires (Berardo, 1994).

Las investigaciones realizadas en los últimos años en las áreas con mayor disponibilidad hídrica han permitido establecer un valor crítico de 15 a 22 ppm de P extractable según el método de Bray (Berardo, 1994; Grattone et al., 1998). En el sudeste bonaerense, el aporte de P desde la fracción orgánica en los suelos de alto contenido de materia orgánica de la zona serrana (MO>6%) resulta en niveles críticos algo inferiores al resto del área (Figura 5). La evaluación del aporte de P a partir de la fracción orgánica requiere de investigaciones más detalladas. En el sudoeste bonaerense, los niveles críticos de P disponible se han establecido en 10-14 ppm de acuerdo a la textura del suelo y ciclo del cultivo de trigo (Ron y Loewy, 1990). El nivel crítico de P más bajo, en relación a las áreas más húmedas se debe al menor potencial de producción por la menor disponibilidad de agua (<700 mm anuales).

La dosis recomendada depende del nivel de P Bray, del rendimiento esperado, de la relación de precios grano/fertilizante y del criterio de recomendación del laboratorio y/o asesor. Respecto a este

último aspecto, debe tenerse en cuenta que existen dos criterios de recomendación: el de suficiencia y el de reconstrucción y mantenimiento. El criterio de suficiencia pretende satisfacer los requerimientos del cultivo a implantar, mientras que el de reconstrucción y mantenimiento también incluye aportes para mejorar el nivel de P disponible en el suelo. Echeverría y García (1998) propusieron las dosis de fertilización fosfatada indicadas en el Cuadro 1, según el nivel de P disponible (Bray 1) y el rendimiento esperado. Estas recomendaciones incluyen, en forma parcial, el criterio de reconstrucción para los niveles muy bajos de P disponible, y de mantenimiento para niveles de P disponible superiores a los 16 mg.kg⁻¹.

CUADRO 1. Recomendaciones de fertilización fosfatada para trigo según nivel de P Bray y rendimiento esperado (Echeverría y García, 1998).

Rendimiento tn.ha ⁻¹	Concentración de P disponible en el suelo (mg.kg ⁻¹)						
	Menos 5	5-7	7-9	9-11	11-13	13-16	16-20
	kg P ₂ O ₅ .ha ⁻¹						
2	45	34	30	25	21	17	
3	53	43	38	34	29	25	
4	62	51	47	42	38	33	23
5	70	59	55	51	46	42	31
6	78	68	63	59	55	50	39
7	87	76	72	67	63	59	48

Un aspecto importante para el manejo del P es la evaluación de la residualidad del nutriente aplicado como fertilizante. Estudios realizados en la zona sur indican una alta residualidad de P sobre suelos argiúdoles (Berardo, 1994) y haplúdoles (Ron y Loewy, 1987). Si bien el método de Bray detecta en forma bastante precisa los efectos residuales de aplicaciones anteriores, los estudios de residualidad de P deben ser ampliados a suelos de distintas texturas para poder incorporar este aporte al diagnóstico de la fertilización.

Maíz

Investigaciones conducidas durante la década del 80 encontraron relaciones significativas entre el nivel de P disponible a la siembra y la respuesta a la fertilización fosfatada en maíz. Senigagliesi et al (1984) y Darwich (1984) determinaron umbrales críticos de P Bray 1 de 10 ppm y 12 ppm, respectivamente, por debajo de los cuales, las respuestas a la fertilización eran significativas. Las respuestas obtenidas fueron de hasta 2,000 kg.ha⁻¹ para lotes con baja disponibilidad de P con aplicaciones de 100-120 kg.ha⁻¹ de fosfato diamónico. Estas respuestas se reducían a 500-600 kg.ha⁻¹ si ocurrían déficits hídricos en el período crítico pre-floración a floración.

Los cambios producidos en la tecnología del cultivo en los últimos años en cuanto a manejo del suelo, híbridos, fechas de siembra, densidad y manejo del agua, requieren de la actualización de los métodos de diagnóstico. Durante las campañas 1994/95, 1995/96 y 1996/97, se llevaron a cabo 11 ensayos de fertilización fosfatada en la región serrana del sudeste de la provincia de Buenos Aires: siete bajo secano y cuatro con riego suplementario. A pesar de la variabilidad en disponibilidad de agua entre las tres campañas, las respuestas se asociaron con el P disponible en pre-siembra (García et al, 1997). La Figura 6 muestra los rendimientos promedio para los ensayos agrupados de acuerdo al nivel de P disponible para los tratamientos testigo, con P (100-120 kg.ha⁻¹ de fosfato diamónico, FDA, o superfosfato triple, SFT), con N (200 kg.ha⁻¹ de urea) y con N y P (100-120 kg.ha⁻¹ de FDA más 200 kg.ha⁻¹ de urea). En los 8 ensayos con menos de 15 ppm de P disponible (P disponible promedio = 8 ppm), se observaron respuestas promedio de 790 kg.ha⁻¹ con respuestas significativas en 7 de los 8 ensayos. El grupo de tres ensayos con más de 15 ppm de P disponible (P disponible promedio = 30 ppm), mostró respuestas significativas en sólo uno de ellos.

En general, en suelos con niveles de P disponible menores de 15 ppm, fertilizaciones de 90-100 kg.ha⁻¹ de SFT o FDA resultan en respuestas promedio de 800 kg.ha⁻¹. En cultivos bajo riego se han observado respuestas significativas con niveles de P disponible de hasta 18-20 ppm. El Cuadro 2 muestra la recomendación de fertilización fosfatada para los suelos del área de acuerdo al nivel de P Bray y rendimiento esperado (Echeverría y García, 1998).

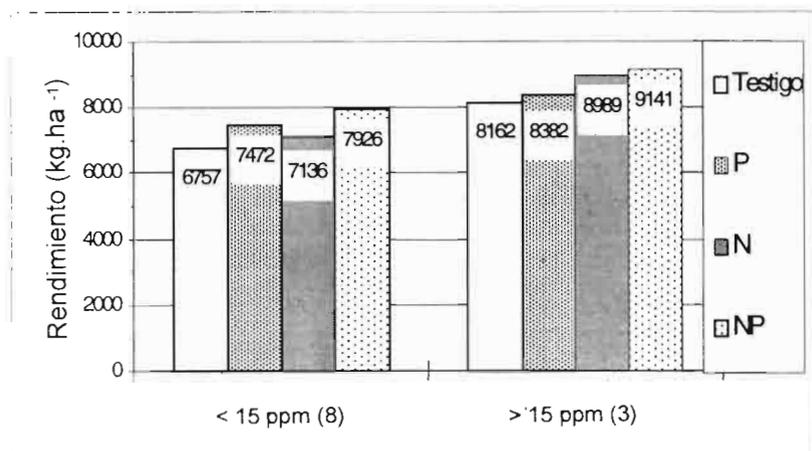


FIGURA 6. Rendimientos promedio de maíz en ocho ensayos con menos de 15 ppm de P disponible y en tres ensayos con más de 15 ppm de P disponible. Unidad Integrada EEA INTA - Facultad Ciencias Agrarias, Balcarce, 1994-96 (García et al, 1997).

En el norte de Buenos Aires, Melgar y Caamaño (1997) evaluaron la respuesta a la fertilización fosfatada en cinco sitios con niveles medios a altos de P disponible, encontrando respuestas significativas al agregado de P en tres sitios. Las respuestas promedio a la aplicación de 30 kg.ha⁻¹ de P₂O₅ fueron de 850 y 1,820 kg.ha⁻¹ para los tratamientos sin N y con 120 kg.ha⁻¹ de N, respectivamente. Con el agregado de 60 kg.ha⁻¹ de P₂O₅, las respuestas promedio fueron de 1,650 y 1,970 kg.ha⁻¹ para 0 y 120 kg.ha⁻¹ de N, respectivamente. Estos resultados demuestran un aspecto importante a tener en cuenta al decidir la fertilización del cultivo que es la de considerar los dos nutrientes en conjunto.

CUADRO 2. Recomendaciones de fertilización fosfatada para maíz según nivel de P Bray y rendimiento esperado (Echeverría y García, 1998).

Rendimiento tn.ha ⁻¹	Concentración de P disponible en el suelo (mg.kg ⁻¹)						
	Menos 5	5-7	7-9	9-11	11-13	13-16	16-20
	kg P ₂ O ₅ .ha ⁻¹						
5	59	48	43	39	35	30	
6	65	54	50	45	41	37	26
7	71	60	56	51	47	43	32
8	77	66	62	57	53	49	38
9	83	72	68	63	59	55	44
10	89	78	74	70	65	61	50
11	95	84	80	76	71	67	56
12	101	90	86	82	77	73	62
13	107	97	92	88	83	79	68
14	114	103	98	94	90	85	74

Girasol y Soya

En girasol, la aplicación de P presenta respuestas económicas con niveles de P disponible en presembría menores de 10-12 mg.kg⁻¹ (Díaz Zorita, 1996; Echeverría y García, 1998).

En soya, en la zona pampeana sur y la arenosa oeste se han observado respuestas significativas con niveles de disponibilidad de P Bray 1 menores de 10 mg.kg⁻¹ (Echeverría y García, 1998). En la zona ondulada norte, en suelos de textura más fina (argiudoles típicos y argiudoles vérticos), la respuesta a la aplicación de P es errática aun con niveles bajos de P disponible (Melgar et al., 1995; Scheiner et al., 1996). Sin dudas, el estudio de los factores que afectan la respuesta a P en soja bajo estas condiciones constituye una prioridad inmediata de investigación.

POTASIO

Los suelos de la región pampeana se consideran bien provistos de potasio (K) por lo que, en general, no se considera necesaria la aplicación de este nutriente (Figura 7). La continua extracción del nutriente y la falta de reposición resultará en la disminución de K disponible, especialmente en los lotes con mayor frecuencia de soja, cultivo que presenta un alto índice de cosecha de K (cerca del 50% del K absorbido). Es así, que en algunos suelos de la zona sudeste de la provincia de Córdoba, con alta frecuencia de soja en la rotación, el nivel de K intercambiable ha disminuido a valores de 200-250 mg.kg⁻¹.

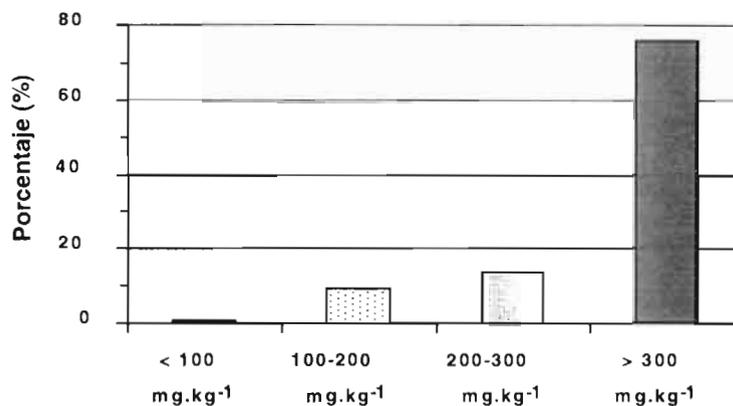


FIGURA 7. Distribución porcentual según contenido de K intercambiable de 2575 muestras de suelo de la región pampeana argentina. Elaborado a partir de la base de datos de Nidera S.A.

En ensayos de trigo realizados en el norte de Buenos Aires en 1995 y 1996, se obtuvieron respuestas de 180 a 280 kg.ha⁻¹ (7% sobre el tratamiento sin K) en 9 de 13 sitios evaluados con niveles de K disponible de 370 a 680 mg.kg⁻¹. Las dosis utilizadas fueron de 25-50 kg.ha⁻¹ de K₂O sobre una fertilización de base con N y P (Melgar, 1997).

AZUFRE

En cuanto a azufre (S), se han observado respuestas en trigo, maíz, alfalfa, pasturas consociadas, soja, sorgo y colza, especialmente en la pampa arenosa (oeste de Buenos Aires, este de La Pampa) y en la zona norte (sur de Santa Fe, norte de Buenos Aires).

En la zona oeste, las respuestas a S se relacionan con el bajo nivel de materia orgánica del suelo (<2-2.5%), la disponibilidad de S y los altos rendimientos que se han obtenido en los últimos años (Díaz Zorita, 1998; Ventimiglia et al., 1998).

En la zona norte, las respuestas se observan en suelos degradados, con muchos años de agricultura continua (especialmente soja), y con cultivos de alta producción con fertilización nitrogenada y fosfatada (Figura 8) (Martínez y Cordone, 1998). Experiencias realizadas en el centro-sur de Santa Fe, muestran efectos residuales de aplicación de S en trigo sobre cultivos de soja de segunda (Martínez y Cordone, 1998) (Figura 9).

Investigaciones en curso permitirán establecer sistemas de diagnóstico y pautas de manejo (dosis, fuentes, momentos y métodos de aplicación) para la fertilización azufrada.

OTROS NUTRIENTES

La disponibilidad original de calcio (Ca) y magnesio (Mg) de los suelos pampeanos es elevada. La intensificación de la agricultura ha resultado en la disminución de los niveles de bases y pH en algunos suelos, especialmente en el norte de la región, con respuestas significativas a la aplicación de enmiendas calcáreas y/o dolomíticas en alfalfa y soja (Gambaudo, 1998). Los altos niveles de K en el complejo de intercambio podrían resultar en deficiencias inducidas de magnesio según lo sugiere la bibliografía internacional (Tisdale et al., 1993).

La disponibilidad de micronutrientes en suelos pampeanos ha sido considerada adecuada (Sillanpaa, 1982). Sin embargo, en los últimos años se han observado respuestas y deficiencias en algunas situaciones. El boro ha sido el micronutriente más estudiado, especialmente en girasol y alfalfa (Diggs et al, 1992; Melgar et al., 1997; Díaz Zorita y Duarte, 1998b). En girasol, se han encontrado respuestas económicas de 300-400 kg.ha⁻¹ en la zona oeste en condiciones de baja disponibilidad identificadas a través del análisis de suelo y/o síntomas en planta en estados temprano de desarrollo. Se han determinado bajos niveles de zinc y cobre en suelos y plantas, estas investigaciones son poco numerosas y muy recientes. La evaluación de sistemas de fertilización balanceada que incluyan micronutrientes constituye otra de las prioridades de investigación.

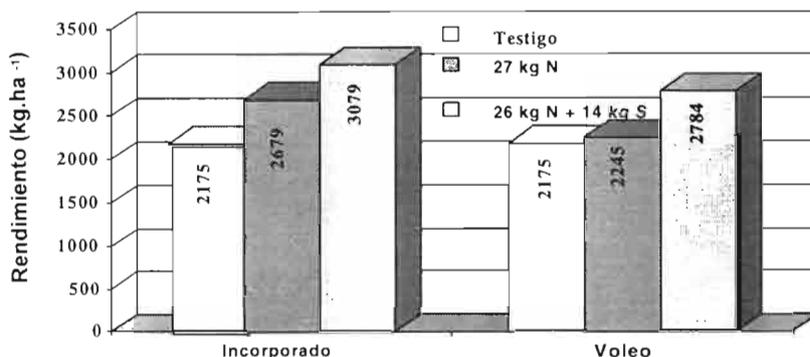


FIGURA 8. Respuesta a la fertilización nitrogenada y azufrada de trigo con Aplicaciones incorporadas y superficiales. Arequito, Santa Fe, Argentina (Martínez y Cordone, 1998).

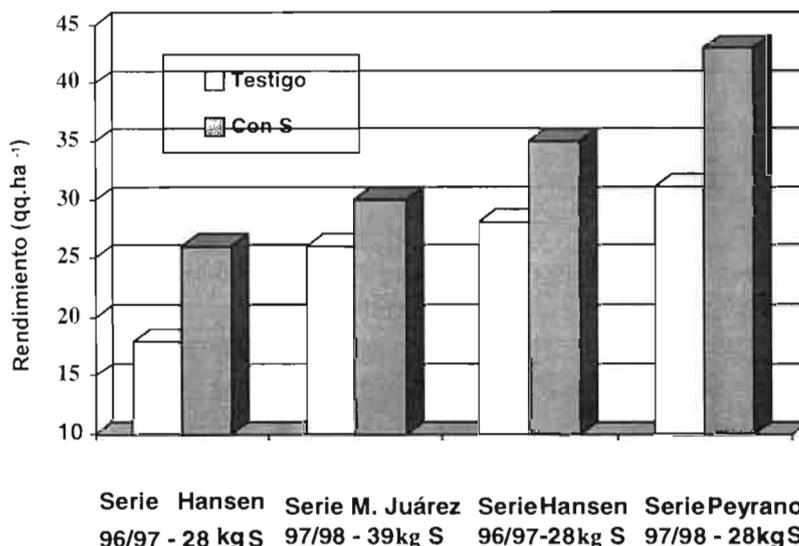


FIGURA 9. Efecto residual de la aplicación de azufre en trigo sobre el rendimiento de soja de segunda (doble cultivo trigo/soja), en cuatro ensayos realizados en el centro-sur de Santa Fe, Argentina (Martínez y Cordone, 1998).

CONCLUSIONES

Investigaciones actuales y futuras deberán:

- Mejorar el diagnóstico y manejo de la fertilización nitrogenada y fosfatada especialmente en zonas y/o cultivos que han sido poco estudiados.

- Calibrar y validar sistemas de diagnóstico y manejo para nutrientes como azufre y boro.
- Explorar deficiencias de otros nutrientes.
- Estudiar los efectos de fertilizaciones balanceadas sobre los rendimientos de los cultivos y la sustentabilidad de los sistemas de producción.

BIBLIOGRAFIA

Barberis L., Chamorro, E., Baumann Fonay, C., Zourarakis, D., Canova, D. y Urricariet, S., 1985. Respuesta del cultivo de maíz a la fertilización nitrogenada en la Pampa Ondulada. Campañas 1980/81 - 1983/84. II. Modelos predictivos y explicativos. Revista Facultad Agronomía 6:65-84.

Barreca, M. y Tasi, H., 1984. Contenido de fósforo asimilable en los suelos comprendidos al oeste del Río Gualeguay en la provincia de Entre Ríos. Paraná, Entre Ríos, Publicación Técnica N° 9, EERA INTA.

Berardo, A., 1994. Aspectos generales de fertilización y manejo del trigo en el área de influencia de la Estación Experimental INTA-Balcarce. Buenos Aires, Argentina, Boletín Técnico N° 128, EEA INTA Balcarce.

Bray, R. y Kurtz, L., 1945. Determination of total, organic and available forms of phosphorus in soils. Soil Sci. 59:39-45.

Bundy, L., Schmitt, M. y Randall, G., 1992. Advances in the Upper Midwest. En Predicting N fertilizers needs for corn in humid regions. B. Bock y K. Kelly (ed.). Alabama, EE.UU. Bulletin Y-226. TVA/NFERC-92/2. Tennessee Valley Authority, National Fertilizer and Environmental Research Center, Muscle Shoals.

Cox, F.R., 1994. Current phosphorus availability indices: Characteristics and shortcomings. En J.L. Havlin and J. S. Jacobsen (ed.). Soil testing: Prospects for improving nutrient recommendations. Madison, Wisconsin, EE.UU., SSSA Special Publication N° 40.

Darwich, N., 1983. Niveles de fósforo asimilable en los suelos pampeanos. IDIA, Enero-Abril 1983: 1-5.

Darwich, N., 1984. Tecnología disponible para el cultivo de maíz en la zona sudeste de la provincia de Buenos Aires. EEA INTA Balcarce.

Díaz, Zorita M., 1996. Fertilización del girasol. Publicación Técnica N° 17, EEA INTA Gral. Villegas, Buenos Aires, Argentina.

Díaz, Zorita M., 1998. Azufre: Balanceando la fórmula con otros nutrientes. Fertilizar, N° Esp. Pasturas, pp. 16-17.

Díaz, Zorita M. y Duarte, G., 1998a. Nitrógeno y producción de girasol en la pampa arenosa. Carlos Paz, Córdoba, Actas XVI Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo, pp. 115-116

Díaz, Zorita M. y Duarte, G., 1998b. Aplicaciones foliares de boro en girasol en el noroeste bonaerense. Bahía Blanca, Buenos Aires, Actas III Reunión Nacional de Oleaginosas, pp. 123-124.

Diggs, C., Ratto de Miguez, S y Shorrocks, V., 1992. La evaluación de síntomas de deficiencia de boro. El método más confiable para decidir fertilizaciones de boro en girasol. Proceedings 13th International Sunflower Conference. Pisa, Italia.

Echeverría, H. y García, F., 1998. Guía para la fertilización fosfatada de trigo, maíz, girasol y soja. Boletín Técnico N° 149, EEA INTA Balcarce.

Gambaudo S., 1998. Encalado de suelos ácidos para la producción de alfalfa. Revista Fertilizar. Suplemento Pasturas. Buenos Aires, Argentina, EEA INTA Pergamino, pp. 24-26.

Gambaudo, S. y Fontanetto, H., 1996. Fertilización en Maíz. Información para Extensión. EEA INTA Rafaela. Santa Fe.

García, F. O., Fabrizio K. P., Berardo, A. y Justel, F., 1998. Fertilización nitrogenada de trigo en el sudeste bonaerense: Respuesta, fuentes y momentos de aplicación. XVI Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. AACCS. Carlos Paz, Córdoba.

García, F., Fabrizz, K.P., Ruffo, M. y Scarabicchi, P., 1997. Fertilización nitrogenada y fosfatada de maíz en el sudeste de Buenos Aires. Actas VI Congreso Nacional de Maíz. AIANBA. Pergamino, Buenos Aires, Argentina.

González, Montaner J., y Di Napoli, M., 1997. Respuestas a nitrógeno del cultivo de maíz en el sur de la provincia de Santa Fe. Actas VI Congreso Nacional de Maíz. AIANBA. Pergamino, Buenos Aires, Argentina.

González, Montaner J., Maddoni, G. y Di Napoli, M.R., 1997b. Modeling grain yield and grain yield response to nitrogen in spring wheat crops in the Argentinean Southern Pampa. *Field Crops Research* 51:241-252.

González, Montaner J., Maddoni, G., Mailland, N. y Posborg, M., 1991. Optimización de la respuesta a la fertilización nitrogenada en el cultivo de trigo a partir de un modelo de decisión para la Subregión IV (Sudeste de la Provincia de Buenos Aires). *Ciencia del Suelo* 9 (1-2):41-51.

González, Montaner J., Meynard, J.M. y Mary, B., 1987. Controle de la nutrition azotee du blé par l'analyse des teneurs en nitrates dans la plante. *C.R. Acad. Agric. Fr.* 73 (3):105-115.

González, Montaner J., Von Buch, A., Di Napoli, M., Gambaudo, S., Fontanetto, H., Pozzi, R., Teco, E. y Gasparotti, E., 1997a. Fertilización en trigo. *Revista CREA*, Año XXXII, N° 199, pp. 64-70.

Grattone, F., Berardo, F y Borrajo, G., 1998. Relación entre el contenido de P extractable, el rendimiento de trigo y la respuesta a la fertilización fosfatada. Actas IV Congreso Nacional de Trigo y II Simposio Nacional de Cereales de Siembra Otoño-Invernal. Unidad Integrada EEA INTA-FCA Balcarce. Argentina.

Hall, A., Rebella, C., Ghersa, C. y Culot, J.P., 1992. Field-crop systems of the pampas. In *Field crop ecosystems*. C. J. Pearson (ed.). Elsevier, Amsterdam, p. 413-450

Herfurt E., Echeverría, H., Uhart, S. y Sainz Rozas, H., 1997. Determinación de nitratos en la base del tallo como elemento diagnóstico de la nutrición nitrogenada en maíz. Actas VI Congreso Nacional de Maíz. AIANBA. Pergamino, Buenos Aires, Argentina.

Loewy, T., 1990. Fertilización nitrogenada del trigo en el Sudoeste bonaerense. I. Respuesta física y diagnóstico. *Ciencia del Suelo* 8:47-56.

Maddoni, G., 1997. Los requerimientos de nitrógeno y la fertilización del cultivo de trigo. *Fertilizar*, Suplemento Trigo. Mayo 1997. EEA INTA Pergamino, Buenos Aires, Argentina, pp. 1-9

Magdoff, F. R., Ross, D. y Amdon, J., 1984. A soil test for nitrogen availability to corn. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 48:1301-1304.

Martínez, F. y Cordone, G. 1998. Fertilización azufrada en soja. *Jornadas de Azufre*. UEEA INTA Casilda, Septiembre 1998, Casilda, Santa Fe, Argentina

Melchiori, R., Paparotti, O. y Paul, W., 1996. Diagnóstico de la fertilización nitrogenada de maíz: Nitratos en preescardillada. *Serie de Extensión* N° 11. EEA INTA Paraná, Entre Ríos.

Melgar, R., 1997. Potasio, azufre y otros nutrientes necesarios para considerar en una fertilización. *Fertilizar* Suplemento Trigo. EEA INTA Pergamino. Buenos Aires, Argentina, pp 17-24.

Melgar, R. y Caamaño, A., 1997. Fertilización nitrogenada, fosfatada y azufrada. *Revista Agromercado*. Cuadernillo de Maíz. Año II N° 12, pp. 14-15.

Melgar, R., Caamaño, A. y Lavandera, J., 1997. El uso de micronutrientes: Zinc y boro. *Revista Fertilizar*. Suplemento Maíz. EEA INTA Pergamino. Buenos Aires, Argentina, pp 23-26.

Melgar, R.J, Frutos, E., Galetto M.L. y Vivas, H., 1995. El análisis de suelo como predictor de la respuesta de la soja a la fertilización fosfatada. *Primer Congreso Nacional de Soja y Segunda Reunión Nacional de Oleaginosos*. Vol I. Pergamino, Buenos Aires, .pp 167-174.

Munson, R. y Murphy, L., 1986. Factors affecting crop response to phosphorus. In *PPI* (ed.). *Phosphorus for agriculture: A situation analysis*. Potash & Phosphorus Institute. Atlanta, EE.UU.

- Novello, P., Ayub G. y Peretti, M., 1985. Fertilización nitrogenada del maíz. Información para Extensión. Serie Suelos y Agroclimatología No. 7. EEA INTA Marcos Juárez Córdoba.
- Ritchie, J., Godwin, D. y Otter-Nacke, S., 1988. CERES-Wheat. A simulation model of wheat growth and development. Texas, EE.UU., Texas A&M Univ. Press, College Station.
- Ron, M.M. y Loewy, T., 1987. Efecto residual de la fertilización fosfórica en trigo sobre un Haplustol típico. Ciencia del Suelo 5(1):65-70.
- Ron, M.M. y Loewy, T., 1990. Fertilización fosfórica del trigo en el sudoeste bonaerense. I. Modelos de respuesta. Ciencia del Suelo 8(2):187-194.
- Sainz Rozas, H. y Echeverría, H., 1997. Uso del medidor de clorofila para el monitoreo de la nutrición nitrogenada del cultivo de maíz. Rev. Fac. Agron. La Plata (En prensa).
- Sbaraglia, M., 1988. Guía practica para la interpretación de los análisis de suelo. INTA-SAGYP-ENICHEM Italia.
- Scheiner, J., Lavado, R. y Alvarez, R., 1996. Difficulties in recommending phosphorus fertilizers for soybeans in Argentina. Commun. Soil Sci. Plant Anal. 27 (3&4):521-530.
- Schepers, J. S., Blackmer, T. y Francis, D., 1992. Predicting N fertilizer needs for corn in humid regions: Using chlorophyll meters. In Predicting N fertilizers needs for corn in humid regions. B. Bock y K. Kelly (ed.). Bulletin Y-226. TVA/NFERC-92/2. Tennessee Valley Authority- National Fertilizer and Environmental Research Center. Muscle Shoals, Alabama, EE.UU.
- Senigaglia, C., García, R. y de Galetto, M.L., 1984. Evaluación de la respuesta del maíz a la fertilización nitrogenada y fosfatada en el área centro-norte de Buenos Aires y sur de Santa Fe. III Congreso Nacional de Maíz. AIANBA. Pergamino.
- Senigaglia, C., García, R., Meira, S., Galetto, M.L. y Frutos, E., 1983. Fertilización del cultivo de trigo en el norte de la provincia de Buenos Aires y sur de Santa Fe. Boletín Técnico No. 191. EEA INTA Pergamino.
- Sillanpaa, M., 1982. Micronutrients and the nutrient status of soils: A global study. Roma, Italia, FAO Soils Bull. 48. FAO, Organización de Naciones Unidas.
- Tisdale, S., Nelson, W., Beaton, J. y Havlin, J., 1993. Soil fertility and fertilizers. New York, EE.UU. , MacMillan Pub. Co.
- Ventimiglia, L., Carta, H. y Rillo, S., 1998. Azufre: Para comenzar a pensar. Agromercado, No. XXI. Cuadernillo de Trigo.
- Vigliezzi A., Echeverría, H. y Studdert, G., 1996. Nitratos en seudotallos de trigo como indicador de la disponibilidad de nitrógeno. Ciencia del Suelo 14 (2):57-62.

Las barreras vivas en la conservación del suelo y agua

Félix A. Rodríguez Verástegui¹

¹Proyecto Laderas. Facultad de Agronomía. Universidad Mayor de San Simón. Av. Petrolera Km 5. Teléfono 238146. email: prolader@pino.cbb.entelnet.bo. Cochabamba, Bolivia.

RESUMEN

El objetivo del Proyecto Laderas es la investigación y difusión en tecnologías de manejo y conservación de suelo y agua en laderas. La investigación de la tecnología de protección de suelo de barreras vivas está referida a la selección de especies vegetales apropiadas para zonas de valle, cabecera de valle y puna. Estableciendo ensayos en parcelas de agricultores con fines demostrativos y de difusión en cada sitio.

En 1996, se establecieron siete parcelas con barreras vivas en tres provincias del departamento de Cochabamba. Especies vegetales locales e introducidas entre gramíneas y arbustivas (6 y 12 respectivamente) se probaron como barrera viva en parcelas de agricultores colaboradores de tres comunidades campesinas y en estación experimental, realizando un seguimiento técnico, económico y social a partir del establecimiento hasta los siguientes dos años.

Los resultados muestran que para todas las zonas de estudio es el falaris (*Falaris tuberoarundinaceae*) la mejor especie como barrera viva, por sus características de macollamiento, velocidad de formación de barrera, control de erosión, rendimiento en materia seca y preferencia por los agricultores. La investigación de carácter participativo también permitió identificar los principales criterios de los agricultores respecto a los beneficios y las limitaciones de barreras vivas para la protección del suelo y otros propósitos. Los resultados alcanzados se han empleado para la difusión de la tecnología de conservación del suelo en las mismas comunidades y en otras.

INTRODUCCION

La conservación del suelo y agua en laderas requiere muchas prácticas de tipo físico, agronómico y biológico que implican la protección del recurso suelo y la optimización del manejo hídrico, desde la perspectiva física y de infraestructura. El objetivo conservacionista las prácticas lleva, en muchos casos, a la mínima o ninguna adopción por los agricultores, ya que ellos requieren de tecnología de múltiple propósito que ofrezcan beneficios adicionales a la conservación del suelo. Por esta razón, se establecieron parcelas de barreras vivas con diferentes especies vegetales para comprobar su efectividad en la protección de suelo y otros usos adicionales.

El presente trabajo refleja el seguimiento técnico a barreras vivas establecidas en seis parcelas de agricultores y una parcela en la facultad de agronomía de la Universidad Mayor San Simón. En zonas de valle, cabecera de valle y puna, fueron evaluadas en función a las condiciones de manejo de suelo, la formación lenta de terrazas, los cambios en la pendiente y la sedimentación sobre las barreras. Los beneficios adicionales a la protección de suelo, como el forraje para el ganado, se describen por especie y finalmente se dan recomendaciones sobre las mejores especies para barrera viva.

La investigación tuvo como objetivos establecer barreras vivas en parcelas de pequeños agricultores, evaluar el comportamiento y utilidad de las especies vegetales establecidas como barrera viva, evaluar la efectividad de las barreras vivas para la conservación de suelo y agua y realizar la evaluación participativa de las especies vegetales.

MATERIALES Y METODOS

Los ambientes ecológicos en los cuales se establecieron las parcelas de investigación tienen diferentes condiciones climáticas y de ubicación. En el cuadro 1, se observa el amplio rango de variabilidad climática y altitudinal donde se establecieron barreras vivas en parcelas de agricultores.

CUADRO 1. Características climáticas de las comunidades.

Provincia	Comunidad	Zona agroecológica	Altitud msnm	Temperatura media anual °C	Precipitación media anual (mm)
Tiraque	Pairumani	Cabecera de valle	3300-3600	8.4	558
	Cebada Jich'ana	Transición	3400-3700	9 a 11	531
Esteban Arce	Yungataki	Valle Cerrado	3300-3800	13.5	592
Cercado	Tirani	Cabecera de valle, puna	2900-4500	6 a 14	585-800
	Facultad Agronomía	Valle	2560	16.8	528

Fuente: CIPCA 1997:7-9; CIDETI 1994.

La selección de especies vegetales en cada comunidad se hizo de acuerdo a los requerimientos climáticos de la especie, aspectos morfológicos apropiados para barreras vivas y conformidad de los agricultores colaboradores.

En cada comunidad se establecieron dos tipos de parcela, una parcela con barreras vivas considerando de especie arbustiva, una gramínea y además un área sin barrera (testigo) y otra parcela de observación con especies locales e introducidas entre árboles, arbustos y pastos. En el cuadro 2, se observa que las barreras vivas de falaris predominan sobre las otras especies en las diferentes comunidades por la preferencia de los agricultores por su uso como forraje para el ganado y un amplio rango de adaptabilidad. En el caso de la comunidad de Tirani, las barreras vivas de retama se combinaron con falaris a sugerencia del agricultor colaborador.

CUADRO 2. Especies vegetales establecidas como barrera viva y parcela de observación.

Nº	Lugar	Barreras		Parcelas de observación	
		Pasto	Arbusto	Pasto	Arbusto
1	Yunkhataki	Falaris	Atriplex	Falaris (<i>Phalaris tuberoarundinacea</i>), bromus (<i>Bromus catharticus</i>),	Atriplex (<i>Atriplex halimus</i>), retama (<i>Spartium junceum</i>), agave (<i>Agave americana</i>).
2	Yunkhataki	Falaris	Atriplex	Pasto llorón (<i>Eragrostis curvula</i>), vetiver (<i>Vetiveria zizanioides</i>), festuca (<i>Festuca dolichophylla</i>)	Kiswara (<i>Buddleja coriacea</i>).
3	Tirani	Vetiver	Retama Falaris	Falaris, vetiver, bromus, pasto llorón, festuca.	Atriplex, retama, kiswara, vhillca (<i>Baccharis sp</i>), chakatea (<i>Dodonea viscosa</i>)
4	Pajcha	Falaris	Gynoxis	Falaris, chilliwa (<i>Festuca dolichophylla</i>), bromus, pasto llorón, festuca.	Atriplex, kewiña, kiswara, gynoxis (<i>Gynoxys oleifolia</i>)
5	Pairumani	Falaris	Retama	Falaris, vetiver, bromus, .	Atriplex, retama, kiswara
6	Pairumani	Falaris	Atriplex	Pasto llorón, festuca	Thola (<i>Baccharis dracunculifolia</i>), chillca, muña (<i>Satureja boliviana</i>)
7	Facultad Agronomía	Vetiver	Atriplex	Falaris, vetiver, bromus, pasto llorón, festuca,	Atriplex, retama, kiswara, molle (<i>Schinus molle</i>), algarrobo (<i>Prosopis juliflora</i>), acacia (<i>Acacia sp.</i>)

Los ensayos se establecieron en función al tamaño de las parcelas de los agricultores, con una superficie mínima de 25 m² por unidad experimental. La longitud total de la curva de nivel se dividió en

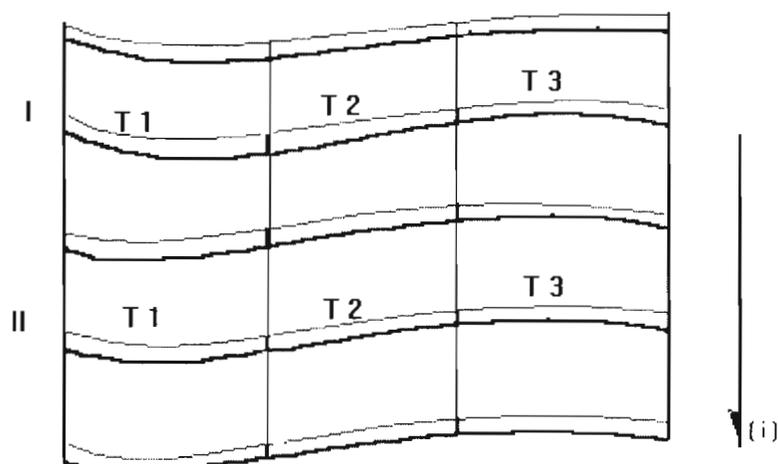


FIGURA 1. Croquis de la parcela experimental. T 1 = Tratamiento con pasto
T 2 = Tratamiento con arbustiva. T 3 = Testigo (sin protección).
I - II = Repetición uno y dos respectivamente. (i) = Pendiente del terreno

El diseño de lotes divididos fue realizado con dos tratamientos, un testigo y dos repeticiones dependiendo de la longitud de la parcela en sentido transversal de la pendiente. Por otra parte se estableció una parcela pequeña de observación con cinco pastos y cinco arbustos de las diferentes especies vegetales en cada una de las comunidades, para observar el comportamiento de las mismas en los diferentes pisos ecológicos.

Para el trabajo se utilizó el siguiente modelo estadístico basado en la regresión lineal simple:

$$y_i = a + bx$$

Donde y_i = Máximo crecimiento de la especie vegetal del i ésimo tratamiento.
 x = Tiempo en días.

Las parcelas con barreras vivas fueron establecidas entre noviembre y diciembre de 1996, según las condiciones locales de manejo del suelo, riego y clima y criterios técnicos como pendiente, profundidad del suelo y superficie mínima para el ensayo.

CUADRO 3. Características de las parcelas establecidas con barreras vivas en 1996.

Comunidad	Parcela	Pendiente (%)	Distancia entre barreras (m)	Número de barrera	Agricultura	Cultivo al establecer barrera
Yungataki	1	17 - 22	8	3	Riego	Maíz
	2	25 - 32	7	5	Riego	Haba
Tirani	3	23 - 25	8	6	Riego	Maíz-flores
	4	41 - 45	5	6	Secano	Avena
Pairumani	5	29 - 26	8	5	Riego	Sin cultivo
	6	56 - 67	5	12	Secano	Trigo
FAgronomía	7	37 - 43	10	2	Riego	Alfalfa-cebada

Durante el establecimiento de las barreras se discutió con los agricultores colaboradores respecto a la distancia entre barreras en función de la pendiente, en todos los casos, predomina el criterio de ampliar esta distancia para evitar dificultades en el manejo del suelo, especialmente en las labores agrícolas donde se utiliza tracción animal. En general, las distancias entre barreras superan las recomendaciones técnicas sugeridas por Suares de Castro (1996:23).

Las especies locales (muña, paja brava, chillca y otros) fueron recolectadas en el mismo lugar, mientras que las introducidas (pasto llorón, festuca, retama y otras) fueron provistas por el Proyecto.

Las especies locales (muña, paja brava, chillca y otros) fueron recolectadas en el mismo lugar, mientras que las introducidas (pasto llorón, festuca, retama y otras) fueron provistas por el Proyecto. En la parcela de observación se dispusieron veinte plantas de cada especie perpendicularmente a la pendiente, en una superficie no mayor a 30m².

Para conocer la efectividad de la barrera viva se realizaron lecturas de sedimentación y/o altura de sedimento retenido por el efecto de la barrera viva en los respectivos tratamientos, esta medición se realizó sobre la barrera viva sobre una curva de nivel por el método de "las líneas de referencia"(Figura 2).

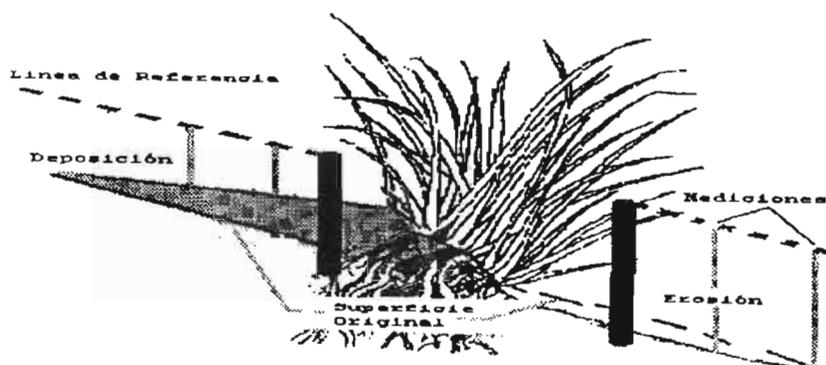


FIGURA 2. Líneas de referencia.

El procedimiento de investigación con agricultores utiliza la metodología de investigación participativa (IPRA) generada por el Centro Internacional de Agricultura Tropical de Colombia (CIAT).

Para la evaluación con los agricultores se priorizaron criterios (variables) en el momento de la cosecha, tomando siempre en cuenta un grupo evaluador. Se utilizaron las evaluaciones propuestas por Ashby (1993), la evaluación abierta como método para captar y consignar las reacciones espontáneas de los agricultores a la tecnología sin usar preguntas inducidas, es una técnica utilizada para establecer un clima de confianza entre agricultor y técnico que proceda a la entrevista estructurada. El objetivo de la evaluación abierta es captar comentarios espontáneos del agricultor y analizarlos como indicadores de las características más importantes de la tecnología empleada. Es importante registrar los comentarios del agricultor de manera precisa y con el lenguaje que emplea.

Otra forma de evaluación, la evaluación absoluta, es aquella en la cual el agricultor manifiesta su posición de agrado o desagrado sobre cada tratamiento según sus propios méritos. En la evaluación absoluta, los agricultores pueden escoger las opciones que ellos consideren que van a responder mejor a sus diferentes objetivos. Finalmente, el orden de preferencia implica solicitar al agricultor que ordene varias alternativas tecnológicas según su preferencias, esta técnica puede ser usada para obtener un orden de preferencias global y luego solicitar al agricultor que explique los criterios en los cuales baso su ordenamiento. El ordenamiento como técnica de evaluación es útil para conocer las explicaciones del agricultor sobre sus preferencias.

RESULTADOS

Formación de barreras vivas

El proceso desde el momento del establecimiento de las especies vegetales hasta la formación completa de barreras fue identificado para cada especie y sitio. Las gramíneas forman con mayor rapidez barreras vivas que los arbustos cuando estos fueron establecidos solos. Estos últimos no llegaron a formar barreras.

El tiempo de formación de las barreras vivas en cada parcela ha sido afectado principalmente por el manejo del suelo, pendiente y tipo de suelo. En la figura 3, se puede observar que las parcelas 2, 3, 5 y 7 forman completamente la barrera por la presencia de riego. Las parcelas a secano con un cultivo por año (4 y 6) y mayor grado de pendientes llegan a completar la formación al finalizar el primer año. La formación completa de las barreras esta en función de la disponibilidad de agua para la producción agrícola que otorga una mejor condición a las especies establecidas como barreras.

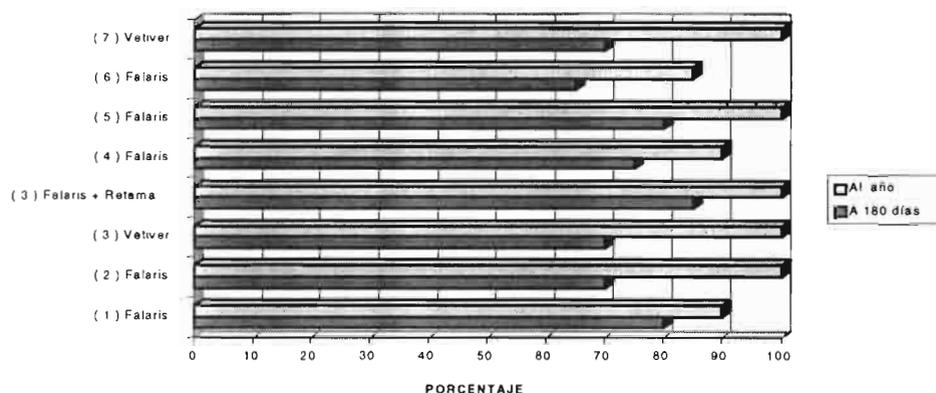


FIGURA 3. Tiempo entre el establecimiento y la formación completa de barreras vivas.

Formación lenta de terrazas

Los cambios en la pendiente y la gradiente (microtopografía) del terreno ocasionados por efecto de las barreras vivas han sido diferentes para cada parcela y están relacionados principalmente a la intensidad de la actividad agrícola de las mismas.

CUADRO 4. Cambios en pendiente y gradiente del terreno por efecto de barrera viva.

Parcela	Pendiente del terreno (%)			Gradiente terreno (cm)
	Inicial-año1	Año 2	Diferencia	
1	17	16	1	25
2	22	20	2	20
3	25	22	3	30
4	45	44	1	20
5	29	27	2	45
6	56	56	0	<10
7	37	37	0	<10

Las mayores diferencias en pendiente y gradiente entre pendientes se encuentran en las parcelas 2, 3 y 5, en dichas parcelas se dan condiciones similares que favorecen la formación de barreras, como riego y mayor intensidad del uso del suelo. Las parcelas 4, 6 y 7 son temporales, y sobre todo, tienen pendientes abruptas que reducen la posibilidad de formación de terrazas. En el caso de Tirani, según el agricultor la mejor combinación es retama-falaris, la retama tiene mayor resistencia al peso de la tierra que se acumula sobre la barrera y sus raíces profundas estabilizan mejor el talud. El cambio de la pendiente original y la tendencia a la formación de terrazas en la parcela 4 puede observarse en la figura 4. Según a la intensidad agrícola los efectos en la formación del gradiente, por debajo de las barreras vivas, serán mayores cuando el laboreo es intenso por ejemplo cuando se tiene dos cultivos por año. La pendiente del terreno y las características físicas del suelo también determinan la rapidez de la formación de terrazas. La acumulación de tierra sobre la barrera es mínima en pendientes abruptas (mayor al 40%).

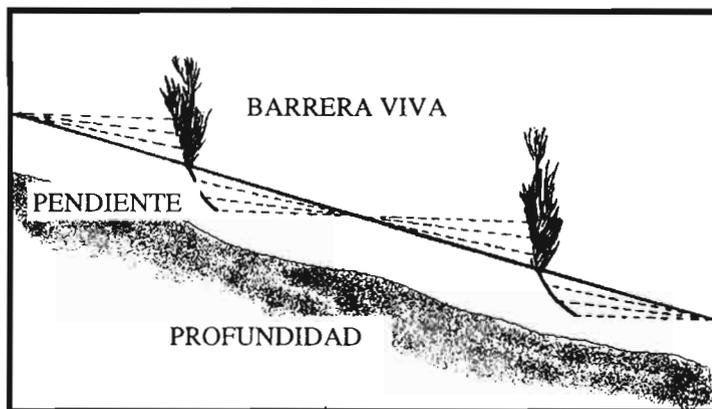


Figura 4. Proceso de formación lenta de terrazas por efecto de barreras vivas

Control de la erosión

La evaluación del control de la erosión por barreras vivas (Walle, 1977:34) muestra resultados de sedimentación de suelo por encima de las barreras por año y total.

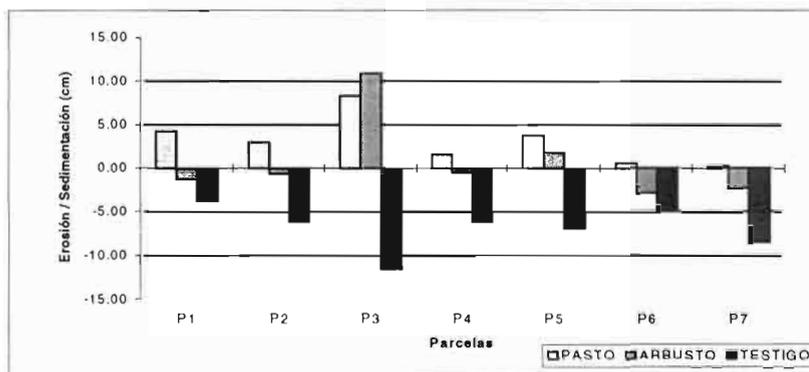


FIGURA 5. Sedimentación y erosión del suelo sobre barreras vivas a los dos años de establecerse.

Los valores máximos de sedimentación en las parcelas 1, 3 y 5 reflejan un proceso más acelerado de formación de barreras vivas que en otras parcelas. El movimiento del suelo, cultivo intenso y mayor disponibilidad de humedad (riego) contribuyen un índice alto de erosión. En el caso de la parcela 3, la combinación del arbusto con falaris da como resultado una mayor sedimentación comparada con barreras de solo pasto y también registra mayor erosión en el testigo por la textura liviana del suelo.

Producción de forraje y otros beneficios

La producción de forraje, en materia seca, de las especies vegetales establecidas fue tomada mientras las parcelas fueron cultivadas y no se incluye la producción de parcelas en descanso o pastoreo. La producción de materia seca total por año alcanza los mayores rendimientos en las parcelas 1 y 5, por las mejores condiciones de humedad en relación a las otras parcelas (Cuadro 5).

Falaris, además de ser la especie que produce mayor cantidad de materia seca por año es una especie trampa para nemátodos como *Nacobbus aberrans* (PROINPA, 1998).

Las barreras vivas en la rotación de cultivos

La rotación de cultivos, a partir del establecimiento de las barreras vivas, tuvo modificaciones en algunas parcelas y el efecto de barreras sobre el rendimiento de los cultivos aún no fue percibido por los agricultores. En la parcela 3, la rotación tradicional de cultivos cambio hacia la diversificación de la producción agrícola, se cultivó un mayor número de especies, el agricultor colaborador usa la parcela como huerta hortícola bajo riego. Las otras parcela mantienen la rotación de cultivos tradicional (Cuadro 6).

CUADRO 5. Rendimiento en materia seca de pastos y arbustos de barrera viva (kg.ha⁻¹).

Parcela	Año 1			Año 2			Total		
	Arbusto	Pasto	Cortes	Arbusto	Pasto	Cortes	Arbusto	Pasto	Cortes
1	0.0	2572	2	0.0	815	1	0.0	3489	3
2	0.0	1338	2	0.0	630	1	0.0	1968	3
3	(A) 20.0 325	(B) 298	1	(A) 0.0 584	(B) 512	1	(A) 20.0 909	(B) 810	2

(A): Retama y falaris respectivamente.

(B): Vetiver

CUADRO 6. Cultivos establecidos por agricultores en parcelas con barrera viva

Parcela	Año 1		Año 2	
	Epoca 1	Epoca 2	Epoca 1	Epoca 2
P1	Maíz	Papa	Trigo	Descanso
P2	Haba	Papa	Descanso	Descanso
P3	Flores Maíz	Descanso	Papa	Flores reina margarita
P4	Avena	Descanso	Descanso	Descanso
P5	Ninguno	Papa	Hortalizas, lechuga, vainita.	frijol, cebolla, Papa
P6	Trigo	Descanso	Descanso	Descanso
P7	Alfalfa – Avena	Alfalfa	Alfalfa	Alfalfa

Recomendaciones de las mejores especies para diferentes ambientes

En el cuadro 7 se puede ver un resumen de los resultados de las evaluaciones participativas que permite establecer para cada zona agroecológica una especie con mejor adaptación y potencial como barrera viva.

CUADRO 7. Especies vegetales de mejor adaptación y comportamiento para barrera viva.

Zona agroecológica	Especie vegetal
Valle	Vetiver, falaris, pasto llorón, retama, atriplex
Cabecera de valle	Falaris, festuca alta, retama, thola, kewiña
Puna	Falaris, paja brava, kiswara, kapa kapa

Las especies arbustivas como retama, thola y otras deben ser establecidas en combinación con pastos para un efectivo funcionamiento de la barrera viva. En la selección de especies con propósito adicional de forraje, deben considerarse las condiciones de manejo del ganado, el pastoreo libre perjudica el establecimiento y desarrollo de barreras vivas, siendo importante utilizar especies no forrajeras para la protección del suelo.

CONCLUSIONES

- El Proyecto Laderas con el establecimiento de barreras vivas ha demostrado su efectividad para la protección del suelo con diferentes especies vegetales y en un amplio rango de condiciones agroecológicas.
- La participación de los agricultores colaboradores en el proceso de investigación permitió la observación del efecto de las barreras en el control de la erosión y la formación lenta de terrazas.

- La disponibilidad de humedad es determinante para el establecimiento de barreras vivas así como para la producción de forraje. Las zonas con mayor humedad (riego) y mayor actividad agrícola presenta las mejores condiciones para la adopción de barreras vivas.
- La especie vegetal que mejor comportamiento tuvo en todos los pisos agroecológicos fue *falaris* y fue la más aceptada por los agricultores de todas las comunidades.
- Los principales criterios de los agricultores para la aceptación del pasto *falaris* fueron la sujeción de la tierra y la producción de forraje el cual es escaso en las comunidades interandinas.

BIBLIOGRAFIA

CIPCA, 1997. Diagnóstico socioeconómico de Sacabamba. Cochabamba, Bolivia, Centro de Investigación Promoción del Campesinado, Vol. 1.

CIDETI, 1994. Diagnóstico socioeconómico de la microregión Tiraque. Cochabamba, Bolivia, Comité Interinstitucional para el desarrollo de Tiraque.

Ortuño, N., 1998. Informe: Reacción como planta trampa de diferentes especies vegetales. Cochabamba, Bolivia, PROINPA.

Sims, B. , 1997. Estrategias para prácticas mejoradas de conservación de suelo y agua en los sistemas de producción de ladera en los valles andinos de Bolivia. Cochabamba, Bolivia, UMSS-FCAAPV y F-DFID-SRI.

Suares De Castro, 1987. Conservación de suelos. Cali, Colombia, IICA.

Walle, R. , 1997. Métodos de investigación y sus mediciones para promover conservación de suelos y agua al nivel del pequeño productor. En: Sims, B. (Comp.).

Efecto de sistemas de labranza en las propiedades físicas y mecánicas de un *Typic haplustalf* después de 11 campañas agrícolas en Santa Cruz, Bolivia

Orlando Díaz¹ y Marcia Suarez¹

¹ Centro Investigación Agrícola Tropical, CIAT. Santa Cruz, Bolivia.

RESUMEN

Con la finalidad de reducir la degradación de los suelos aluviales de Santa Cruz, causada por el uso de implementos tradicionales, se planteó este trabajo de investigación. Se probaron prácticas de labranza conservacionista desde 1989. Las evaluaciones físicas y mecánicas, realizadas después de 11 campañas agrícolas, registran valores más altos de esfuerzo de torsión, de resistencia del suelo al penetrómetro, densidad aparente y porosidad total, en labranza cero y labranza flexible. Esto indica una ligera compactación subsuperficial del suelo, en comparación con labranza convencional y labranza vertical.

INTRODUCCION

La zona central del departamento de Santa Cruz es el área de producción más importante de Bolivia con sistema de agricultura mecanizada, sin embargo, los rendimientos de los cultivos están declinando drásticamente debido a la degradación del recurso suelo por las prácticas agrícolas inapropiadas. Entre los procesos de degradación más importantes de estos suelos, figuran la compactación y la acelerada descomposición de la materia orgánica, atribuidas principalmente al excesivo uso de implementos de disco, cuya frecuencia de pasadas durante la preparación de los suelos es elevada. Este hecho plantea la necesidad de buscar alternativas tecnológicas, con tendencia a reducir el número de labranzas durante la preparación de los suelos, así como la sustitución de los implementos de disco por otros que tengan menos impacto en la compactación como, la labranza vertical y la labranza cero, conocidas como labranzas conservacionistas, porque dejan por lo menos 30 % de residuos en la superficie del suelo.

Aunque los impactos en la conservación de suelos dependen también de las características de manejo, de la cantidad y calidad de residuos que producen los cultivos para la protección del suelo, así como de la condición edafoclimática que caracteriza cada región. Las labranzas son uno de los factores determinantes en la modificación de la estructura de un suelo, esto indica la importancia de las evaluaciones físicas de un suelo para conocer la respuesta del mismo a la acción de los implementos, ya que la información local es escasa en éste tema, por ésta razón, se planteó el presente trabajo de investigación que tiene por objetivo la determinación de los cambios físicos del suelo relacionados a su porosidad, infiltración y retención del agua y los cambios mecánicos como el esfuerzo de torsión y la resistencia del suelo al penetrómetro como parámetros físicos estáticos y dinámicos que indiquen las bondades de cada sistema de labranza.

MATERIALES Y METODOS

El área está localizada en la Estación Experimental Agrícola de Saavedra, en la provincia Obispo Santistevan del departamento de Santa Cruz. Geográficamente está situada a 17°14' de latitud sur y 63°10' longitud oeste. La precipitación media anual es de 1352 mm y una temperatura media de 24.2°C. El suelo clasifica como *Typic Haplustalf*, el área de estudio fue deforestada en 1987 y luego se sembró maíz en el verano de 1987/88, posteriormente soya en invierno 1988 y soya en el verano 1988/89. El invierno de 1989 se inició el estudio de cuatro sistemas de labranza distribuidos en bloques al azar y en cuatro repeticiones. Las dimensiones de las parcelas eran 50 m de largo y 10 m de ancho. Los tratamientos de labranza fueron:

Labranza convencional (LCN)

Consistió en dos pasadas de implemento de 26 discos moderadamente pesados (1,910 kg) con una profundidad de trabajo de 12 cm y generalmente 2 pasadas de una rastra de 32 discos livianos (670 kg).

Labranza vertical (LV)

Dos pasadas de un implemento de púas de dos cuerpos con una profundidad de 20 cm de trabajo y dos pasadas de vibrocultivador que remueve el suelo 10 cm.

Labranza cero (LC)

Siembra de un cultivo sin remover el suelo, eliminando las malezas con glyphosato, con dosis de 2 l.ha⁻¹ y 0.5 l.ha⁻¹ de 2,4-D, urea 2.5 kg.ha⁻¹ en un volumen de 250 l de agua.

Labranza flexible (LF)

Los primeros dos años fue cero labranza posteriormente se removió con una rastra pesada y se continuó como cero labranza.

Para las evaluaciones del suelo se tomó en cuenta:

Esfuerzo de torsión (ET)

Se tomaron 20 medidas por parcela experimental usando el tensiómetro modelo "H-50 Field inspection vane tester" que presenta una paleta de 4 cm de largo y 2 cm de diámetro. Al mismo tiempo se sacaron muestras compuestas de suelo de 12 puntos elegidos al azar por parcela principal a 0-5 cm de profundidad.

Resistencia al penetrómetro (RP)

Se calibró el equipo, Bush Recording Soil Penetrometer (Anderson et al., 1980), posteriormente se midieron 40 puntos RP por parcela en condiciones de humedad a capacidad de campo. Los valores de fuerza de resistencia del suelo al cono del aparato se registraron cada 3.5 cm hasta una profundidad de 35 cm.

Densidad aparente (DAP)

Se obtuvieron muestras de suelo con cilindros de capacidad de 200 cm³ a profundidades de 0.00-0.05, 0.05-0.10 y 0.10-0.15 m. El muestreo se realizó en tres puntos al azar por cada parcela de labranza.

Porcentaje de poros totales (PPT)

El porcentaje de poros totales ha sido calculado con los datos de la DAP y el valor convencional de 2.65 g.cm⁻³

Retención de agua

Se sacaron muestras de suelo usando anillos cilíndricos de capacidad de 100 cm³ en 3 puntos de la parcela a las profundidades de 0.00-0.05, 0.05-0.10 y 0.10-0.15 m respectivamente. Las muestras luego de ser saturadas en agua durante 24 horas fueron colocadas en las ollas y membranas de presión para la determinación de la humedad a las tensiones de 0.1, 0.3, 0.5, 3.0, 9.0 y 15 bares.

RESULTADOS Y DISCUSION

Los resultados de las medidas del ET se presentan en la figura 1, donde se pueden observar valores muy contrastantes entre los tratamientos de LC y LF en comparación a las prácticas que se remueven el suelo como LCN y LV. Este resultado puede ser explicado al hecho de que en LC el suelo no fue removido con ningún implemento desde 1989 y LF solo fue arado en una oportunidad en 1992 y luego siguió como LC. La falta de remoción del suelo por una parte y por otra la permanente compactación provocada por efecto del tráfico de la sembradora, las fumigadoras y la cosechadora permitieron registrar esas diferencias.

Los resultados de RP (Cuadro 1), muestran las diferencias en el grado de resistencia entre los tratamientos de labranza en las diferentes profundidades del suelo. Estas diferencias se registran en la profundidad de 0.35 a 0.245 m, a mayor profundidad no se observan diferencias destacables. Los tratamientos de labranza que ofrecieron mayor resistencia al cono del penetrómetro, en condiciones de humedad a capacidad de campo, fueron LC seguido de LF, LV y LCN.

Las mayores resistencias registradas en LC con relación a los otros sistemas se manifiestan de 0.35-0.245 m de profundidad, mientras que en LF se aprecian hasta 0.14 m en comparación a las labranzas que removieron el suelo.

Entre LV y LCN no se aprecian diferencias hasta la profundidad de 0.14 m, sin embargo, a partir de este punto hasta los 0.245 m, LV registra valores comparativamente más bajos que LCN. Los otros

sistemas de labranza ofrecen menor resistencia en comparación a los sistemas que no removieron el suelo.

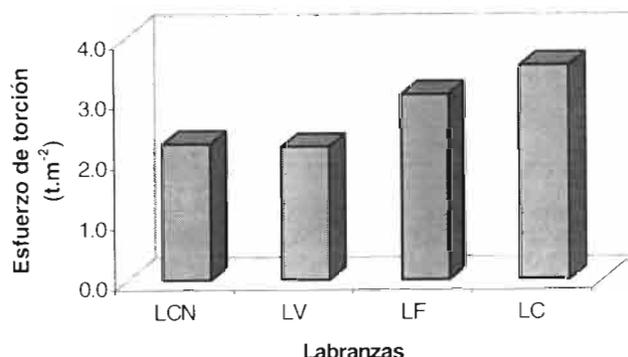


FIGURA 1. Esfuerzo de torsión de la capa superficial (t.m⁻²) en un suelo franco arenoso bajo el efecto de cuatro prácticas de labranza.

Estos resultados están relacionados al efecto de la profundización de cada sistema de labranza, es así que, se pueden relacionar los valores más bajos de RP de LCN a la acción de la profundización del implemento que en éste caso solamente logró penetrar hasta los 0.14 m, la profundidad de trabajo que tiene el sistema convencional está entre 0.10-0.15 m, mientras que LV profundizó con sus cinceles entre 0.17 y 0.20 m los valores de resistencia están próximos a ésta profundidad ya que éste sistema de labranza tiene capacidad de profundizar hasta 0.25 m cuando el suelo tiene una humedad optima de trabajo. Por lo expuesto, se puede considerar que estos resultados de RP están reflejando la dureza que presenta el suelo al no ser removido y en el que el paso de la maquinaria también va compactando permanentemente durante la siembra, fumigaciones y cosecha.

Considerando los valores críticos de RP en MPa para el desarrollo de las raíces, se puede indicar que la RP, registrada en éste estudio en los diferentes tratamientos, es limitante para el desarrollo radicular de los cultivos de acuerdo a los índices que reporta Blanchar et al. (1978) citado por Barber (1994), que considerara que 2 MPa son restrictivos para el crecimiento de las raíces, esto quiere decir, que a partir de los 0.14 m de profundidad el tratamiento LC ya limita el crecimiento normal de las raíces de los cultivos y que a partir de los 0.17 m de profundidad no sería posible su desarrollo, según este autor, los valores mayores a 3 MPa presentan una barrera de resistencia total al crecimiento radicular.

CUADRO 1. Valores de resistencia del suelo al Penetrómetro (MPa) bajo cuatro prácticas de labranza, en un suelo franco arenoso

Labranzas	Profundidad (cm)									
	3.5	7.0	10.5	14.0	17.5	21.0	24.5	28.0	31.5	35.0
Convencional	0.17	0.45 c	0.74 c	1.37 c	2.22 b	2.94 b	3.38 b	3.56	3.62	3.57
Vertical	0.17	0.44 c	0.75 c	1.15 d	1.69 c	2.66 c	3.08 c	3.48	3.58	3.54
Flexible	0.20	0.71 b	1.10 b	1.60 b	2.14 b	2.77 b	3.29 b	3.53	3.57	3.60
Cero	0.21	0.89 a	1.59 a	2.20 a	2.86 a	3.40 a	3.62 a	3.69	--	--
Significancia	NS	1 %	1 %	1 %	1 %	1 %	1 %	NS	ND	ND
CV (%)	19.49	12.1	8.63	7.65	5.79	3.80	3.72	2.77		

Densidad aparente

Los valores de DAP (Cuadro 2) en los cuatro sistemas de labranza muestran diferencias en las profundidades muestreadas. En la capa de 0.00-0.05 m LF y LC muestran tendencias de incremento de DAP, esto quiere decir, que bajo estos sistemas de labranza el suelo está más compactado que en los tratamientos que removieron el suelo y que aunque se aprecian diferencias más acentuadas en la profundidad de 0.05-0.10 m entre los mismos sistemas de labranza, se observa una menor tendencia de endurecimiento a la profundidad de 0.10-0.15 m, desapareciendo esas diferencias de

compactación, entre los cuatro sistemas de labranza, a la profundidad de 0.15-0.20 m. Estos resultados nos indican que la profundidad de dinámica de cambio estructural del suelo por efecto de las labranzas está hasta 0.15 m.

La tendencia de compactación superficial que muestran LC y LF medida a través de la DAP, parece estar relacionada al efecto del tráfico de la maquinaria y a la falta remoción del suelo por los implementos, al no ser removido el suelo sufre un proceso de compactación no solo antrópica, si no también natural. Resultados de mayor endurecimiento superficial en sistemas de LC han sido también reportados por otros autores en suelos con diferentes características edáficas (Centuriun et al., 1985)

CUADRO 2. Densidad aparente (g.cm^{-3}) en diferentes profundidades de un suelo franco arenoso bajo cuatro prácticas de labranza.

Labranzas	Profundidad (cm)			
	0 - 5	5 - 10	10 - 15	15 - 20
Convencional	1.39	1.41 b	1.51	1.50
Vertical	1.39	1.46 b	1.53	1.53
Flexible	1.50	1.56 a	1.60	1.51
Cero	1.47	1.55 a	1.57	1.53
CV (%)	3.19	2.53	2.33	2.50

Porosidad Total

Los valores de PPT del suelo bajo el efecto de los cuatro tratamientos de labranza, se presentan en la figura 2, se puede apreciar la reducción del PPT en un 3 % aproximadamente en los tratamientos de LF y LC, a una profundidad de 0.00-0.05 m. Una reducción mayor de los espacios vacíos se experimenta en LC y LF a la profundidad de 0.05-0.10 m, esas diferencias son superiores al 5% si comparamos con los valores representados de LCN. Los cambios en el PPT en la capa de 0.10-0.15 m son menores en los mismos sistemas de labranza y a la profundidad mayor de 0.15 m ya no es posible apreciar las diferencias. La reducción de los valores del PPT en los sistemas de labranza que no removieron el suelo, está indicando una compactación superficial del suelo con un aumento de los sólidos del suelo y una reducción del espacio poroso. Si continuara esta tendencia de compactación, el suelo bajo LC y LF requeriría una remoción superficial localizada (escarificación) para mejorar las condiciones de aireación y de enraizamiento de los cultivos.

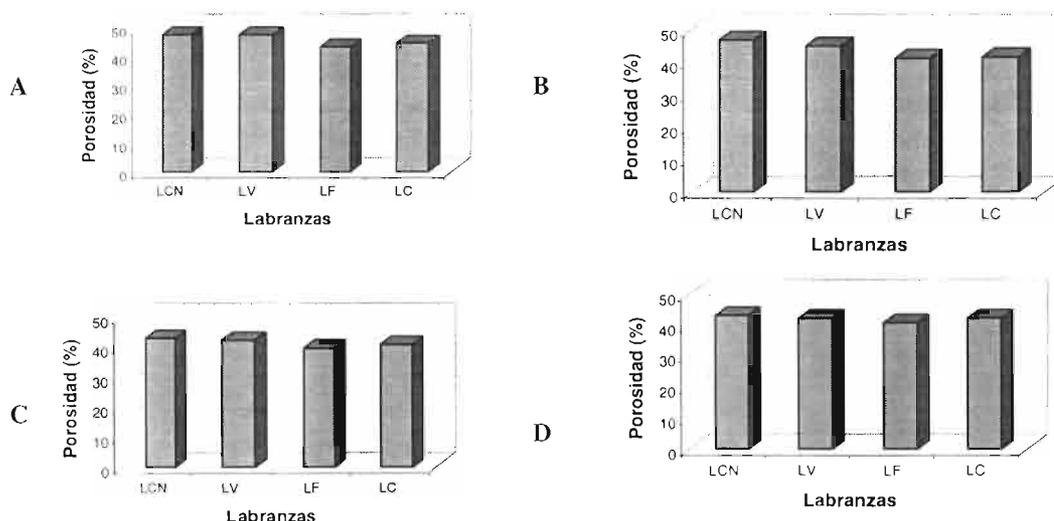


FIGURA 2. Porosidad total a una profundidad de 0.0-0.5 (A), 0.5-1.0 (B), 0.10-0.15 (C) y 0.15-0.20m (D) bajo el efecto de cuatro prácticas de labranza.

Retención del agua

Respecto a las curvas de retención de humedad (Cuadro 3 A, B y C), existen diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos de labranza a las profundidades muestreadas. Sin embargo, se puede apreciar que a la profundidad de 0-0.05 m los tenores de humedad son más altos en los tratamientos de LC y LF a tensiones de 0.1 y 0.3 bares, mientras que a la profundidad de 0.05-0.10 m únicamente en la tensión de 0.1 bar se aprecia alguna diferencia, en las otras tensiones no se aprecian diferencias en el contenido del agua del suelo. Estos resultados de retención de agua están directamente relacionados a la acumulación superficial de materia orgánica en las parcelas de LC y LF desde el año que se implantó el ensayo (invierno 1989) donde los residuos de las cosechas en la superficie sufren un proceso más lento de descomposición, siendo ésta la causa de mayor acumulación de materia orgánica en bajo la superficie en comparación a los sistemas de labranza que remueven el suelo, ésta observación fue reportada por Soruco (1994) en una evaluación anterior de éste mismo ensayo. Resultados de mayor retención de agua en suelos que no han sido removidos por los implementos de labranza han sido informados por otros autores (Centurion et al., 1985)

CUADRO 3 Valores de humedad de suelo (%) a diferentes tensiones en cuatro sistemas de labranza a profundidades de 0-0.5 (A), 0.5-0.10 (B) y 0.10-0.15 cm (C) en la EEAS. Invierno 1994.

A

LABRANZAS	Presión (Bares)					
	0.1	0.3	0.5	3.0	9.0	15.0
L. Convencional	14.8	12.1	10.8	6.1	4.6	4.5
L. Vertical	13.1	11.7	9.4	5.9	4.9	4.3
L. Flexible	15.9	13.1	11.7	6.3	4.9	5.2
L. Cero	15.2	13.2	10.4	6.3	5.0	5.1
Nivel de Significancia	NS	NS	NS	NS	NS	NS

B

LABRANZAS	Presión (Bares)					
	0.1	0.3	0.5	3.0	9.0	15.0
L. Convencional	14.6	12.1	10.6	6.2	4.8	4.6
L. Vertical	13.0	11.9	9.3	6.1	5.0	4.5
L. Flexible	15.8	13.1	11.7	6.9	4.9	5.3
L. Cero	15.1	12.5	9.9	6.3	4.9	5.3
Nivel de Significancia	NS	NS	NS	NS	NS	NS

C

LABRANZAS	Presión (Bares)					
	0.1	0.3	0.5	3.0	9.0	15.0
L. Convencional	14.5	12.0	11.0	6.0	4.5	4.4
L. Vertical	13.8	12.3	10.5	6.3	4.3	4.0
L. Flexible	14.2	12.1	9.8	6.1	4.7	4.4
L. Cero	14.4	12.4	10.7	6.5	4.6	4.3
Nivel de Significancia	NS	NS	NS	NS	NS	NS

CONCLUSIONES

- Los resultados de ET, RP, DAP y PPT indican una tendencia de compactación sub-superficial en LC y LF en un periodo de 11 campañas agrícolas.
- La retención del agua es superior en la capa superficial del suelo en LC y LF a bajas tensiones de succión.

BIBLIOGRAFIA

Barber, R.G., 1994. La degradación de los suelos en el trópico de Bolivia. Santa Cruz, Bolivia, CIAT/MB.

Centurion, J.F, Dematte, J.L.J. y Fernández, F.M., 1985 Efeitos de sistemas de preparo nas propriedades físicas de un solo sob cerrado cultivado con soja. R. bras. Ci. Solo, 9:267-270.

Soruco, M. A.,1994. Efecto de sistemas de labranza en las propiedades del suelo y el rendimiento del cultivo de maíz. Santa Cruz, Universidad Autónoma Gabriel René Moreno, (Tesis de grado).

Sistemas de labranza para suelos salinos

Dominique Hervé¹, Víctor Mita² y Bernardo Paz²

1 IRD-CIP/CONDESAN. Apartado 1558. Lima 12, Perú. Teléfono 3496017. Fax 3495638.

email:d.herve@cgiar.org.

2 Tropandes (IRD-IE). La Paz, Bolivia. email: victormita@hotmail.com

RESUMEN

Mejorar los sistemas de labranza para cultivar suelos salinos es un reto para el sur del Altiplano boliviano. Se comparó durante dos años (1994-95 y 1995-96) el surcado en faja con discos, practicado por los campesinos de la provincia Villaroel, y el subsolado a 50 cm de profundidad solo o combinado con el surcado. Se buscaba así romper la costra en suelos muy arcillosos y llevar las sales a mayor profundidad que los horizontes colonizados por las raíces de los cultivos de quinua (raíz pivotante), cebada y triticale (raíces fasciculadas). Se instalaron los tratamientos en dos parcelas de textura similar con suelos salinos y salino-sódicos. Se evaluó en 1995-96 la estabilidad estructural, el pH y la conductividad eléctrica, durante cinco fechas del ciclo de cultivo, en cinco profundidades del suelo (superficie, 0-10, 10-20, 20-50, más de 50 cm).

El laboreo con subsolador se debe combinar con un surcado de discos para una correcta instalación de los cultivos, favorece un mayor almacenamiento de agua, penetración de los sales en profundidad y desarrollo radicular. Su efecto es altamente significativo para el suelo salino y no significativo para el suelo más salino-sódico. No se descarta un efecto de la posición relativa del surco en relación al camellón y a la tabla de escurrimiento intersurcos.

INTRODUCCION

La mayoría de los suelos del Altiplano Central boliviano presentan características desfavorables: densidad aparente elevada y porosidad total baja, bajo contenido en materia orgánica, escasa cobertura del suelo por la vegetación, y en muchas zonas, problemas de salinidad (Salm, 1993). Bajo un clima árido a semiárido, la elevada evaporación, la insuficiencia de las precipitaciones para lavar y transportar los sales, el drenaje limitado y la baja permeabilidad de los suelos acentúan los problemas de los suelos salinos (Allison, 1993). En este estudio consideramos suelos salinos y salino-sódicos de la provincia Gualberto Villaroel que no reciben riego del río Desaguadero.

Estos suelos salinos se constituyen a partir de depósitos sedimentarios ricos en yeso, el sodio no es eliminado por drenaje debido a condiciones climáticas áridas. Los sales suben por vía capilar y forman efflorescencias blancas en la superficie del suelo. El cultivo del horizonte A, arcilloso, estructurado en agregados angulosos, necesita de muchas precauciones en particular para la labranza. La evolución de suelos salinos, que tienen suficientes sales solubles, hacia suelos alcalinos con una tasa elevada de sodio intercambiable, conduce a una baja de fertilidad y posibilidad de uso de estos suelos. Se trata, entonces, de mantener una capacidad productiva durante el ciclo de cultivo y, de ser posible, extenderla a algunos años sucesivos de cultivo. Para ello, jugando con la baja ocurrencia de las precipitaciones (250 mm de diciembre a abril), se debe fabricar un estado del suelo favorable a la penetración radicular y a la extracción de nutrientes por los cultivos, en los horizontes colonizados por las raíces y que se mantenga favorable durante el tiempo de crecimiento de los cultivos.

Los agricultores de la provincia Gualberto Villaroel practican una roturación con discos en fajas distanciadas de 3 a 10 m donde siembran en línea. El agua de lluvia escurre en las superficies encostradas situadas entre dos líneas de siembra, que tienen muy baja tasa de infiltración, y se estanca en los surcos abiertos con discos, permitiendo un lavado de sales al pie de las plantas cultivadas. Además, semillas de especies nativas pueden ser llevadas por el agua de escurrimiento o el viento y entramparse en estos surcos.

En un diseño experimental de parcelas divididas con tres repeticiones, conducido en parcelas campesinas, se compara el uso de un arado de discos (3 cuerpos) con un subsolador (1 cuerpo, tractor 90HP), durante dos campañas agrícolas, en dos suelos del Altiplano Sur boliviano (salino y

salino-sódico). Se evalúa los efectos del trabajo en el suelo sobre la salinidad del mismo, mediante la conductividad eléctrica y el pH y sobre el rendimiento de especies cultivadas, muy diferenciadas en cuanto al sistema radicular (quinua con raíz pivotante y cebada y triticale con raíz fasciculada).

MATERIALES Y METODOS

La investigación se realizó en la provincia Gualberto Villaroel del departamento de La Paz, entre los paralelos 17°47' latitud sur y 67° 38' longitud oeste, a una altitud de 3800 msnm. Se instalaron los diseños experimentales en dos comunidades, Laruta y San Miguel, en suelos arcillosos sin piedras (Cuadro 1).

En 1994-95, se compararon dos parcelas, con suelo salino en Laruta 1 y con suelo salino-sódico en San Miguel. En 1995-96 se estudiaron dos parcelas en Laruta: Laruta 2 con presencia de *Ch'iji* (*Distichlis humilis*) y *Mulhenbergia fastigiata*, especies indicadoras de suelos salinos y Laruta 3 con una escasa cobertura vegetal de *k'hota* (*Antrobrium triandrum*), característica de suelos salino-sódicos. En ambas parcelas, se sembró quinua (variedad Sajama), cebada criolla y triticale (variedad Renacer). Por razón de espacio, se presentaron solamente algunas figuras correspondientes a cada parcela, pero el tratamiento estadístico se aplicó a ambas parcelas.

CUADRO 1. Parcelas experimentales, campañas 1994-95 y 1995-96.

Campaña	Suelo salino	Suelo salino-sódico
1994-95 Quinua	Laruta 1 (muestra 12/94) pH agua ≤ 8.7 CE = 3.7 [2 - 6] Na < 24% y cloruros muy bajos. Arcilla + limo fino entre 80% y 90%, con alrededor de 10% de arena fina; nivel limo-arenoso a partir de 1.20 m.	San Miguel (muestra 12/94) pH agua ≥ 8.7 CE = 5.8 [5 - 6.5] Na > 24% y cloruros altos. Arcilla + limo fino superior a 90%; no hay arena.
1995-96 Quinua, cebada, triticale. 12/95-06/96 : 252.5 mm en San José Alto (promedio 1960-1990 menos 11%)	pH agua ≤ 8.7 , Laruta 2 CE = 4.2 [1.4 - 11.7] (muestra 02/96) Laruta 3 CE = 4.6 [1.5 - 15.7] (muestra 12/95)	

CUADRO 2. Análisis físico-químico de los suelos estudiados. Suelo salino Laruta 1 (1994).

Prof. (cm)	CE (mS·cm ⁻¹)	pH Agua	Arena 0.5-2mm %	Limo grueso 0.02-0.05 mm %	Limo Fino 0.002-0.02 mm %	Arcilla < 0.002 mm %	Ca	Mg	Na	K	HCO ₃	Cl	SO ₄
							meq.100gr ⁻¹						
0-20	2.36	8.4	8.30	5.52	36.87	49.31	1.87	0.2	23.36	0.39	0.20	22.65	1.82
20-40	5.53	7.9	5.92	5.0	42.47	46.61	1.87	0.2	23.77	0.39	0.17	22.69	1.83
40-60	6.07	8.2	6.40	6.08	41.19	46.33	1.37	0.15	16.33	0.36	0.22	18.24	1.57
60-80			6.17	6.10	30.03	57.70							
80-100			1.33	3.48	68.28	26.91							
<120	3.17	8.7	14.81	18.83	47.95	18.41	1.76	0.11	11.26	0.26	0.13	11.27	2.04
<160	1.96	8.9	52.86	14.47	23.81	8.86	0.57	0.04	6.50	0.16	0.12	6.43	1.02
<180	2.97	8.6	26.12	12.25	37.52	24.11	2.03	0.12	10.20	0.29	0.10	9.99	2.23

CUADRO 3. Análisis físico-químico de los suelos estudiados. Suelo salino-sódico San Miguel (1994)

Prof. (cm)	CE (mS. cm ⁻¹)	pH Agua	Arena 0.05-2 mm %	Limo grueso 0.02-0.05 mm %	Limo fino 0.002-0.02 mm %	Arcilla < 0.002 mm %	Ca	Mg	Na meq.100gr ⁻¹	K	HCO ₃	Cl	SO ₄
0-20	6.21	8.7	1.42	1.98	42.11	54.49	0.69	0.14	34.82	0.32	0.29	35.26	3.08
20-40	6.48	8.9	0.43	1.99	48.79	48.79	0.57	0.14	24.92	0.44	0.17	21.27	2.31
40-60	5.53	8.8	0.39	1.73	45.22	52.66	0.40	0.14	24.97	0.23	0.39	20.06	2.38
60-80	5.06	8.7	0.56	2.01	53.23	44.2	1.14	0.14	21.53	0.27	0.27	16.22	5.58
80-100	5.53	8.7	0.62	0.98	50.28	48.12	3.69	0.14	24.05	0.36	0.21	14.54	11.03
100-120	5.80	8.9	0.51	1.99	46.5	51.0	0.42	0.14	26.86	0.25	0.42	22.42	2.6

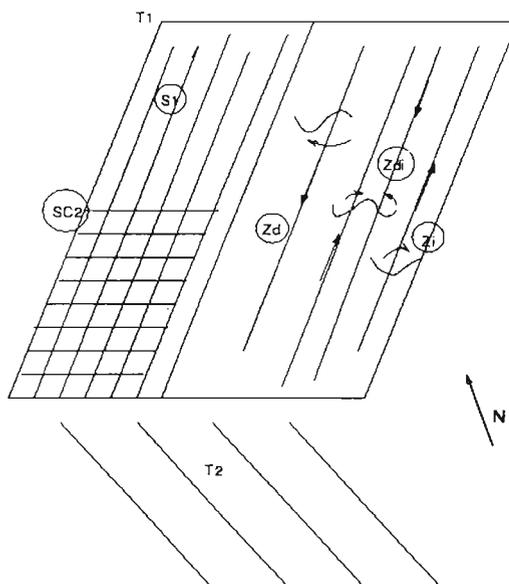
El suelo en Laruta 1 presenta un horizonte más limoso en 80-100 cm y un horizonte arenoso filtrante en 120-160 cm. Los valores de pH, conductividad eléctrica y los iones Na⁺, Cl⁻ y SO₄⁻ son inferiores a los del suelo de San Miguel compuesto de arcilla limosa hasta 120 cm (Cuadros 2 y 3).

La estabilidad estructural, definida por el índice de inestabilidad log₁₀I_s y el índice de percolación log₁₀K (Henin et al, 1972 ; Ramos y Hervé, 1996), mide la resistencia a la degradación del estado superficial del suelo. Es un indicador muy importante de tomar en cuenta para el manejo de suelos salinos. En 1994-95, se caracterizó la estabilidad estructural de los suelos de Laruta 1 y San Miguel, resultaron mucho más inestables y menos permeables que suelos franco-arenosos del Altiplano Central (Hervé y Ramos, 1995). En 1995-96 estas estimaciones se complementaron diferenciando las posiciones microtopográficas que resultaron del laboreo.

El arado de discos con el que se trabajó no es reversible, efectúa zanjas por los lados derecho e izquierdo, alternativamente, dejando un área de captación del agua entre camellón y surco de 1.5 m de ancho.

Campaña 94-95

El objetivo era comparar el surcado con discos en zanja (una o dos zanjas para una línea de siembra) y el subsolado (uno o dos cortes perpendiculares con subsoladora) en dos situaciones, salina y salino-sódica. El diseño experimental incluye dos testigos T1 sin roturar y T2 surcado tradicional con discos, y cinco tratamientos: S1, una pasada del subsolado; SC2, dos pasadas cruzadas del subsolado; Zd, surcado con discos lado derecho; Zi, surcado con discos lado izquierda; Zdi, doble surcado con discos, ida y vuelta en líneas vecinas (Figura 1).

**FIGURA 1.** Parcela experimental Laruta 1.

Campaña 95-96

El objetivo era comparar el surcado con discos (lado derecho o izquierdo) y el surcado después de un subsolado. El diseño experimental fue de parcelas divididas con cuatro tratamientos y tres repeticiones, con un testigo sin roturar y cuatro tratamientos: zd, zanja derecha; zi, zanja izquierda; szd, subsolado zanja derecha; szi, subsolado zanja izquierda (Figura 2).

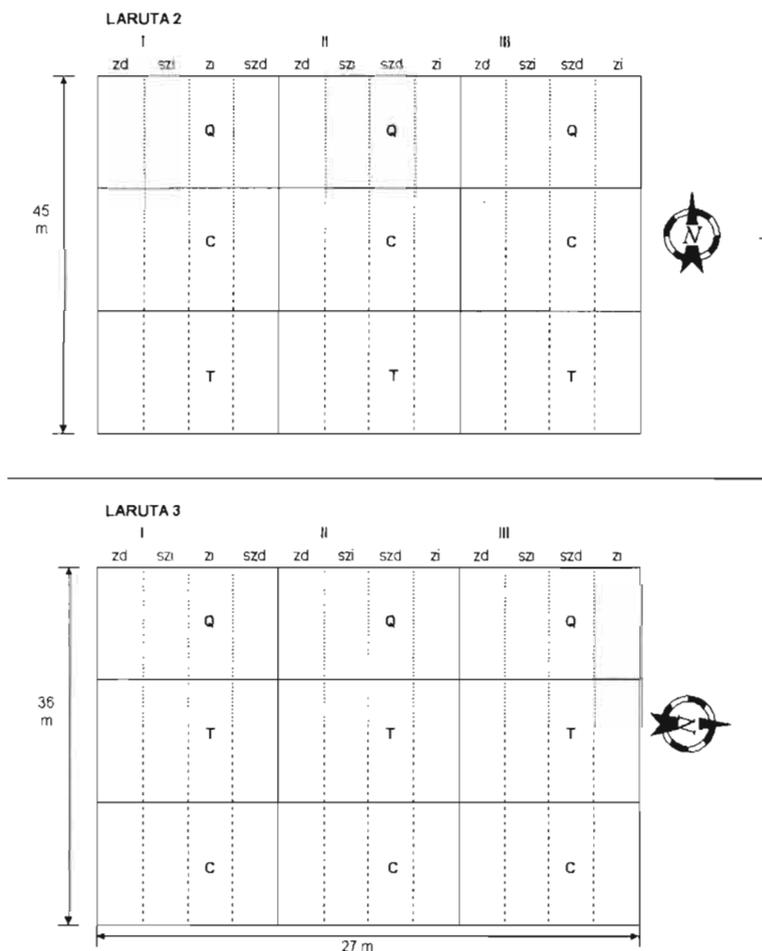


FIGURA 2. Diseño experimental (4 tratamientos, 3 repeticiones).

El suelo fue roturado el 20/12/95 y se sembró el 21/12/95 quinua (Sajama, 15 kg.ha⁻¹), cebada criolla (100 kg.ha⁻¹) y triticale (Renacer, 126 kg.ha⁻¹). Con el objetivo de controlar el lavado de sales en diferentes profundidades, se determinó la textura del suelo, la calidad de las arcillas y la estabilidad estructural en una sola fecha (1/05/96), la conductividad eléctrica (mS.cm⁻¹) en cinco fechas (12/12/95, 17/02/96, 1/04/96, 21/05/96, 2/07/96) de manera de incluir el ciclo de cultivo y en cinco profundidades (superficie, 0-10 cm, 10-20, 20-50 y más de 50 cm) para evaluar el efecto del laboreo. Después de 120 días de haber realizado el laboreo, se observó el perfil cultural en una calicata en cada uno de los dos tratamientos, zanja y zanja-subsolado. Considerando las limitaciones para un acceso frecuente a las parcelas experimentales, se evaluó solamente la altura de plantas a los 102 días y la materia verde y seca a la cosecha, a los 135 días, cuando la quinua estaba en estado fisiológico de grano lechoso, la cebada y el triticale en estados de grano masoso. Se adelantó la cosecha antes de las heladas más fuertes para poder evaluar la biomasa verde producida.

RESULTADOS

Tipo de suelo, tipo de arcilla

El análisis del perfil cultural nos muestra que todos los horizontes son macizos, de textura arcillosa a arcillo-limosa y con una estructura columnar o de bloques angulares. En los primeros 10 a 20 cm, la densidad de raíces y estolones sub-horizontales de la vegetación nativa es alta. En todos los horizontes, la presencia de concreciones blancas y de manchas anaranjadas indica depósitos de yeso.

Las arcillas fueron determinadas, en ambos sitios, por análisis difractométrica en el laboratorio LFS del IRD (ex-ORSTOM) en Bondy, Francia (10/01/95). Son arcillas micáceas de tres capas con hojas de espesor constante, de tipo illita (dioctaedrico de tipo muscovita), con un poco de mineral estratificado irregular de smectita-illita, un poco de clorita, signos de caolinita, hematita, un poco de cuarzo y solamente en San Miguel, un poco de calcita. La fijación enérgica del K^+ en forma no intercambiable asegura la solidez de las hojas, su eliminación y la disminución de las cargas negativas globales provocarían la apertura de las hojas y la substitución por cationes Ca^{++} o Mg^{++} de mayor dimensión.

Campaña 1994-1995

Estabilidad estructural y resultado del laboreo

Los suelos salinos son menos estables y menos permeables que los suelos franco-arenosos del Altiplano Central. Las muestras de San Miguel, salino-sódicas, se diferencian de las de Laruta, salinas, por su mayor inestabilidad estructural (Figura 3). Como consecuencia de esta inestabilidad, los terrones fabricados por el laboreo tienen una tendencia a incorporarse a la costra, empezando por los de menor tamaño, influyendo en el espesor de la misma.

El resultado del subsolado es cortar y sublevar tablas de una capa espesa de suelo encostrado, consolidadas por una red densa de estolones y raíces. Las posibilidades de germinación se encuentran limitadas a los terrones situados debajo de estas tablas. El trabajo con discos abre un surco y voltear la tierra de un lado, los terrones formados quedan sobre la costra intacta.

Resumen de la comparación entre tratamientos

En el testigo 1, no roturado, la conductividad no varía y el pH decrece hasta en una unidad en el horizonte superficial y a la profundidad de 40 - 50 cm. En el testigo 2, zanjas hechas con discos espaciadas varios metros, la conductividad baja mucho en los terrones y sube mucho en los surcos, traduciendo el efecto del escurrimiento superficial. La humedad fluctúa, sin aumentar, entre los 20 y 60 cm. El pH baja en todos los horizontes de 0.5 a 1 unidad.

Con un trabajo de subsolado, se ve un decremento de la conductividad en todos los horizontes, salvo en la superficie donde aumenta, con valores máximos que son el doble del valor de los horizontes. La humedad en el suelo aumenta con el tiempo hasta los 40 cm de profundidad y se mantiene estable a mayor profundidad. Paralelamente, el pH disminuye en 0.5 unidades en el horizonte superficial y en 2 unidades en los otros horizontes. Se constata la misma evolución de la humedad, la conductividad y el pH cuando se cruza las líneas de subsolado. No se mejoraron las características del perfil duplicando las pasadas con subsoladora, además, este tratamiento resultaba bastante costoso.

En los tratamientos de surcado con zanjas, distinguimos el surcado derecha (Zd) del surcado izquierda (Zi). En el primer caso, la humedad en el perfil va aumentando en la segunda o tercera fecha de muestreo y queda luego estable; la conductividad es muy baja, salvo en la superficie en la última lectura y el pH es fluctuante, solo baja en la superficie. En el segundo tratamiento (Zi), la humedad del suelo se mantiene alta desde la primera fecha, excepto en la superficie; la conductividad es casi nula desde la tercera fecha de muestreo y, al mismo tiempo, muy alta en la superficie del suelo; el pH baja solamente en la superficie en 1.5 unidades. Globalmente, el tratamiento Zi parece más favorable que el tratamiento Zd.

Arando dos surcos con discos se pensaba reunir el agua de escurrimiento de ambos lados, pero no se observó una mejora significativa. La conductividad baja solamente en las últimas fechas de muestreo, mientras crece hasta la última lectura en la superficie; la humedad en el perfil es inferior a la de los dos tratamientos anteriores y el pH disminuye solo en la superficie en media unidad.

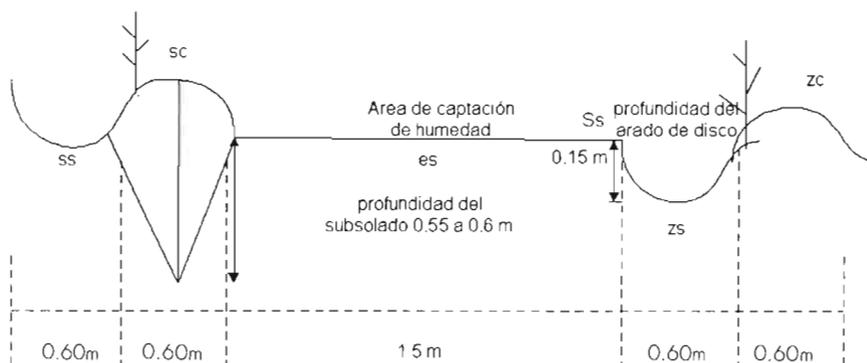
Los perfiles de las curvas de evolución de las variables, nos demuestran que el tratamiento con una pasada de subsoladora supera el tratamiento de surcado con zanja por que disminuye la conductividad eléctrica, pero no resulta favorable a la emergencia y desarrollo de los cultivos. Por esta

razón, se programó una segunda campaña para experimentar una combinación de subsolado con surcado.

Campaña 1995-96

Resultado del laboreo

Se afinaron las determinaciones de estabilidad estructural, según las posiciones microtopográficas presentadas en la figura 4. Se presentan en la figura 5 los resultados de la parcela Laruta 2. Se diferencian la área del surco y la área de costra sedimentaria no removida, entre camellón y surco, que constituye una tabla de escurrimiento hacia el surco. Los tratamientos de surcado en zanja y surcado sobre subsolado son ambos muy inestables. Las situaciones entre surcos son ligeramente más inestables que las situaciones sobre surco, pero tienen la misma impermeabilidad. Las situaciones en camellón tienden a ser más estables y más permeables que las situaciones en surco, cualquier sea el tratamiento, es justamente en el límite entre camellones y surcos que se siembran en general los cultivos.



- sc = subsulado camellón
- ss = subsulado surco
- zc = zanja camellón
- zs = zanja surco
- Ss = Sobre surco
- es = entre surco

Figura 4. Microtopografía resultante del laboreo

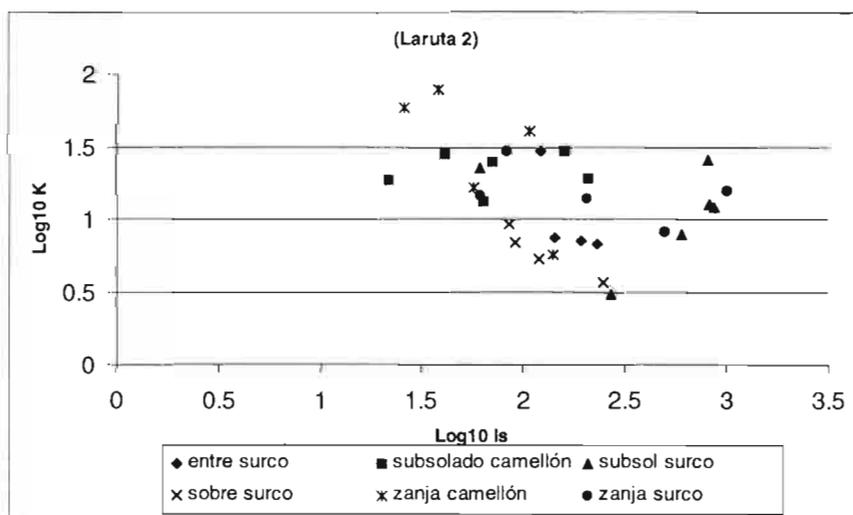


FIGURA 5. Estabilidad estructural en posiciones microtopográficas y según tratamientos (Laruta 2).

Apreciamos en la figura 6 el resultado del laboreo en el perfil del suelo. El trabajo con subsolado alcanzó 50-55 cm de profundidad y con discos 15 cm de profundidad. Debajo de los terrones que resultan del trabajo con discos, las raíces no logran traspasar la costra no removida al lado del surco. Después que el subsolado ha roto esta capa compacta, las raíces más largas no penetran directamente el horizonte arcilloso (Figura 6a), pero colonizan el área removida por el subsolado donde se encuentra mayor humedad (Figura 6b).

Comparación entre tratamientos

Conductividad eléctrica y pH

La evolución en Laruta 3 de la conductividad eléctrica en función de las fechas de muestra y de los tratamientos se presenta en la figura 7. La fecha 1 indica el estado inicial, las fechas 2 y 3 el ciclo de cultivo, las fechas 4 y sobre todo 5 el inicio de la desecación del perfil después del cultivo. La conductividad es muy elevada en la costra y en los 0-10 cm en la fecha 1, baja entre 2 y 4 $\text{mS}\cdot\text{cm}^{-1}$ desde la fecha 2, se mantiene baja con fluctuaciones en los horizontes 10-20 y 20-50 y entre 2 y 8 $\text{mS}\cdot\text{cm}^{-1}$ a más de 50 cm de profundidad. En la costra superficial se encuentra en julio una conductividad más elevada que en diciembre, antes del laboreo.

La variación correspondiente del pH es menor (Figura 8). El suelo subsolado tiene un pH inferior de hasta media unidad al surcado en la primera fecha desde la superficie hasta 20 cm, esta relación se invierte desde la segunda fecha para luego estabilizarse. En la superficie, desde la tercera fecha, el pH no presenta variaciones según los tratamientos, entre los 0-10 cm fluctúa debajo de 7, entre los 10-20 cm fluctúa entre 7 y 8, finalmente, entre 20 cm y más de 50 cm de profundidad varía con valores mayores a 8. En todos los casos no se observa diferencias significativas y estables entre los tratamientos.

Las curvas de conductividad en función de la profundidad (Figuras 9 y 10) son bastante similares entre tratamientos. Demuestran que el proceso de lavado de los sales en 0-50 cm se realiza entre la primera y la segunda fecha, con una disminución de la conductividad por debajo de 4 $\text{mS}\cdot\text{cm}^{-1}$ en los 20-50 cm y una recarga resultante en el horizonte 50-80 cm. Los datos de precipitación diaria confirman esta interpretación.

La germinación e instalación de los cultivos se logró con 29 mm de precipitación caídos después de la siembra. Los 96 mm de precipitación entre el 15 y el 18 de enero 1996, seguidos de 29 mm espaciados, fueron suficientes para drenar las sales dentro del perfil hasta profundidades superiores a 50 cm, cuando así lo permitía el trabajo profundo del suelo. Las precipitaciones de 55 mm en marzo y 21 mm en abril permitieron a los cultivos completar su ciclo.

La mayor variabilidad de conductividad se observa en el horizonte 50-80 cm. La conductividad tiende a invertirse a partir de la fecha 5. Entre las fechas 4 y 5, su valor disminuye a más de 80 cm de profundidad y aumenta mucho en la superficie del suelo, en la etapa final la conductividad de la costra es más elevada que al principio en casi todos los tratamientos.

Comprobamos este análisis con modelos lineales bajo SAS (Cuadro 4) a diferentes profundidades del suelo, con tres factores explicativos de la conductividad eléctrica: parcela (2 modalidades), tratamiento (4 modalidades) y fecha (F2 y F3 durante el cultivo, F2 a F4 en la etapa de drenaje de sales, F4 y F5 en la etapa de desecación post-cultivo). La conductividad del suelo, debajo del subsolado, resulta significativamente mayor en Laruta 3 que en Laruta 2 en la etapa de drenaje. Este resultado revela las diferencias entre los perfiles de suelo de ambas parcelas. En orden de significación, los tratamientos se clasifican como sigue: $z_i > s_{z_i}$, $z_i > z_d$ y $s_{z_d} > s_{z_i}$. En la etapa de desecación, o sea de circulación ascendente de los sales en suspensión, el factor parcela no es significativo. El tratamiento con menor conductividad es, también en este caso, el de subsolado-zanja.

CUADRO 4. Análisis estadístico de la CE por parcela, fecha y tratamiento.

Factores	Modelo	Grados de libertad	F calc.	Probabilidad
1) Fechas F2, F3; Prof. 0-20 cm	Modelo	15	0.66	0.6651 NS
2) F2, F3, F4; Prof.>50 cm	Modelo	23	3.66	0.0162 S
	Parcela		9.46	0.0068 HS
	Tratamiento		3.72	0.0319 S (zi>sz)
3) F4, F5; Prof. >50 cm	Modelo	15	3.73	0.0363 S
	Tratamiento		4.93	0.0236 S (zi>sz)

Cultivos

A los 102 días, la altura de plantas es mayor en los tratamientos de subsolado + zanja en comparación de zanja solo, cualquier sea el cultivo.

El rendimiento muy bajo de la cebada en Laruta 3 se debe a la incidencia de roya, por ello, nos limitaremos a comparar los resultados en quinua y triticale (Cuadro 5). Los resultados en Laruta 2 son muy superiores a Laruta 3, a la inversa de la conductividad eléctrica de los suelos de ambas parcelas. Esta diferencia de rendimiento es más importante para triticale (1 a 6) que para quinua (1 a 4) por ser la gramínea más sensible a la salinidad. Los modelos que explican el rendimiento de MS de triticale y de quinua por parcela, bloque y tratamiento resultan altamente significativos ($ddl = 23$, $Pr < 0,001$). En ambos cultivos sale primero el efecto de la parcela (HS) y luego del tratamiento (S), sin significancia de bloque.

La combinación subsolado-zanja logra duplicar la producción de biomasa en ambos cultivos, sin diferencia significativa según la orientación del surco (cuadro 6).

CUADRO 5. Rendimiento promedio en MS ($kg \cdot ha^{-1}$)

Cultivo	Laruta 2	Laruta 3
Quinua	341.6 A	97.2 B
Triticale	618.9 A	106.7 B
Cebada	470.9 A	24.5 B

CUADRO 6. Efecto de los tratamientos en el rendimiento MS ($kg \cdot ha^{-1}$)

Tratamiento	Triticale	Quinua
Szi	568.4 A	335.28 A
Szd	461.1 AB	296.62 A
Zi	225.0 B	126.53 B
Zd	196.6 B	119.03 B

CONCLUSIONES

- El laboreo con el arado subsolador afloja el horizonte compacto arcilloso favoreciendo el drenaje de las sales en profundidad fuera del alcance de las raíces y permite un mejor crecimiento de los cultivos en comparación al tratamiento de zanja con disco. Se recomienda, en todo caso, combinar el paso del subsolador con un surcado con discos para facilitar la instalación de los cultivos. Es preferible adelantar la fecha de laboreo profundo para asegurarse que este se ha realizado antes de las precipitaciones concentradas que conllevan un drenaje de las sales.
- El efecto del subsolado sobre el rendimiento es significativo en quinua como en cereales, en suelos salinos. La reducción de la conductividad eléctrica que resulta de este laboreo en el suelo colonizado por las raíces es temporal, desde la fecha 5 (2/07/96), la tendencia se invierte. Quedan por precisar las condiciones de introducción de kauchi o de alfalfa después de un primer año de cultivo.
- En suelos arcillosos existe el riesgo de que el efecto benéfico del subsolado no se mantenga varios años seguidos. Estaba prevista la observación de calicatas en 1996 en las parcelas cosechadas en 1995, para comprobar si el dren creado por la subsoladora seguía funcionando,

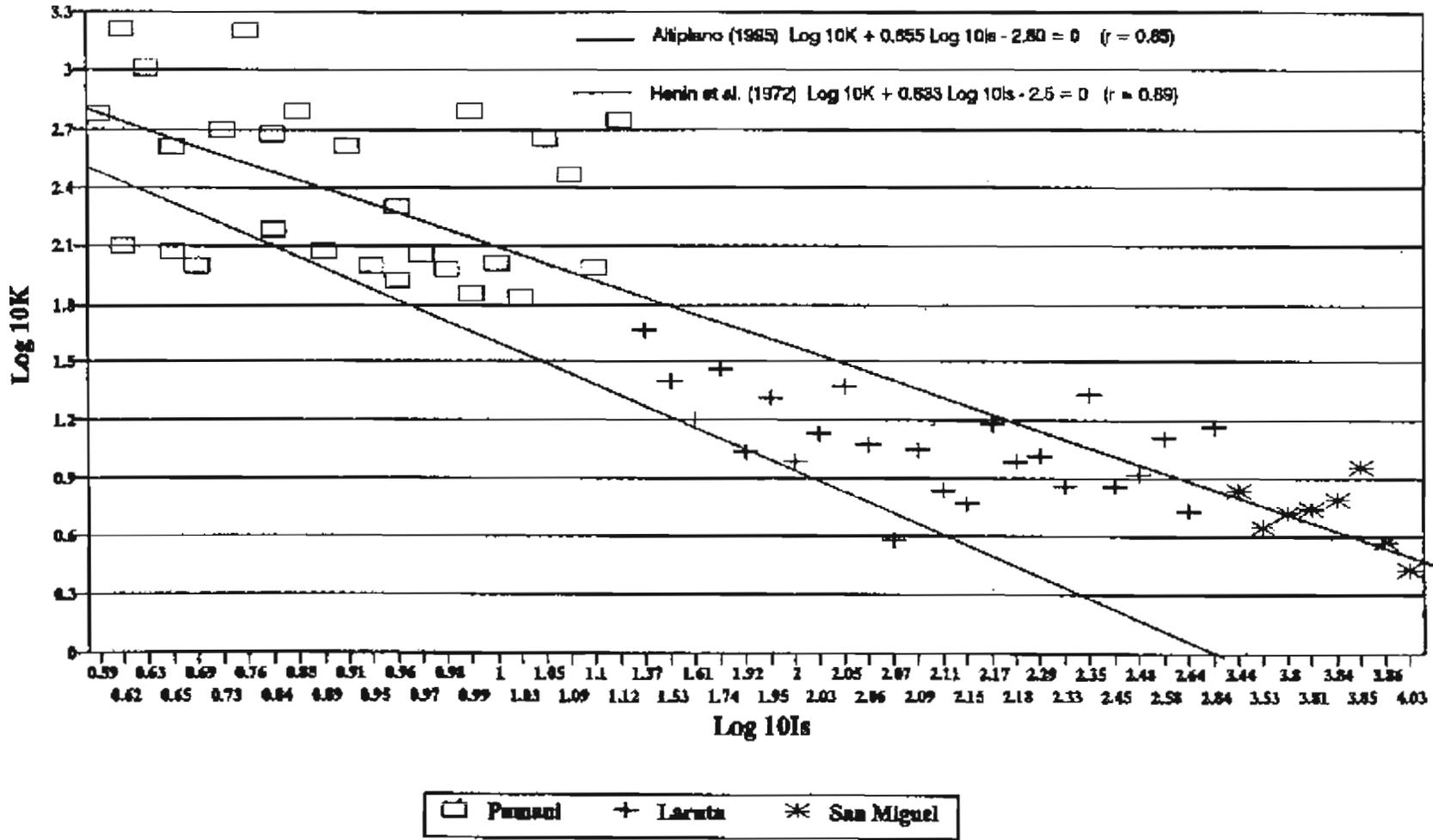


FIGURA 3. Estabilidad estructural de suelos del altiplano central boliviano.

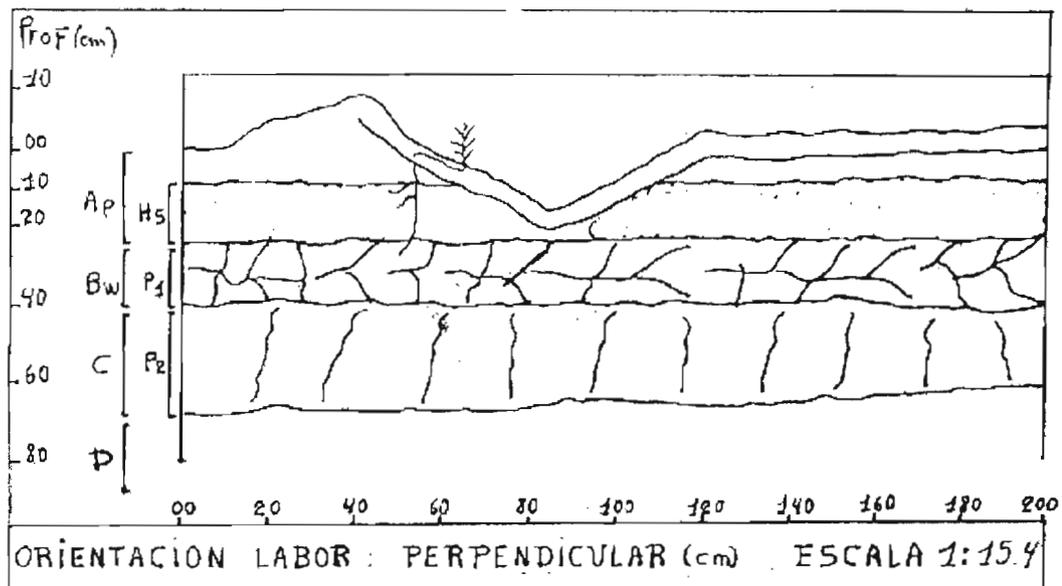
pero no se pudo realizar la observación. También, la subsoladora ha sido modificada para incorporar guano de ovino, abundante en la zona, dentro de la zanja abierta por la reja, de manera a mantener más tiempo en actividad la fisura creada en el horizonte arcilloso.

- No se descarta un efecto de la posición relativa del surco en relación al camellón y a la tabla de escurrimiento intersurcos dejada sin laboreo. La diferencia de conductividad eléctrica observada no se traduce en diferencias de rendimiento. No se tiene actualmente un cuadro explicativo del mejor resultado del surcado en zanja izquierda. Observaciones acompañando la difusión de este sistema de labranza permitirían comparar diferentes anchos de tablas de escurrimiento y realizar el balance económico correspondiente.

AGRADECIMIENTOS

Se agradece al IRD por el financiamiento de la primera campaña (IBTA-IRD, 1994-95), a CONDESAN por el financiamiento de la segunda campaña experimental (Fondos a concurso, IBTA-CONDESAN, 1995-96) y a YUNTA por facilitar los contactos y la logística en la provincia Villarroel.

a. Trabajo con arado de discos



b. Trabajo con subsolador y arado de discos

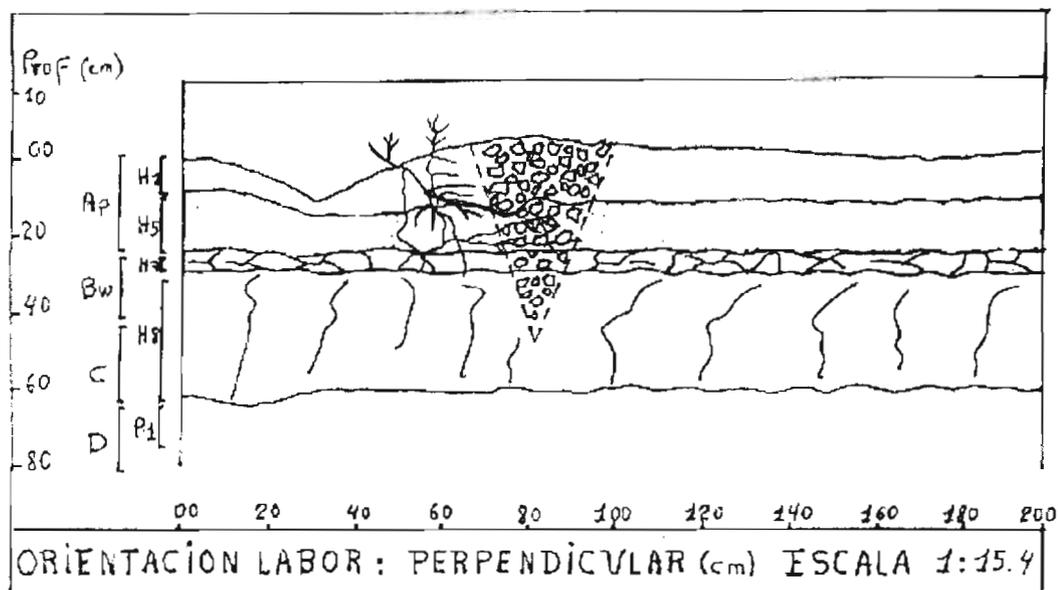


FIGURA 6. Modificación del perfil del suelo por efecto de la labranza (Laruta 2).

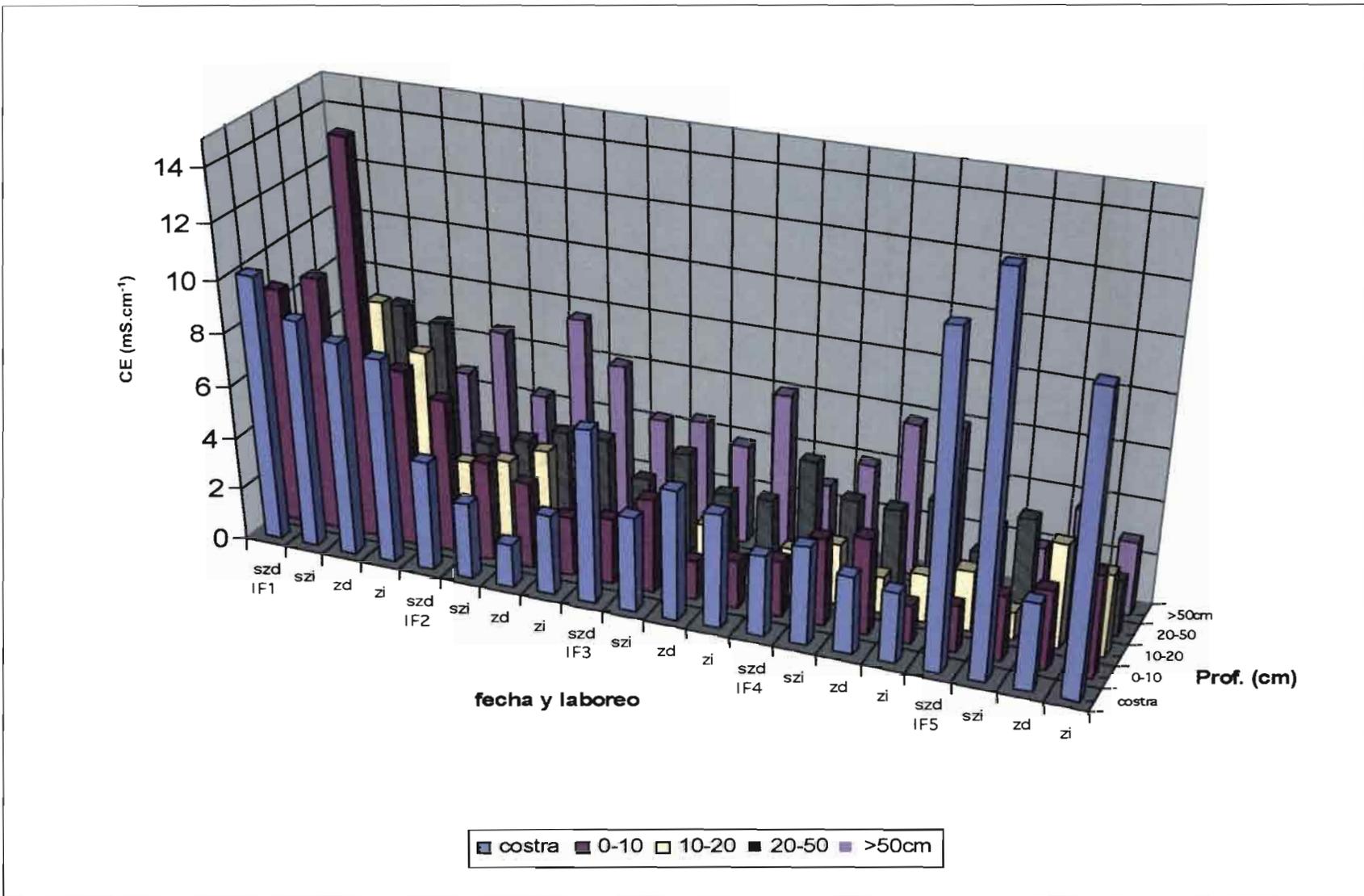


FIGURA 7. Evolución de la conductividad eléctrica según la profundidad (Laruta 3).

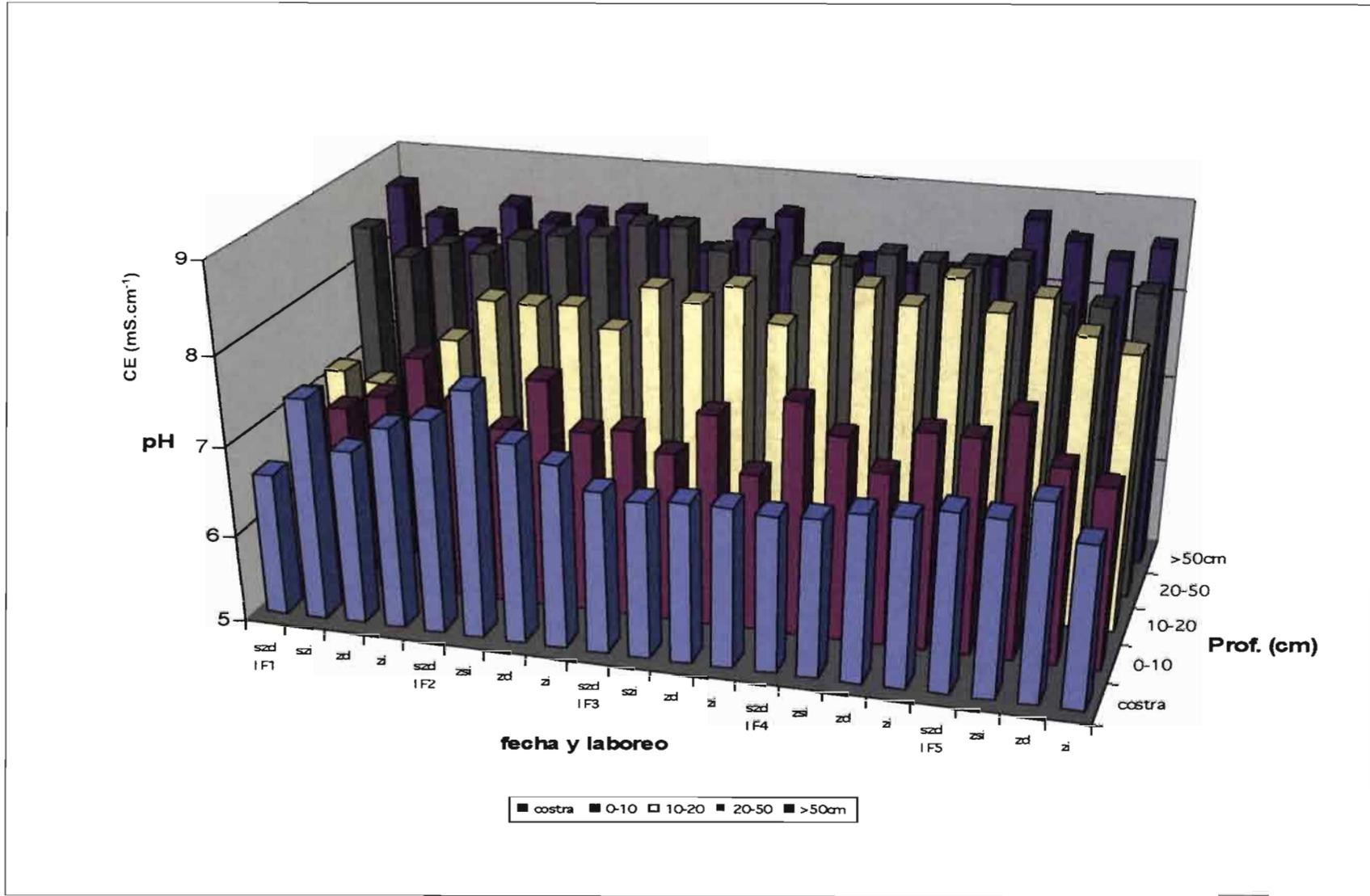


FIGURA 8. Evolución del pH según la profundidad (Laruta 3).

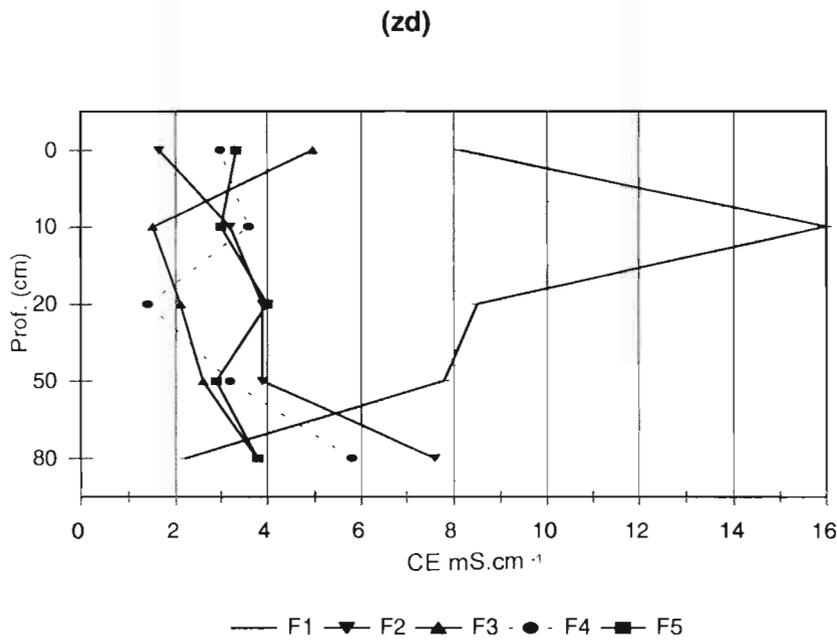
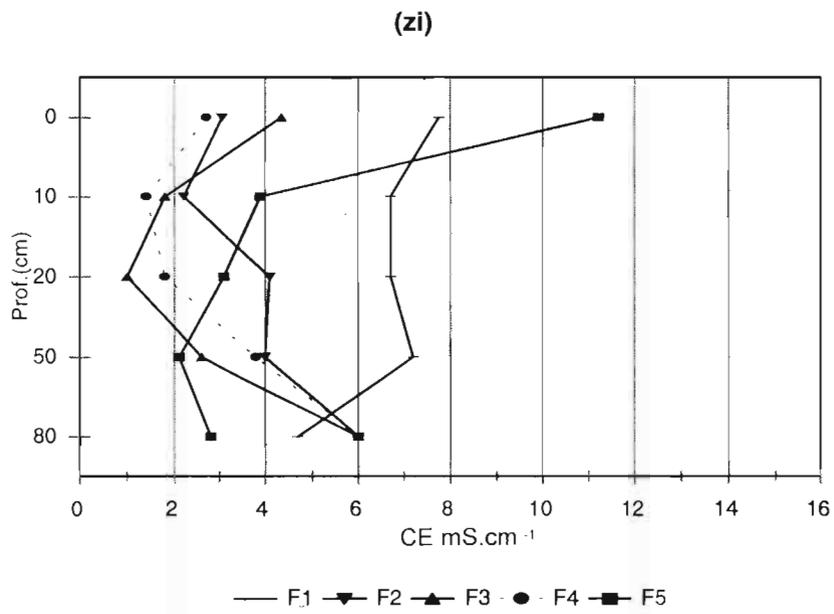


FIGURA 9. Evolución de la conductividad eléctrica, tratamientos zanja Laruta 3.

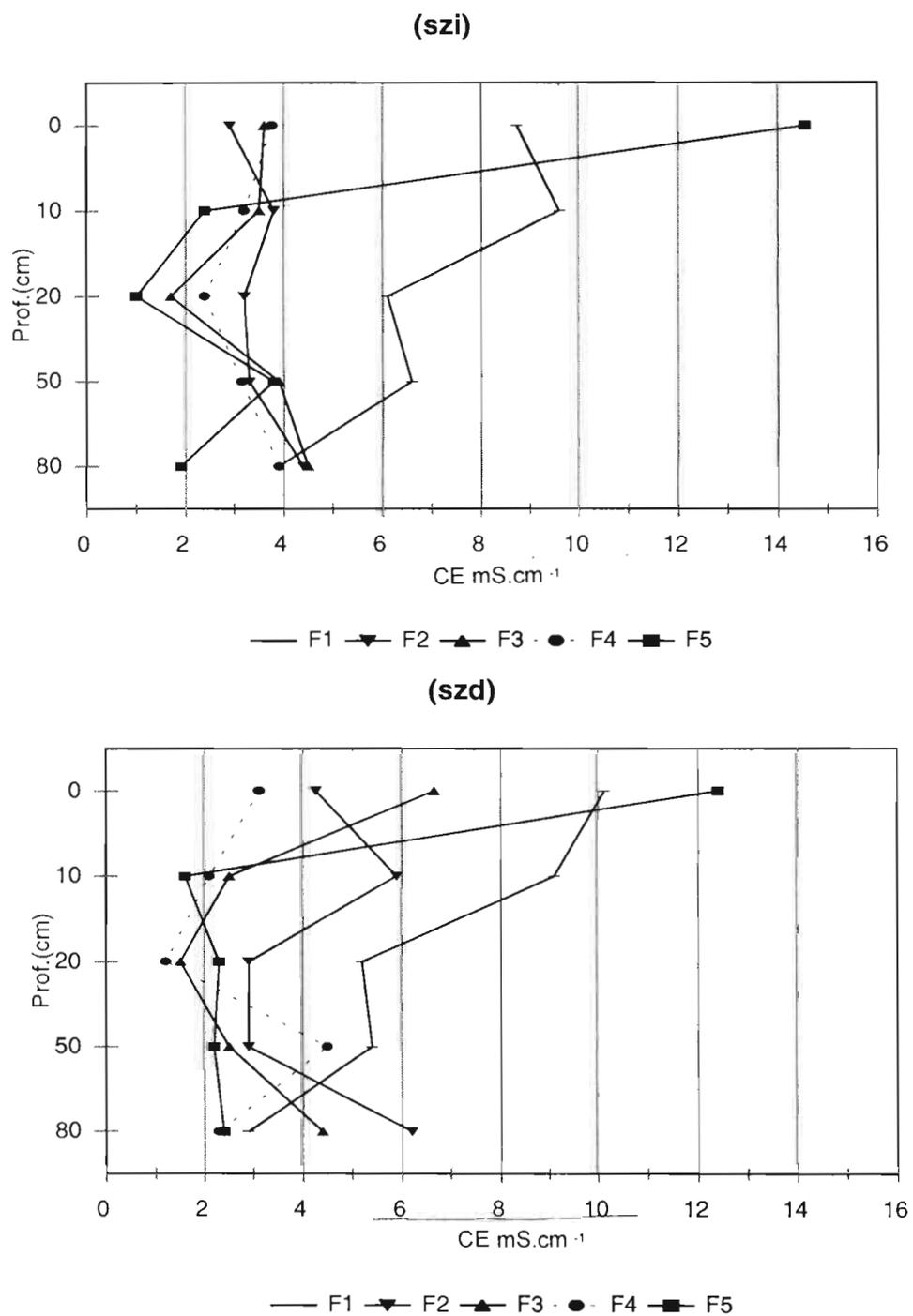


FIGURA 10. Evolución de la conductividad eléctrica, tratamientos subsolado, Laruta 3.

BIBLIOGRAFIA

- Allison, L., Brown, J., Hayward, H., Richards, L., 1993. Diagnóstico y rehabilitación de suelos salinos y sódicos. 7ªed Ed. Limusa, pp 4-8, 72.
- Henin, S., Gras, R., Monnier, G., 1972. El perfil cultural: el estado físico del suelo y sus consecuencias agronómicas. Madrid, España, Ed. Mundi Prensa.
- Hervé, D., 1996. Algunos métodos de investigación en suelos. La Paz, Bolivia, IBTA-ORSTOM, Informe ORSTOM No 53, pp. 29-44.
- Hervé, D. y Ramos D., 1995. «Stabilité structurale de sols de l'altiplano bolivien. Effet de la durée de la jachère». In : *11ème réunion du groupe thématique "Structure et Fertilité des Sols Tropicaux"*, Montpellier, France, Orstom. 13 septembre 1995: 59-67.
- Ledezma, R., 1995. Influencia del riego en los procesos de salinización y sodificación en suelos de la provincia Gualberto Villaroel. La Paz, Bolivia, Universidad Mayor de San Andrés, Tesis Ing. Agrónomo.
- Orsag, V. y Hervé, D., 1996. Las labranzas en perspectiva en los Andes centrales. La Paz, Bolivia, IBTA-ORSTOM, Informe ORSTOM N° 52, 109 pp.
- Ramos, D., 1994. Efecto del subsolado en las propiedades físicas del suelo y el sistema radicular de los cultivos (cebada y quinua) en el altiplano central boliviano. La Paz, Bolivia, Universidad Mayor de San Andrés, Tesis Ing. Agrónomo.
- Ramos D., 1996. El subsolado como alternativa en el altiplano para mejorar las propiedades hidrofísicas del suelo. En : Hervé, D., Ramos, D. y Orsag, V. Eds. Las labranzas en perspectiva, Informe ORSTOM N° 52, pp. 84-94.
- Ramos, D. y Hervé, D., 1996. Determinación de la estabilidad estructural de la superficie del suelo. En: Hervé, D., Ramos, D. y Orsag, V. Eds. Las labranzas en perspectiva, Informe ORSTOM N° 53, pp. 29-47.
- Salm, H., 1993. Estudio preliminar de suelos del Altiplano central boliviano. Revista del Instituto de Ecología, 4 : 43-47.

Experiencias sobre labranza vertical en zonas cerealeras de Chuquisaca

C. Calle¹ y M. Campero²

1 PROTRIGO Chuquisaca. Casilla 971. Sucre, Bolivia

2 Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo CIMMYT Chuquisaca. Casilla 971. Sucre, Bolivia.

RESUMEN

Con el propósito de validar prácticas de laboreo alternativas que permitan mejorar los rendimientos de los cereales, se comparó el laboreo vertical (cultivador tipo cincel) frente al laboreo convencional (uso de rastra) en las zonas cerealeras de Chuquisaca (Tarabuco, Yamparáez y Pampa Lupiara) durante las gestiones agrícolas 1993/94 a 1997/98.

De acuerdo a los resultados obtenidos, el laboreo vertical permite mejorar los rendimientos de cultivo de trigo y cebada en un 15 a 20 % en promedio respecto al laboreo convencional. La mejora del rendimiento se produce a través de una mayor producción de granos por unidad de superficie debido, probablemente, a una mayor disponibilidad de agua en el suelo durante el período de floración. El beneficio más importante del uso de implementos de laboreo vertical constituye la menor degradación de la estructura del suelo y un mejor aprovechamiento del agua, constituyéndose en una alternativa para un manejo adecuado de los recursos naturales.

INTRODUCCION

El manejo de los recursos naturales, principalmente del suelo, se hace cada día más crítico especialmente en las zonas cerealeras de Chuquisaca como resultado de la sobre explotación de los mismos y las maneras inadecuadas de laboreo del suelo. Por otro lado, los procesos erosivos acelerados por las lluvias, viento y la falta de medidas o prácticas de conservación de suelos han hecho que los suelos sean menos aptos para los cultivos. Se estima que en la actualidad un 50% de la superficie cultivable se encuentra afectada de manera mas o menos intensa por erosión de tipo hídrica.

Un indicador de la aptitud de producción de los suelos es el contenido de materia orgánica. Análisis realizados muestran que el porcentaje de materia orgánica en los suelos de la zonas cerealeras de Chuquisaca es muy bajo, en promedio por debajo de 1% (Wall et al., 1997). La práctica de una agricultura de tipo extractiva y las formas de labranza generalizadas en estas zonas, contribuyen a degradar la estructura de los suelos disminuyendo el contenido de materia orgánica de los mismos. La consecuencia de este tipo de prácticas es la degradación del recurso suelo a través de la pérdida de las capas superficiales de suelo y una menor eficiencia en el aprovechamiento del agua de lluvia, pues la capacidad de retención de humedad de los suelos es baja por la saturación rápida, no existiendo una infiltración adecuada (Boiffin y Monnier, 1994).

Los agricultores de las zonas cerealeras de Tarabuco (5,000 ha), Yamparáez (8,000 ha) y Pampa Lupiara (3,000 ha), donde la mecanización es difundida, utilizan principalmente la rastra de discos para la siembra de trigo y cebada, realizando una o dos pasadas con este implemento si es que el terreno ha estado en descanso o si el cultivo precedente fue un cereal, para luego, realizar la siembra al voleo y tapar con otra pasada de rastra. Cuando el cultivo precedente es papa, en muchos casos realizan directamente la distribución de la semilla al voleo posteriormente enterrada con una pasada de rastra. La labor primaria no es común para los cereales, en el caso de que ésta se realice, se emplea el arado de discos para una labor de "volteo" del suelo. Después de realizada la siembra con la rastra, el suelo queda mullido superficialmente siendo más propenso a procesos de erosión hídrica. Por el bajo contenido de materia orgánica la infiltración es también baja, ocasionando encostramiento y escurrimiento superficial.

Si este proceso continua, la aptitud productiva del suelo será cada vez menor, por ello, es importante orientar los esfuerzos hacia la generación de alternativas de manejo de suelos a través de prácticas que no degraden éste recurso.

Otro aspecto que contribuye a la disminución de la aptitud de producción de los suelos es que no existe rotación de cultivos. En muchos casos se cultiva trigo o cebada por varios años sucesivos, no siendo común el cultivo de leguminosas (haba, arveja) en superficies importantes.

El modo de la acción de los implementos tipo cincel es por desterronamiento y efecto de choque, formándose tierra fina por vibración, las resquebrajaduras se producen según los límites de rupturas. La labranza vertical se caracteriza por no invertir el suelo, no compacta demasiado, permite dejar más rastrojos en superficie además de permitir una descomposición lenta del mismo y mayor retención de humedad en el suelo (Calle, 1995; Carrasco J.J., 1998).

El presente trabajo está dirigido a referir experiencias de prácticas que permitan incrementar el rendimiento de los cereales a través de formas de laboreo que tiendan a hacer un uso eficiente del agua del suelo disminuyendo el escurrimiento superficial.

MATERIALES Y METODOS

El trabajo se realizó en las localidades de Tarabuco, Yamparáez y Pampa Lupiara. En general, la región cerealera de la zona alta de Chuquisaca geográficamente se ubica entre los 19°10' de latitud sud y 64° 54' de longitud oeste, a una altitud que varía desde 3100 a 3300 msnm, la topografía es plana a ondulada, los suelos son de profundidad media a superficial y presentan texturas franco arenosa a franco limosa, con bajo contenido de materia orgánica (menor a 1%) y pH próximo a neutro.

Las dos prácticas comparadas en el presente trabajo son la labranza vertical utilizando una cultivadora tipo cincel y la labranza convencional con el uso de rastra de discos, en las gestiones 1993/94, 1995/96 y 1997/98 con una interrupción en la gestión 1994/95. Las comparaciones se realizaron: a) en ensayos con repeticiones por localidad y b) en parcelas semicomerciales de validación.

Dos especies de cereales fueron utilizadas (trigo y cebada), se seleccionaron variedades con alta demanda en el mercado, como Redención en el caso del trigo e IBTA-80 en el caso de la cebada.

La densidad de siembra utilizada fue de 100 kg.ha⁻¹ y el nivel de fertilización de 64-46-00 unidades de N-P₂O₅-K₂O. Las fechas de siembra corresponden generalmente al mes de diciembre.

Los ensayos fueron analizados utilizando un diseño de parcelas bloques al azar generalmente con tres repeticiones. En las parcelas semicomerciales las repeticiones constituyen las localidades.

Las principales variables tomadas fueron de respuesta del cultivo a través de algunos componentes de rendimiento del cultivo como el número de espigas por metro cuadrado, número de granos por metro cuadrado, peso de mil semillas y el rendimiento.

La humedad del suelo se determinó por el método gravimétrico, se obtuvo muestras de suelo a 0-30, 30-60, 60-90 cm. de profundidad al momento de la siembra y en la cosecha para luego secarlas en una estufa a una temperatura de 110°C durante 24 horas.

RESULTADOS Y DISCUSION

Las precipitaciones durante el ciclo de cultivo de las gestiones en las que se realizó el trabajo fueron variables, caracterizándose por ser deficitarias, de los cuatro años tres presentaron precipitaciones por debajo de la media para el mismo período. La gestión 97/98 se caracterizó por un acentuado déficit hídrico afectando especialmente las siembras tempranas (Cuadro 1).

El uso de implementos de labranza vertical en comparación con la rastra tradicionalmente empleada en el laboreo de los cereales, nos dio elementos que nos permiten conocer el comportamiento y su efecto sobre el rendimiento de los cereales en las zonas altas de Chuquisaca.

CUADRO 1. Precipitaciones registradas durante el ciclo del cultivo desde el período 1993 al período 1998, Localidad de Tarabuco, Chuquisaca.

Período agrícola	Precipitación (mm)	Observaciones
Media histórica	442	promedio de 18 años
1993/94	242	sequía en la etapa inicial
1995/96	355	
1996/97	588	exceso de precipitación
1997/98	280	sequía (efecto de la corriente del niño)

Población de plantas

La obtención de una adecuada población de plantas en el cultivo de los cereales, constituye uno de los primeros pasos en el camino a obtener un buen rendimiento. De acuerdo a verificaciones realizadas en la labor del tapado con un implemento de tipo vertical versus la rastra las poblaciones de plantas que se obtienen son similares (aproximadamente 100 plantas/m²), es decir que el tipo de tapado entierra la semilla en una profundidad variable desde la superficie hasta 10 cm, en consecuencia, dependiendo de las condiciones de humedad durante el período de emergencia las plantas tendrán mayor o menor posibilidad de emerger. La densidad de 100 kg.ha⁻¹ no es suficiente para obtener una población adecuada de plantas utilizando los métodos de tapado con los dos tipos de implemento, aspecto que fue reportado anteriormente (Calle y Germain, 1994)

Espigas por metro cuadrado (NEPM2)

La producción de espigas es ligeramente superior en la labranza vertical, haciéndose notoria ésta diferencia en algunos años, sin embargo en términos generales, la producción de espigas es similar debido a que las condiciones de nutrición nitrogenada, son iguales para ambos casos (Cuadro 2). Siendo este componente más sensible al nitrógeno, la variaciones se deben a las diferencias de disponibilidad hídrica en los diferentes años.

CUADRO 2. Efecto de la labranza vertical sobre los componentes del rendimiento de trigo en los periodos 1993 a 1998 en las zonas cerealeras de Chuquisaca

Años	Labranza vertical				Labranza convencional			
	NEPM2	NGM2	P10G (g)	RDTO (kg.ha ⁻¹)	NEPM2	NGM2	P10G (g)	RDTO (kg.ha ⁻¹)
1993/94	252 ns	7621 *	36.43 ns	1956 *	236 ns	6712 *	37.70 ns	1808 *
1995/96	192 *	4424 *	42.39 ns	1872 *	156 *	3933 *	42.14 ns	1657 *
1996/97	202 ns	5677 ns	43.1 ns	2434 *	200 ns	5187 ns	41.80 ns	2170 *
1997/98(1)		543 ns	40.4 ns	218 ns		331 ns	40.70 ns	135 ns
Promedio	215	4566	40.58	1620	197	4041	40.58	1443

(1) año con fuerte sequía por efecto de la "corriente del niño"

ns = diferencias estadísticas no significativas

* diferentes estadísticamente al 0.05 de probabilidad.

Número de granos por metro cuadrado (NGM2)

Este componente de rendimiento es el que muestra mayor respuesta al tipo de laboreo (Cuadro 2), para todos los casos el número de granos es mucho mayor en la labranza vertical, es decir que durante el período de formación de este componente (floración) las condiciones de disponibilidad hídrica son mejores en éste tipo de laboreo, permitiendo una mayor fecundación de las flores en la espiga.

Peso de mil semillas (P10G)

El peso del grano se determina durante el período de desarrollo del grano y está esencialmente en función de la cantidad de fotosintatos acumulados y traslocados al grano y de la disponibilidad hídrica en esa etapa. Para este componente de rendimiento, desde el punto de vista estadístico, los pesos de mil semillas son similares al 0.05 de probabilidad, con alguna superioridad de la labranza vertical en algunos años. El déficit hídrico frecuente se presentó en general durante estos últimos años en la etapa inicial del cultivo, siendo menos frecuente las sequías durante el llenado de grano. Los valores de peso de mil semillas obtenidos en el presente trabajo muestran esta situación. La

presencia de algunas heladas tempranas causa la disminución del peso de las semillas (caso de la gestión 1993/94).

CUADRO 3 Contenido de humedad del suelo en % de acuerdo al tipo de labranza.

Profundidad de muestreo	Labranza- Siembra		A la cosecha	
	vertical	rastra	vertical	rastra
0 a 30 cm	10.5	10.5	3.11	3.05
30 a 60 cm	6	7.9	6.33	4.67
60 a 90 cm	12.7	14.2		

Rendimiento

La expresión del rendimiento es la consecuencia del aporte de cada componente de rendimiento, estos determinados a su vez por los factores y condiciones que prevalecieron durante la fase de formación de cada componente.

En el cuadro 2 se observa que la labranza vertical permite obtener mayores rendimientos en relación al laboreo con rastra, la diferencia en promedio de los años de estudio es de 200 kg.ha⁻¹. Este mayor rendimiento se debe a que la labranza vertical permite, de alguna manera, acumular una mayor cantidad el agua de lluvia, en consecuencia, la posibilidad de que el cultivo obtenga una mayor cantidad de granos.

El rendimiento en las parcelas semicomerciales (Cuadro 4) es un mayor con la labranza vertical en todos los años, tanto para el trigo como para la cebada, con un incremento de 15 a 20 % respecto al laboreo convencional (rastra). Las mayores diferencias se observaron en los periodos 1993/94, 1995/96 y 1996/97 donde las diferencias en rendimiento son de 400 y 500 kg.ha⁻¹. Si tomamos en cuenta el número de años y localidades, la diferencia encontrada como promedio es consistente. Por otro lado el mayor beneficio del uso de implementos de labranza vertical radica en sus efectos menos degradantes de la estructura de los suelos, disminuyendo el escurrimiento superficial debido a la rugosidad que deja en la superficie, en consecuencia ésta constituye una alternativa para recomendar prácticas mas adecuadas para un buen manejo del recurso suelo (Barber, Navarro y Orellana 1993).

CUADRO 4. Efecto de la labranza vertical sobre el rendimiento de Trigo de 1993 a 1998 en parcelas de validación semicomercial en las zonas cerealeras de Chuquisaca.

Años	Labranza vertical (Rendimiento kg.ha ⁻¹)	Labranza convencional (Rendimiento kg.ha ⁻¹)	Observaciones
1993/1994	1969	1560	8 variedades de trigo en 3 localidades.
	2371	2156	2 variedades de cebada en 2 localidades.
1995/1996	2846	2330	10 variedades de trigo en 2 localidades.
	2751	2310	5 variedades de cebada en 2 localidades.
1996/1997	2224	1819	4 variedades de trigo en 2 localidades.
	3181	2718	2 variedades de cebada en 2 localidades.
1997/1998*	1267	1220	3 variedades de cebada en 3 localidades.
	2373	2016	

* Año con fuerte sequía por efecto de la "corriente de El Niño"

CONCLUSIONES

- El laboreo vertical (cultivador tipo cincel) permite mejorar los rendimientos de los cultivos de trigo y cebada en un 15 a 20 %, bajo condiciones climáticas y edáficas similares, de las zonas cerealeras de Chuquisaca. Es decir un incremento en el rendimiento de 200 a 400 kg.ha⁻¹ más en contraste al laboreo convencional (uso de rastra de discos) sin elevar los costos.
- La mejora del rendimiento se produce a través de una mayor producción de granos por unidad de superficie debido probablemente a una mayor disponibilidad de agua en el período de floración.
- El beneficio más importante del uso de implementos de laboreo vertical constituye la menor degradación de la estructura del suelo y un mejor aprovechamiento del agua, es decir, constituye una alternativa para un manejo adecuado de los recursos naturales.

BIBLIOGRAFIA

Barber, R.C., Navarro, F. y Orellana, M., 1993. Labranza vertical. Manual del manejo de suelos para Agricultores Mecanizados. Santa Cruz, Bolivia.

Calle, C., 1995. Tecnología para incrementar la eficiencia del uso del agua y disminuir la erosión. Informe anual IBTA Regional Chuquisaca, 63pp.

Calle, C. y Germain, N., 1994. Un enfoque de investigación agronómica en base a la descomposición del rendimiento en componentes: aplicaciones al cultivo de trigo. Cochabamba, Bolivia, Revista de Agricultura, Facultad de Ciencia Agrícolas y Pecuaria, Universidad Mayor de San Simón.

Carrasco, J., 1998. Adecuación del suelo, la compactación su evaluación y su manejo En Tecnología de cero labranza para pequeños agricultores. Chillan, Chile, Cursos de Taller Internacional.

Boiffin, J. y Monnier, G., 1994. Suppression du labour et érosion hydrique dans le contexte agricole français: bilan et possibilité d'application des références disponibles. En Simplification du travail du sol, pp 85-103

Wall, P.C., Calle C., Monasterio, Y., Velasco, J. y Zegada, L. 1997. Resultados de un sondeo de productores de trigo en el norte del departamento de Chuquisaca, Bolivia (abril 1994), 32pp.

Efecto de la labranza con tracción animal en la conservación de la humedad del suelo y el crecimiento y productividad del cultivo de la papa

P. Mamani¹, H. Moya¹, A. Devaux¹, R. Botello¹ y B. Condori¹

1 Fundación PROINPA. Casilla 4285. Cochabamba, Bolivia. email: pmamani@proinpa.org

RESUMEN

El estudio se realizó durante la campaña 1995-96 en la Estación Experimental Toralapa, provincia Tiraque, departamento de Cochabamba, Bolivia, ubicada a 3430 msnm. Se establecieron dos ensayos uno referido al momento de labranza con arado de palo y el otro referido a implementos de labranza (palo, reversible y cincel) con tracción animal, ambos para determinar su efecto en la conservación de humedad en el suelo, en las propiedades del suelo, en la calidad de labranza, en el crecimiento y en la productividad del cultivo de papa. La humedad del suelo fue evaluada con el método gravimétrico, las propiedades del suelo con el método del "perfil edafológico" y del "perfil cultural", la calidad de las labranzas con observaciones de la superficie arada. Se determinó que cuando la humedad del suelo se encuentra por debajo de la humedad aprovechable por el cultivo, las capas inferiores (20 a 30 cm de profundidad) tienen más humedad que las capas superficiales (0-10 cm de profundidad) y ocurre un caso inverso cuando la humedad del suelo se encuentra por encima de la capacidad de campo del suelo. La labranza permite conservar más agua en el suelo respecto de un suelo sin labranza, debido a que esta logra romper los microporos de la capa arable. Las condiciones de alta humedad de la campaña (20 % más respecto al promedio histórico) no permitieron demostrar claramente las bondades del arado de cincel como "cosechador de agua". El porcentaje de desterronamiento se incrementa cuando las aradas se realizan con más anticipación a la siembra, debido a que las condiciones climáticas favorecen este efecto. El arado reversible logra mayor incorporación de rastrojo y logra mayor superficie removida respecto al arado de palo y al arado de cincel. La rayada y cruzada con arado de cincel demandan más tiempo respecto al arado de palo y al arado reversible. A un mayor número de aradas con arado de palo la profundidad de aradura es mayor, llegando a tocar el pie de arado cuando el número de aradas es mayor a siete. Con tres aradas, el arado de cincel permite una mayor profundidad de aradura respecto al arado reversible y al arado de palo, llegando a raspar el pie de arado y a romperlo en algunos sectores, permitiendo así un arraigamiento más uniforme. Un número de aradas mayor a tres con arado de palo, no repercute en un incremento del rendimiento. Finalmente, no se pudo demostrar diferencias en el rendimiento por efecto de los implementos evaluados.

INTRODUCCION

La diversidad geomorfológica y climática de la región andina da lugar a la existencia de distintos sistemas de producción, con capacidades productivas diferentes, destacando aquellos de baja productividad cuyas causas principales son la baja calidad de los suelos (bajo contenido de materia orgánica) y el alto riesgo de ocurrencia de sequías.

El promedio histórico de precipitación en sistemas de alto riesgo de sequía de La Paz, Potosí, Chuquisaca y Cochabamba, difícilmente sobrepasa los 400 mm.año⁻¹. En algunas comunidades, si bien la cantidad total puede ser aceptable para la producción de cultivos, su mala distribución hace que existan períodos de sequía y períodos con fuertes lluvias lo que repercute en la baja productividad de los cultivos y en la erosión de los suelos.

Según Orsag (1996), la labranza constituye una alternativa importante para regular la humedad en el suelo, aspecto que le impulsó a estudiar los regímenes hídricos del suelo del altiplano por efecto de la labranza. Herve (1996) al referirse a la labranza señala que las preguntas que se hacen todos los agricultores del mundo con la finalidad de producir más o de asegurar una producción al menor costo son: ¿Cómo y cuando labrar?, ¿Qué riesgos de erosión acarrea cada técnica de labranza?, ¿En qué estado quedan los suelos luego de estas intervenciones?, ¿En qué condiciones se puede instalar un cultivo sin labrar o con labranza mínima?, ¿Cuáles son las consecuencias sobre los cultivos?, etc.

PROINPA (1998) señala que en las zonas andinas las operaciones de la labranza están sujetas a la disponibilidad de humedad en el suelo. Este aspecto conduce a inoportunos y excesivos movimientos

de tierra, que si bien a corto plazo podrían mejorar la productividad del cultivo de papa, con el tiempo repercuten en la degradación de los suelos, principalmente en parcelas de ladera.

Estos antecedentes, impulsaron a realizar el presente estudio cuyo objetivo fue determinar el efecto del momento y del número de aradas con arado de palo y definir las ventajas de implementos de labranza mejorados, sobre la conservación de humedad en el suelo, las propiedades del suelo, la calidad de labranza, el crecimiento y la productividad del cultivo de papa.

MATERIALES Y METODOS

La investigación se llevó a cabo en la gestión agrícola 1995-96, en la Estación Experimental Toralapa, provincia Tiraque del departamento de Cochabamba, a una altitud de 3430 msnm, 17°31' de latitud sur y 65°40' de longitud oeste. La zona se caracteriza por una precipitación media anual de 530 mm y una temperatura media anual de 11°C.

Se realizaron dos ensayos complementarios entre sí, uno referido a "Momentos de labranza" con arado de palo y el otro referido a "Implementos de labranza" con el arado de palo como testigo y considerando los mismos momentos de labranza que en el ensayo anterior. En ambos ensayos se utilizó el diseño experimental bloques completos al azar con cuatro repeticiones cuyos tratamientos están descritos en los cuadros 1 y 2 respectivamente. El tamaño de cada unidad experimental en ambos ensayos fue de 10 m de largo por 7 m de ancho. Para favorecer las vueltas de la yunta durante las labranzas, las calles del ensayo tenían un ancho de 3 m.

CUADRO 1. Tratamientos del ensayo "Momentos de labranza" con arado de palo.

Tratamiento	Momentos de labranza		
	1º	2º	3º
L1			R + C + CD
L2		R + C	CD
L3	R + C		CD
L4		R + C	R + C + CD
L5	R + C		R + C + CD
L6	R + C	R + C	CD
L7	R + C	R + C	R + C + CD

R = Rayada; C = Cruzada; CD = Cruzada diagonal

CUADRO 2. Tratamientos del ensayo "Implementos de labranza".

Tratamientos	Arado	Momentos de labranza		
		1º	2º	3º
T1	De palo	R	R + C	CD + umbral
T2	De palo	R	R + C	CD + umbral
T3	Reversible	R	R + C	CD + umbral
T4	Reversible	R	R + C	CD + umbral
T5	Cinzel	R	R + C	CD + umbral
T6	Cinzel	R	R + C	CD + umbral

R = Rayada; C = Cruzada; CD = Cruzada diagonal;

(1) CD se hizo con arado de palo porque el arado cinzel no remueve el suelo, de manera suficiente, para la siembra.

Los tratamientos del ensayo "Momentos de labranza" (Cuadro 1) se refieren a la realización de una rayada R (arada en sentido perpendicular a la pendiente) y una cruzada C (arada en forma paralela a la pendiente) con arado de palo, en uno, dos y/o tres momentos de labranza. Con el propósito de favorecer la preparación de la cama de siembra, en ambos ensayos, se complemento con una cruzada diagonal CD (arada en sentido diagonal a la pendiente) en el tercer momento de labranza.

Los arados utilizados en el ensayo "Implementos de labranza" fueron el arado de palo, un implemento tradicional hecho de madera, constituido por mancera, telera y una reja de hierro, requiere de humedad en el suelo para voltear la tierra (Flores et al., 1996); el arado reversible, fabricado de hierro con mancera, telera, palanca reguladora de dirección de la vertedera y una vertedera acero, este implemento también requiere de humedad en el suelo para voltear la tierra y el arado de cinzel tiene

una estructura simple de hierro, con mancera, telera y una reja de acero en forma de cuchillo y diseñada para realizar fisuras en suelos secos (Mamani et al., 1999).

Los momentos de labranza elegidos para ambos ensayos se ajustaron épocas tradicionales de labranza en la zona andina, según la disponibilidad de humedad en el suelo, primera labranza se realiza aprovechando las últimas lluvias de una campaña que termina (en marzo), una segunda labranza aprovechando las nevadas ocasionales (julio o agosto) y una tercera labranza con las primeras lluvias de la campaña que se inicia (octubre). La figura 1 describe la distribución cronológica de las labranzas de los ensayos y el momento de siembra y cosecha del cultivo. En el ensayo implementos de labranza, por las características del arado de cincel, éste se usó cuando el suelo se encontraba seco. Se sembró la variedad de papa Waych'a (*ssp andigena*).

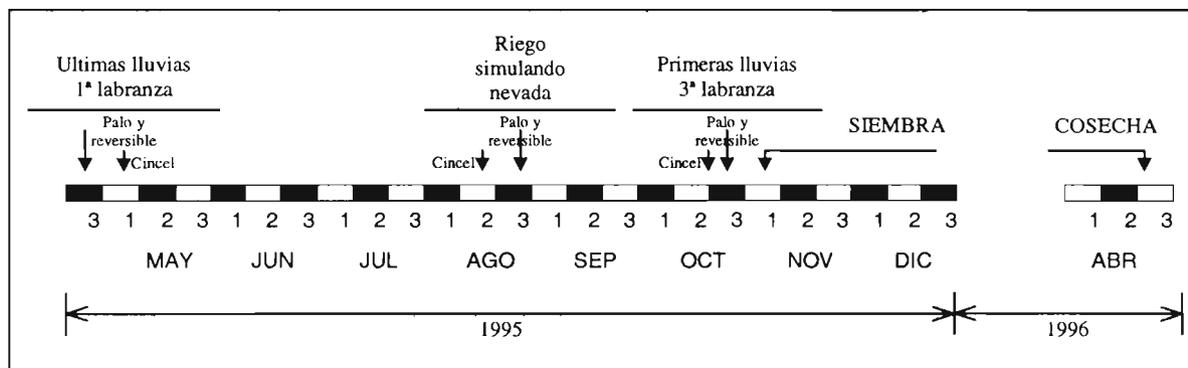


FIGURA 1. Descripción cronológica de las labranzas, siembra y cosecha del cultivo para ambos ensayos. Toralapa, 1995 - 96.

Las principales variables de suelo, de cultivo y otros análisis auxiliares en ambos ensayos fueron:

Evaluación del suelo. Antes de las labranzas se realizaron calicatas de un metro de profundidad caracterizándose las propiedades físicas y se tomaron muestras de suelos para el análisis químico de los diferentes horizontes del perfil edafológico (Cuadro 3). En tres profundidades de la capa arable (0-10, 0-20 y 0-30 cm) se determinó la densidad aparente del suelo extrayendo suelo no disturbado en anillas de volumen conocido que luego fueron secados a 110°C y pesados. La densidad aparente junto a la densidad real del suelo que se estimó en 2.65 g.cm⁻³, permitió calcular la porosidad del suelo.

Evaluación de la humedad del suelo. Luego de las labranzas y durante el cultivo la humedad del suelo fue evaluada en forma periódica por el método gravimétrico, a tres profundidades de la capa arable (0-10, 0-20 y 0-30 cm) y en tres puntos de cada unidad experimental. La conductividad hidráulica del suelo fue determinada en los horizontes identificados en los perfiles culturales (Gautronneau et al, 1996), de acuerdo a la ley de "carga constante" de Darcy. El balance hídrico de la campaña fue estimado por el método descrito por la FAO-FERTISUELOS (1994).

Evaluación de la labranza. La calidad de labranza se evaluó considerando los parámetros empleados por CIFEMA (1990) que toman en cuenta el porcentaje de incorporación de rastrojo, porcentaje de desterronamiento y la superficie removida. La profundidad de aradura se determinó cuando se evaluó el perfil cultural. La capacidad efectiva de la labranza se calculó empleando la fórmula descrita por CIFEMA (1990), que considera básicamente el tiempo de arada y el ancho de trabajo del implemento.

Evaluación del perfil cultural. El método del perfil cultural, permitió identificar y describir los horizontes formados por las labranzas (horizontes antrópicos) con el cultivo en pleno crecimiento y permitió también determinar el efecto de las labranzas en el perfil del suelo y en el crecimiento radicular del cultivo. Esta evaluación se realizó a cuatro meses y medio de la siembra del cultivo.

Evaluación del cultivo. Las variables evaluadas en el cultivo fueron emergencia, cobertura foliar, altura de planta, índice de cosecha y rendimientos.

Análisis económico. Se empleó el método del análisis marginal del CIMMYT (Quiroga y Blajos, 1995).

CUADRO 3. Descripción del perfil edafológico

Hor.	Prof. (cm)	Descripción
Ap	0-17	Pardo (10YR 6/4) en seco, pardo oscuro (10YR 4/4) en húmedo; textura franca; estructura granular; ligeramente adhesivo y plástico; muy friable; poros frecuentes; abundantes raíces finas; pH 5.6 moderadamente ácido.
A ₁₂	17-29	Pardo (10YR 5,5/4) en seco, pardo oscuro (10YR 4/4) en húmedo; textura franca; estructura de bloques sub-angulares, ligeramente plástico; friable; poros frecuentes, raíces muy pocas, pH 5.75, moderadamente ácido.
Bt	29-57	Pardo rojizo (5YR 4/4) en seco, pardo oscuro (5YR 3/4) en húmedo; textura franco – arcillosa con gravas redondeadas de naturaleza cuarcítica; estructura de bloques angulares a masiva, adhesivo y plástico; muchos poros muy finos, rasgos de cavidades y deyecciones de lombrices (coprolitas); muy pocas raíces; pH 8.01, moderadamente alcalino.
C ₁	57-87	Pardo amarillento (7,5YR 5/4) en seco, pardo (7,5YR 4/4) en húmedo; textura franco – arcillosa con mucha grava redondeada de naturaleza cuarcítica; estructura de bloques subangulares a masiva, adhesivo y plástico; muchos poros muy finos, pH 8.5, fuertemente alcalino.
C ₂	> 87	Pardo amarillento (10YR 5/6) en seco, pardo (10YR 4/4) en húmedo; textura franco arcillo arenosa; con grava de naturaleza cuarcítica; sin estructura; adhesivo y plástico, muy duro; muchos poros continuos, pH 8.25, fuertemente alcalino.

RESULTADOS Y DISCUSION

Durante la campaña 1995-96 la precipitación acumulada, 625.7 mm, fue 20 % mayor respecto a la serie histórica de 13 años. El análisis del balance hídrico mostró déficit de agua durante la segunda década de noviembre y exceso durante siete décadas (41 % del ciclo). La baja permeabilidad de las capas subyacentes del suelo (a 25 cm de profundidad) contribuyó a incrementar el daño del exceso de agua.

Evaluación del suelo

En el cuadro 3 se presenta una descripción resumida del perfil edafológico antes de implantar los ensayos. Las características descritas muestran que los suelos de la Estación Experimental Toralapa pertenecen al orden molisoles, tal como lo describe MACA (1977). Los suelos de la Estación Experimental Toralapa hasta los 30 cm de profundidad son de textura franca, la estructura varía de granular a bloques angulares y el pH moderadamente ácido. Entre los 30 a 85 cm de profundidad son de textura franco arcillosa, estructura de bloques angulares y pH moderadamente alcalino a fuertemente alcalino. A una profundidad mayor a 85 cm la textura es franco arcillo arenosa, sin estructura y pH fuertemente alcalino.

La densidad aparente y la porosidad del suelo antes de la labranza es similar hasta los 20 cm de profundidad (Cuadro 4). Las operaciones de labranza y el propio crecimiento del cultivo redujeron la densidad aparente en un 13% y como consecuencia incrementaron la porosidad del suelo en un 17%, lo que muestra que no hubo problemas de aireación. Sin embargo, en períodos posteriores a la ocurrencia de precipitaciones causaron una menor aireación, influyendo en el desarrollo del cultivo.

CUADRO 4. Descripción de la densidad aparente y la porosidad del suelo a diferentes profundidades.

Profundidad	Antes de la labranza		Durante el cultivo	
	Da (g.cm ⁻³)	Porosidad (%)	Da (g.cm ⁻³)	Porosidad (%)
0 – 10 cm	1.48	43.7	1.29	50.9
10 – 20 cm	1.48	43.7	1.37	47.9
20 – 30 cm	1.58	39.9	1.46	44.5

Evaluación de la humedad del suelo

Luego de las labranzas la humedad de la capa arable se encontraba por debajo del punto de marchitez permanente (PMP), en esta condición existe menor humedad en las capas superficiales respecto de las capas profundas del suelo debido al calentamiento por la acción directa de la radiación solar, por evaporación. A medida que se incrementan las precipitaciones pluviales, durante el período del cultivo, y cuando estas hacen que sobrepase la capacidad de campo (CC) del suelo, las capas superficiales contienen mayor humedad en relación a las capas profundas. Este efecto esta ligado a la baja capacidad de estos suelos para retener agua de saturación por la presencia de capas arcillosas de permeabilidad lenta entre, los 15 a 25 cm de profundidad (Figura 2).

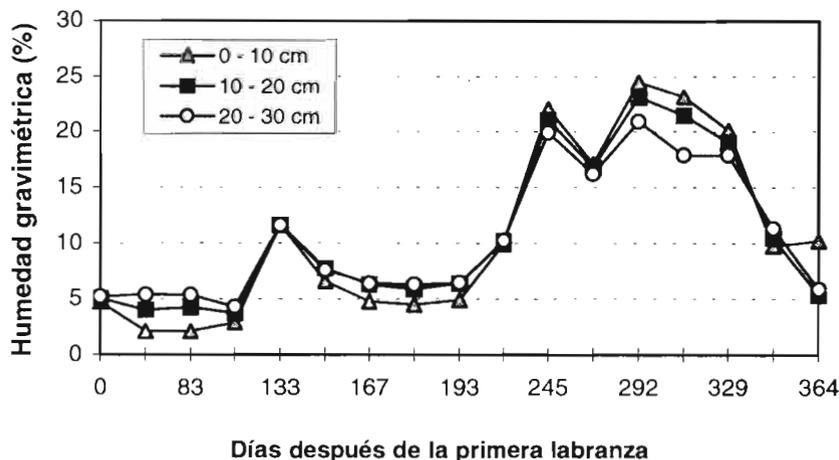


FIGURA 2. Evolución de la humedad a tres profundidades del suelo en el ensayo al momento de la labranza.

Evaluación de la labranza

En la figura 3a, los tratamientos que se comparan muestran el efecto de la primera rayada (R) y cruzada (C) en la humedad del suelo y respecto a un suelo sin laboreo. La labranza permite conservar mas agua en el suelo que sin labranza. De acuerdo a Orsag (1996), la labranza rompe los poros capilares del suelo en los primeros 13 cm de profundidad que actúa como una capa gruesa aislante que impide cambios bruscos de temperatura causando pérdidas de humedad en las capas inferiores.

En la figura 3b se compara el efecto de la rayada (R) y cruzada (C) en la humedad del suelo, realizadas en el primer momento (L3 o L5), en el segundo momento (L2 o L4) o en el primer y segundo momento (L6 o L7) simultáneamente, respecto del testigo sin labranza (L1). La rayada y cruzada realizadas en el primer momento, permiten mantener la humedad del suelo independientemente de realizarse una segunda rayada y cruzada. Contrariamente, la rayada y cruzada en el segundo momento no afecta el contenido de humedad del suelo. Estos resultados muestran la importancia de la labranza en el mes de marzo (primera época) aprovechando las últimas lluvias de la campaña para ayudar a conservar el agua en el suelo, esta práctica puede ser importante para la producción de cultivos en años con menor precipitación.

El efecto de tres implementos de labranza en el contenido de humedad del suelo luego de la primera y segunda labranzas se presenta en la figura 4, no existen diferencias marcadas entre los distintos tratamientos, sobresale el arado de cincel luego de un riego mínimo que simuló una nevada. El mayor efecto esperado en la retención de humedad en el suelo labrado con arado de cincel no se dio al no presentarse lluvias importantes, después de la labranza, Durante el cultivo tampoco hubo un efecto claro del arado de cincel en la retención de agua en el suelo, por que la campaña se caracterizó por ser húmeda, aspecto poco común en la región donde se realizó el estudio.

La evaluación del perfil cultural permitió determinar que en los horizontes antrópicos (0 a 45 cm de profundidad) la permeabilidad varía de moderada a lenta ($0.26 \text{ cm.h}^{-1} < k < 1.44 \text{ cm.h}^{-1}$) y en los horizontes pedológicos (de 45 a 85 cm de profundidad) varía de lenta a muy lenta ($0.04 \text{ cm.h}^{-1} < k < 0.16 \text{ cm.h}^{-1}$). Estos valores indican problemas de drenaje interno y coadyuvan a explicar por qué el suelo tuvo elevados contenidos de humedad durante el cultivo.

En el momento de la labranza se determinó que con un número de cinco o más aradas, con arado de palo, se logra incorporar el rastrojo al suelo en más de 90%, representando estadísticamente 9% más de rastrojo incorporado respecto a la incorporación con un número menor de aradas. El desterronamiento es mayor a un mayor número de aradas y se incrementa entre el 70 % y más del 90 % cuando las aradas se realizan con más anticipación a la siembra, por la acción climática.

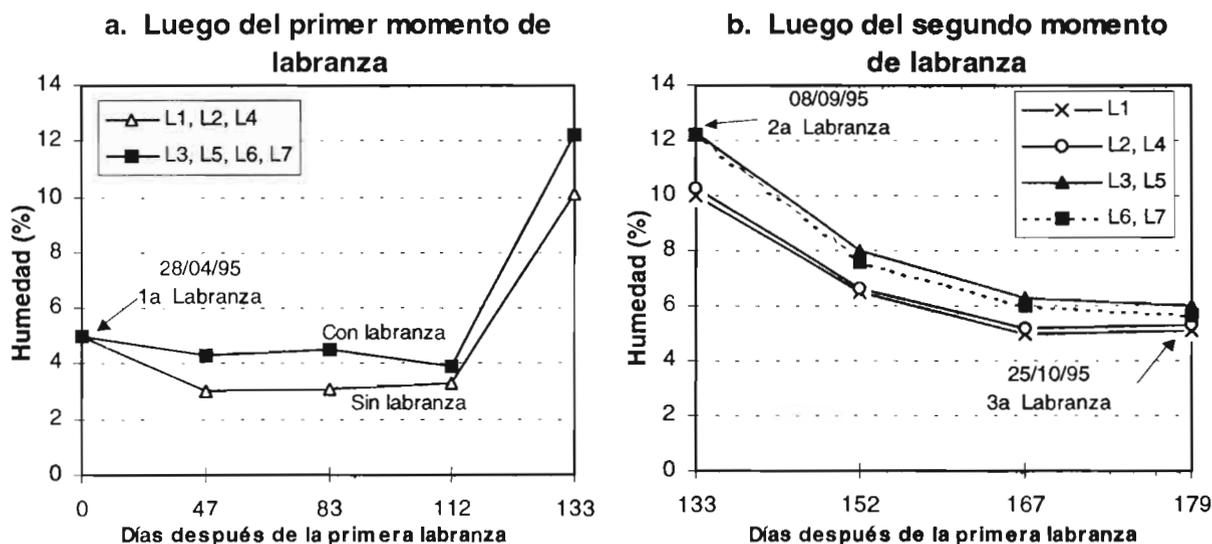


FIGURA 3 (a y b). Variación de la humedad del suelo luego de las labranzas. Ensayo momentos de labranza.

Tratamiento	Momentos de labranza			
	1ª	2ª	3ª	
L1			R + C	CD
L2		R + C		CD
L3	R+C			CD
L4		R + C	R + C	+ CD
L5	R + C		R + C	+ CD
L6	R + C	R + C		CD
L7	R + C	R + C	R + C	+ CD

R= Rayada; C = Cruzada; CD = Cruzada Diagonal

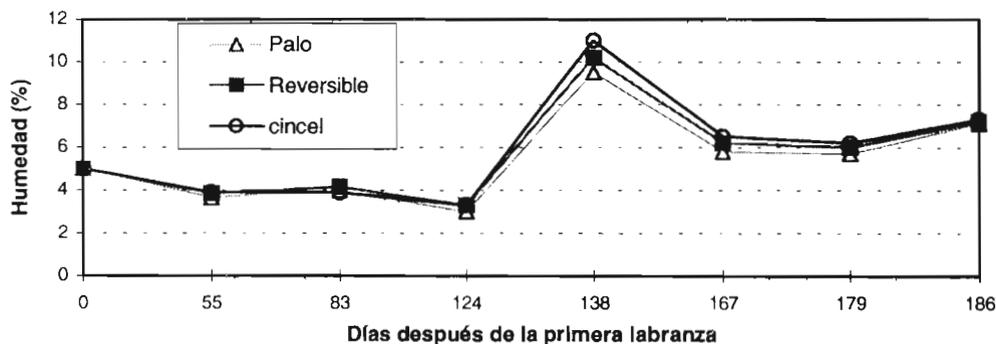


FIGURA 4. Variación de la humedad del suelo por efecto de tres implementos de labranza. Ensayo implementos de labranza.

En el ensayo implementos de labranza se logró determinar que luego de cuatro aradas, el arado reversible permite un 94 % de incorporación de rastrojo frente al 88 % de incorporación por el arado de palo y al 80 % por el arado de cincel. No se pudo demostrar que exista diferencias entre los implementos de labranza en el porcentaje de desterronamiento. Ajustando el ancho de trabajo (distancia entre una y otra arada) a 0.5 m, para todos los implementos estudiados, se determinó un porcentaje de superficie remocionada de 83 %, 57 % y 38 % para el arado reversible, de palo y de cincel respectivamente.

Tanto con el arado de palo como con el arado reversible, la cruzada diagonal demandó aproximadamente un 16 % más de tiempo respecto a la rayada y cruzada. De acuerdo a la capacidad efectiva (CE), la rayada y cruzada con arado de cincel demanda 38% más de tiempo que el arado de palo y 63% más de tiempo que el arado reversible para trabajar en una hectárea. Esto se debe al menor ancho de labor que realiza el arado de cincel y no así a su velocidad de laboreo que es mayor a la del arado reversible.

CUADRO 5. Ancho de trabajo, velocidad de laboreo y capacidad efectiva (CE) de los implementos estudiados, según la operación realizada.

Implemento	Ancho trabajo [m]	Velocidad [m s ⁻¹]	Pérdida p/ vuelta vuelta [s]	Operación	CE	
					[h ha ⁻¹]	[ha h ⁻¹]
Arado de palo	0.32	0.95	8.38	Rayada	11.2	0.089
				Cruzada	11.2	0.089
				Cruzada diagonal	13.0	0.077
Arado Reversible	0.42	0.86	11.08	Rayada	9.5	0.105
				Cruzada	9.5	0.105
				Cruzada diagonal	11.0	0.091
Arado cincel	0.23	0.96	8.95	Rayada	15.5	0.064
				Cruzada	15.5	0.064
Umbral	1.43	0.83	13.00	Rastrada	2.9	0.345
Rastra de aletas	1.43	0.99	13.00	Rastrada	2.5	0.400

Evaluación del perfil cultural

En la evaluación del perfil cultural se constató la formación de cuatro horizontes antrópicos producto de las operaciones del cultivo y las labranzas. El primero próximo al cuello de las plantas formado por los aporques (H1), el segundo por el surcado (H2) y que tiene una profundidad máxima de 13 cm, el tercero formado por las labranzas (H3) cuyo límite es el "fondo de arado" o el "pie de arado", según sea el implemento usado.

El efecto del número de aradas y del tipo de arado en la profundidad de aradura se muestra en el cuadro 6. A un mayor número de aradas la profundidad de aradura es mayor, llegando a tocar el pie de arado cuando el número de aradas es mayor a siete. Por otra parte, el arado de cincel permite una mayor profundidad de aradura respecto al arado reversible y al arado de palo, llegando a raspar el pie de arado y a romperlo en algunos sectores.

CUADRO 6. Profundidad de arada según el tipo de arado y el número de aradas.

Ensayo	Trat.	Arado	N° Aradas	Prof. [cm]	Observaciones
Momentos de labranza	L1	Palo	3	7-13	
	L5		5	18-20	
	L7		7	20-22	Toca pié de arado
Implementos de labranza	T2	Palo	4	10-17	
	T4	Reversible	4	20-23	Toca pié de arado, raspa en un sector
	T5	Cincel	3	22-28	Raspa el pié de arado, rompe en un sector

Del 70 al 80 % del arraigamiento se produjo hasta el fondo del surco de siembra y un 25 a 15 % entre éste y el fondo de arado. Se destaca el suelo arado con cincel donde el arraigamiento es más

uniforme con 55 a 60 % hasta el fondo del surco de siembra y 40 a 35 % entre éste y el fondo de arado. Se observaron raicillas de papa hasta los 70 cm de profundidad, debido a la porosidad de los horizontes pedológicos y a la actividad de las lombrices observada por la existencia de canaliculos por donde circulan, cavidades donde se alojan y pedotúbulos. La tuberización se produjo en todos los casos entre el horizonte formado por la siembra y el formado por los aporques, es decir, en el camellón del surco.

Evaluación del cultivo

La emergencia, la cobertura foliar y la altura de planta no fueron afectadas significativamente por los tratamientos de ambos ensayos. Respecto al índice de cosecha se constató, en ambos ensayos, que tiene relación con la profundidad de arado y el arraigamiento, porque en el ensayo épocas de labranza el mayor índice corresponde al tratamiento con siete aradas (L7) con 79 %, aunque respecto a los otros no es significativo.

En el ensayo implementos de labranza el mejor índice es para la combinación del arado cincel con la rastra de aletas (T6) con 84 % seguido del tratamiento con arado reversible y rastra de aletas (T4) con 82 %; y el menor índice es del tratamiento con arado de palo y umbral (T1) con 73.4 %. Existieron diferencias estadísticas sólo entre el T6 y el T1.

No se pudo demostrar que existan diferencias estadísticas en el rendimiento del cultivo de papa por efecto del momento en que se realizó la rayada (R) y cruzada (C) con el arado de palo y/o el número de veces en que se realizó esta operación (de 1 a 3 veces), estos resultados muestran que mayor laboreo no repercute en un incremento del rendimiento de papa (Cuadro 7).

Por tanto, considerando que una rayada y una cruzada son suficientes para incrementar el rendimiento respecto a un suelo sin laboreo, para una posible recomendación se descartan todos aquellos tratamientos que involucran más de una rayada y cruzada como es el caso de los tratamientos L4, L5, L6 y L7. La decisión se debería tomar entre los tratamientos L1, L2 y L3, pero la aleatoria ocurrencia de nevadas en el mes de agosto, descarta a la segunda época de labranza como una opción de recomendación, por tanto con este criterio L2 también quedaría descartada, quedando solamente L1 y L3. Para elegir una u otra alternativa, el agricultor debería considerar la disponibilidad de mano de obra en una u otra época y la mayor capacidad de retención de humedad que se logra cuando se ara el suelo en la primera época (Figura 2), aspecto que sería de importancia en años de baja precipitación.

CUADRO 7. Rendimientos por categoría y total en el ensayo momentos de labranza.

Trat.	Momento de labranza			Rendimiento [tn.ha ⁻¹]				
	1ª	2ª	3ª	I	II	III	IV	Total
L1			R + C + CD	1.05	4.56	6.49	6.05	18.55 A
L2		R+C	CD	0.26	2.58	6.23	5.69	14.76 A B
L3	R + C		CD	0.52	4.09	7.64	6.51	18.72 A
L4		R+C	R + C + CD	0.93	3.56	7.46	5.24	17.19 A
L5	R + C		R + C + CD	1.07	3.63	7.48	5.44	17.62 A
L6	R + C	R+C	CD	0.20	2.44	5.42	6.43	14.49 A B
L7	R + C	R+C	R + C + CD	0.42	2.47	6.88	6.92	16.69 A B
			CV %	93.57	38.45	20.67	14.71	17.06

R = Rayada; Cruzada; CD = Cruzada diagonal

Todos los tratamientos que incluyen la rastra de aletas tienden a incrementar el rendimiento del cultivo de papa. Cuando se combina el arado reversible con la rastra de aletas (T4) el efecto en el rendimiento es mayor que cuando se combina con umbral (T3). Este efecto se debe a que el arado reversible, al voltear más tierra logra exponer más terrones a la superficie, los cuales son mullidos de mejor manera por la rastra de aletas que por el umbral (bolillo de madera), éste último alisa la superficie aparentando más desterronamiento.

Por otra parte, no se pudo demostrar que la combinación del arado de cincel con la rastra de aletas permita incrementar el rendimiento respecto a su combinación con el umbral.

Análisis económico

En el ensayo momentos de labranza al no haber diferencias estadísticas en el rendimiento, por efecto del número de aradas con arado de palo, se obtendrá un mayor beneficio económico con los tratamientos que involucren menos aradas (L1, L2 y L3), por que en estos se invirtió menos en mano de obra.

En el ensayo implementos de labranza, aunque la rastra de aletas permitió incrementar el rendimiento, su costo respecto al umbral no permite obtener un beneficio económico favorable. Un caso similar ocurre al comparar el arado reversible con el arado de palo. En este caso es necesario considerar que como la inversión en estos implementos se realizara una sola vez, es posible que en el tiempo su uso económicamente sea rentable.

CUADRO 8. Rendimiento por categorías y total en el ensayo implementos de labranza.

Trat.	Arado	Momento de labranza			Rendimiento [tn.ha ⁻¹]					
		1ª	2ª	3ª	I	II	III	IV	Total	
T1	Palo	R	R + C	CD + umbral	0	1.31	4.90	6.03	12.24	B
T2	Palo	R	R + C	CD + rastra de aletas	0	1.55	5.42	7.26	14.23	A B
T3	Rev.	R	R + C	CD + umbral	0	0.10	4.13	6.79	11.02	B
T4	Rev.	R	R + C	CD + rastra de aletas	0.89	3.65	8.06	7.02	19.62	A
T5	Cinzel	R	R + C	CD (A. palo) + umbral	0.20	2.14	5.91	5.67	13.93	A B
T6	Cinzel	R	R + C	CD (A. palo) + rastra de aletas	0.57	2.90	6.75	6.01	16.23	A B
CV %					172.3	110.2	37.2	22.10	28.90	

R = Rayada; C = Cruzada; CD = Cruzada diagonal

CONCLUSIONES

- Cuando la humedad del suelo se encuentra por debajo de la humedad aprovechable por el cultivo, las capas inferiores (20-30 cm de profundidad) tienen más humedad que las capas superficiales (0-10 cm de profundidad) y ocurre un caso inverso cuando la humedad del suelo se encuentra sobre la capacidad de campo.
- La labranza permite conservar más agua en el suelo respecto a éste sin labranza, por que logra romper los microporos de la capa arable, actuando así como una capa aislante que impide los cambios bruscos de temperatura que ocasionan las pérdidas de humedad de las capas inferiores.
- La alta humedad de la campaña (20 % más respecto al promedio histórico) no permitió demostrar claramente el efecto del arado de cinzel en la retención de humedad en el suelo.
- El porcentaje de desterronamiento se incrementa cuando las aradas se realizan con anticipación a la siembra, por que las condiciones climáticas favorecen este efecto.
- El arado reversible logra mayor incorporación de rastrojo y una mayor superficie removida respecto al arado de palo y al arado de cinzel.
- La rayada y cruzada con arado de cinzel demandan más tiempo respecto al arado de palo y al arado reversible.
- A un mayor número de aradas con arado de palo, la profundidad de aradura es mayor, llegando a tocar el pie de arado cuando el número de aradas es mayor a siete.
- El arado de cinzel permite una mayor profundidad de aradura respecto al arado reversible y al arado de palo, llegando a raspar el pie de arado y a romperlo en algunos sectores, permitiendo así un arraigamiento más uniforme.
- No se pudo demostrar que exista diferencias en el rendimiento del cultivo de papa por efecto de las épocas de labranza y del número de aradas. Desde el punto de vista económico y de conservación del suelo, el número de aradas debería ser menor a tres y realizadas en una sola época.
- No se pudo demostrar diferencias en el rendimiento por efecto de los implementos evaluados. Por las bondades del arado de cinzel en la ruptura del pie de arado y en el crecimiento de las raíces del cultivo, es probable que su efecto en el rendimiento pudo ser enmascarado por la excesiva humedad de la campaña.

BIBLIOGRAFIA

CIFEMA, 1990. Evaluación comparativa de arados de vertedera reversible para tracción animal. En Revista de Agricultura (Año 47, Mayo 1990, No. 16). Cochabamba, Bolivia, Facultad de Ciencias Agrícolas y Pecuarias Universidad Mayor de San Simón, pp. 2-13.

FAO, SNAG, FERTISUELOS. 1994. Guía metodológica de descripción rápida de los perfiles culturales para la identificación de las limitaciones al arraigamiento y el establecimiento de balances hídricos. GCPE / BOL / 018 / NET. Cochabamba, Bolivia, 9 pp.

Flores, D., Altamirano, W., Cardenas, J. 1996. Análisis comparativo de herramientas tradicionales de labranza en el departamento de Oruro. Editado por Herve, Condori y Orsag en Las labranzas en perspectiva, La Paz, Bolivia, IBTA - ORSTOM, Informe ORSTOM No 52, pp 9 a 17.

Gautronneau, Y., Manichon, H., Herve, D., Ramos, D. 1996. Guía metódica del perfil cultural. La Paz, IBTA - ORSTOM, Informe No 54, 27 pp.

Herve, D., Condori, D., Orsag, V. 1996. Las labranzas en perspectiva. Andes Centrales. La Paz, IBTA - ORSTOM, Informe ORSTOM No 52, 114 pp.

MACA. 1977. Clasificación taxonómica y de capacidad de uso de las tierras productoras de papa. Tiraque - Toralapa – Epizana, 96 pp.

Mamani P., Botello, R., Condori, B., 1999. Labranza en suelos secos para la cosecha de aguas. El arado de cincel. Ficha técnica No 1, Sistemas de Producción, Fundación PROINPA

Orsag, V. , 1996. Evaluación de la disponibilidad de agua en el suelo franco arcilloso arenoso del Altiplano norte. Editado por Herve, Condori y Orsag en Las labranzas en perspectiva. La Paz, Bolivia. IBTA - ORSTOM, Informe ORSTOM No 52, pp 57 a 65.

PROINPA 1998, Informe Compendio del Programa de Investigación de la Papa. Cochabamba, Bolivia. 62pp.

Quiroga, J.; Blajos, J. 1995. Revisión de métodos para el análisis económico en el cultivo de papa. Cochabamba, Bolivia. Edición Graham Thiele. IBTA, PROINPA. 46 pp.

Efecto del mejoramiento de tres cualidades de la tierra sobre la clase de aptitud para un tipo de utilización

Marco Flores M.¹, Aernout Weeda¹, Jorge Rocca¹ y Gonzalo Solares²

1 Proyecto ZONISIG. Calle Jacinto Benavente 2138. La Paz, Bolivia.

2 Catholic Relief Services. Calle Jacinto Benavente 2190. La Paz, Bolivia.

RESUMEN

En base a información del Proyecto ZONISIG, se empleó el sistema automatizado ALES para construir un modelo de Evaluación de Tierras. Se definió como Tipo de Utilización (TUT) a ser evaluado *agricultura anual extensiva con cultivos andinos* y sus respectivos Requisitos de Utilización (RUTs), así como, las Cualidades de la Tierra (CT) en base a sus Características (CaTs). Se consideraron datos de 51 unidades de terreno que parten de un análisis fisiográfico sobre imágenes satélite LANDSAT escala 1:250.000. La aptitud fue evaluada por componente de cada unidad de terreno en una superficie de 166,572 hectáreas en la región sur del departamento de La Paz. Se compararon las diferencias de las clases de aptitud entre un tratamiento testigo (situación actual) y otros seis tratamientos que recibieron mejoramientos hipotéticos en sus cualidades al interior de la base de datos de ALES. Se hizo un análisis estadístico con todos los componentes de las unidades de terreno y otro con los circundantes al río Desaguadero. El análisis muestra que las variables más sensibles son disponibilidad de agua y período libre de heladas, estas cualidades son las más limitantes en la aptitud de los suelos y su mejoramiento no está al alcance del agricultor.

INTRODUCCION

El proyecto Zonificación Agro-ecológica y Establecimiento de una Base de Datos y Red de Sistema de Información Geográfica en Bolivia (ZONISIG), con el apoyo financiero del gobierno de Holanda, ha ejecutado la zonificación agroecológica y socioeconómica del departamento de Pando y del altiplano del departamento de La Paz. En el primer caso, se llegó a la formulación del Plan del Uso del Suelo (PLUS) departamental escala 1:250.000, en el segundo caso se hizo una propuesta de PLUS. Actualmente, se está elaborando la zonificación de los departamentos de Chuquisaca, Tarija y Potosí. Para este efecto se realizó un inventario de los recursos naturales renovables como suelos y vegetación y se estableció la evaluación de la tierra para diferentes tipos de utilización. Estos resultados deberán ser combinados con aspectos socioeconómicos para llegar a la zonificación agroecológica y socioeconómica de las áreas en cuestión.

Dentro de éste contexto, el objetivo de la evaluación de la tierra es determinar su clase de aptitud para un determinado tipo de utilización (TUT) sobre una base sostenible. Además, permite identificar los factores limitantes para este TUT según las cualidades de la tierra y los requisitos de utilización estipulados en base a los datos disponibles.

El esquema FAO para evaluación de tierras (FAO, 1976) es una metodología que, por un lado tiene la suficiente flexibilidad como para permitir su adaptabilidad a circunstancias locales, y por otro, la facilidad en su comprensión.

Poder mejorar de alguna manera las cualidades de la tierra, creando escenarios hipotéticos, permite identificar de que manera actúan los factores limitantes y hasta que punto la clase de aptitud se ve mejorada.

El empleo del sistema ALES permitió crear estos escenarios y modificar ciertas cualidades de la tierra. El objetivo principal del presente estudio radica en analizar la sensibilidad de tres cualidades de la tierra (disponibilidad de agua, período libre de heladas y disponibilidad de nutrientes) cuya incidencia es muy fuerte en la producción agrícola de la zona, con relación al efecto que puedan causar en la clase de aptitud. Para esto, se aplicaron seis tratamientos con mejoramientos hipotéticos y fueron

comparados con un testigo que representa la situación actual. Las diferencias fueron analizadas estadísticamente.

MATERIAL Y METODOS

El área de estudio está ubicada en la parte sur del departamento de La Paz, Bolivia y comprende las provincias: Murillo, Los Andes, Ingavi, Manuel Pando, Pacajes, Gualberto Villarroel y Aroma, totalizando 166,572 ha. La zona se encuentra entre las coordenadas geográficas 16°29'28"-18°16'12" de latitud sur y 67°22'26"-69°24'43" de longitud oeste.

El clima de la región es templado frío (Koppeny Geiger, 1936) con precipitaciones que oscilan entre 300 y 800 mm. El régimen térmico es variable. Las regiones menos frías se encuentran en las inmediaciones del Lago Titicaca (Guaqui, Serranía de Tiwanacu), debido principalmente al efecto termorregulador del lago. Estas últimas áreas presentan temperaturas medias anuales próximas a los 10°C y mínimas anuales de 4.5°C. La región más fría se encuentra en el sur-occidente del área de estudio donde Charaña presenta una temperatura media anual de 5.8°C y una media mínima anual de -5.8°C.

Los suelos son predominantemente de texturas francas, limosas y arcillosas, superficiales a profundos, con pedregosidad y rocosidad variables. Las pendientes tienen rango muy amplio desde planas a casi planas hasta fuertemente escarpadas. En muchos casos los suelos son de origen volcánico con abundantes sedimentos clásticos de rocas ígneas ácidas (Cordillera Occidental). En general, los suelos contienen poca materia orgánica (< 1% C) y son de baja fertilidad natural.

La metodología utilizada para la evaluación de la tierra se basa en la desarrollada por la FAO (1976), la cual está siendo empleada en el proyecto ZONISIG.

a. Recolección y análisis de información sobre el recurso tierra (incluyendo clima), en cuatro etapas:

- Análisis de la información disponible o secundaria.
- Interpretación fisiográfica del área de estudio sobre la base de imágenes satélite del tipo LANDSAT TM (bandas 5,4,3). El resultado fue un mapa de unidades de terreno en escala 1:250.000 (Figuras 2A y 2B). En general, la unidad de terreno tiene subdivisiones, llamadas componentes de terreno, que normalmente no son mapeables a la escala empleada. Cada fue descrito en sus características edafológicas. En el área de estudio fueron identificadas 51 unidades de terreno con sus respectivos componentes.
- Validación de las unidades fisiográficas diferenciadas en las imágenes satélite a través de observaciones de campo. Para el presente estudio, se tomaron en total datos de 300 perfiles de suelos cuyas muestras fueron enviadas al laboratorio CIAT de Santa Cruz para su análisis.
- Introducción de la información obtenida en una base de datos. Se empleó la base de datos de ALES (Sistema Automático de Evaluación de Tierras, versión 4.5) e ILWIS (Sistema de Información Geográfica).

b. Definición del o los tipos de utilización de la tierra (TUTs)

c. Determinación de los requisitos del tipo de utilización de la tierra RUTs. En base al TUT definido y a la descripción de las unidades cartográficas, unidades de terreno y sus componentes, se determinan los RUTs (que constituyen la demanda de la tierra) y las cualidades de la tierra (que constituyen la oferta), con sus niveles críticos expresados en grados en relación con la productividad del o los tipos de utilización distinguidos.

d. Comparación del o los tipos de utilización de la tierra con las unidades de tierra y sus componentes. Para la clasificación de la aptitud de la tierra se comparan las cualidades de cada componente de la unidad de terreno (con o sin mejoramientos) con los requerimientos del tipo de utilización considerado, a través de las tablas de conversión (o tablas de requerimientos). La cualidad más limitante determina la clase de aptitud. Se consideraron cuatro clases de aptitud:

Clase I:	Aptitud buena
Clase II:	Aptitud regular
Clase III:	Aptitud marginal
Clase IV:	No apta

Las clases expresan la aptitud de la tierra para un tipo determinado de utilización. Fueron definidas en base a la clasificación de la FAO, 1976.

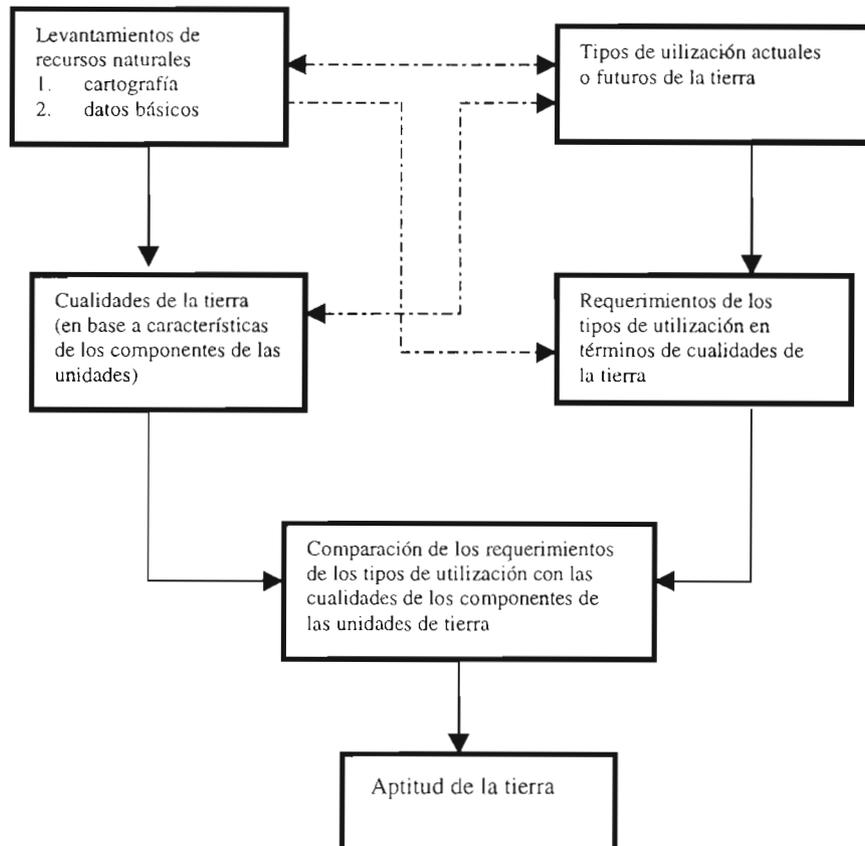


FIGURA 1. Esquema para la evaluación de la tierra

Tipo de utilización de la tierra.

Tomando en cuenta la escala de trabajo, disponibilidad de datos y uso actual de la tierra, fue considerado para el presente estudio como tipo de utilización de la tierra a ser evaluado Agricultura Anual Extensiva con Cultivos Andinos. En este TUT no se utiliza capital para el manejo de la explotación o del suelo, consecuentemente, no se aplican fertilizantes u otros insumos químicos, la fuerza predial empleada puede ser del tipo manual o animal y la mano de obra es predominantemente familiar. La principal característica de este TUT, es que se producen cultivos anuales cuyas variedades nativas están muy bien adaptadas a las condiciones de clima y suelo de la región. La extensión de la tierra explotada puede ser pequeña o grande. La producción se destina principalmente al autoconsumo y algún excedente al mercado local.

En este tipo de utilización existen niveles intermedios y variantes que permiten apreciar en algunos casos un cierto nivel de manejo empleando tecnología local mejorada y niveles bajos de insumos. Como ejemplos de cultivos anuales andinos se puede mencionar la producción de papa amarga, papalisa, oca, tarwi, quinua y haba.

Cualidades de la tierra

Las cualidades de la tierra definidas para el TUT en consideración son:

Disponibilidad de nutrientes. Calculada para los primeros 50 cm de profundidad del suelo, dando un peso de 70% entre 0-20 cm y 30% entre 20-50 cm. Las características consideradas fueron el contenido carbón orgánico, la capacidad de intercambio catiónico, el porcentaje de saturación de bases, fósforo disponible, potasio intercambiable y calcio más magnesio intercambiables.

Disponibilidad de agua en el suelo. Estimada en base al cálculo del balance hídrico del suelo, tomando la precipitación efectiva y su distribución mensual, así como la evapotranspiración potencial y la retención de humedad en el suelo.

Disponibilidad de oxígeno en el suelo. Tomando en cuenta el drenaje del suelo.

Ausencia de riesgo de inundación. Estimada en base a la frecuencia y tiempo de duración de la inundación.

Resistencia a la erosión hídrica. Estimada en base a la pendiente general y la presencia de cambio textural abrupto o contacto lítico dentro de 50 cm de profundidad del suelo.

Posibilidad de uso de implementos agrícolas. Toma en cuenta la pendiente general, rocosidad y/o pedregosidad superficial, fragmentos gruesos por volumen de suelo, drenaje y textura superficial.

Profundidad efectiva del suelo.

Ausencia de salinidad. Determinada hasta 50 cm de profundidad del suelo considerando el valor más alto de la conductividad eléctrica (CE).

Ausencia de sodicidad. Calculada hasta 50 cm de profundidad del suelo considerando el valor más alto del porcentaje de sodio intercambiable (PSI)

Período libre de heladas. Estimado en base a datos meteorológicos que permiten determinar el número de meses libres de heladas y el número de meses con 1 a 4 días de heladas por mes.

Requisitos de utilización de la tierra

Se consideraron los siguientes RUTs con sus respectivos niveles críticos, expresados en grados de cualidad para el tipo de utilización estudiado (Cuadros 1 al 10).

CUADRO 1. Disponibilidad de nutrientes en el suelo.

Grado	Características							
	C %	CIC cmol(+).kg ⁻¹	Al %	SB %	P ₂ O ₅ ppm	K cmol(+).kg ⁻¹	Ca+Mg cmol(+).kg ⁻¹	Textura 0-50cm
1 Alto	>2	>15	0 ≤40	>50	>15	>0.3	>4	Franco arenoso o más fino
2 Medio	>1 ≤2	≥7 ≤15	>40 ≤60	≥20 ≤50	≥5 ≤15	≥0.1 ≤0.3	≥1≤4	Franco arenoso o más fino
3 Bajo	≥0.7 ≤1	<7	≥60 ≤80	<20	<5	<0.1	<1	Franco arenoso o más fino
4 Muy bajo	<0.7	-	>80	-	-	-	-	Arenoso franco
5 Extremadamente bajo	-	-	-	-	-	-	-	Arena

CUADRO 2. Disponibilidad de agua en el suelo

Grado	Características
1 Muy alto	Disponibilidad de agua > 9 meses.
2 Alto	Disponibilidad de agua entre 7-9 meses.
3 Medio	Disponibilidad de agua entre 5-6 meses.
4 Bajo	Disponibilidad de agua igual a 4 meses.
5 Muy bajo	Disponibilidad de agua igual a 3 meses.
6 Extremadamente. Bajo	Disponibilidad de agua < 3 meses.

CUADRO 3. Disponibilidad de oxígeno en el suelo.

Grado	Características
1 Alto	Excesivamente, bien o moderadamente bien drenado.
2 Medio	Imperfectamente drenado.
3 Bajo	Pobremente o muy pobremente drenado.

CUADRO 4. Ausencia de riego de inundación.

Grado	Características	
	Duración de la inundación	Frecuencia (aproximada)
1 Alto	Sin inundación.	Una vez en más de 5 años
2 Medio	1 día - 15 días acumulativos.	Una vez en menos de 5 años.
3 Bajo	15 días - 90 días acumulativos.	Anual.
4 Muy bajo	Más de 90 días acumulativos.	Anual.

CUADRO 5. Resistencia a la erosión hídrica.

Grado	Características*
1 Alto	Pendiente general $0 \leq 2\%$ en suelos sin cambio textural abrupto dentro de 50 cm de profundidad ni contacto lítico.
2 Moderadamente alto	Pendiente general $> 2 \leq 10\%$ ó $0 \leq 2\%$ en suelos con cambio textural abrupto dentro de 50 cm de profundidad o con contacto lítico.
3 Moderado	Pendiente general $> 10 \leq 15\%$ ó $> 2 \leq 10\%$, en suelos con cambio textural abrupto dentro de 50 cm de profundidad o con contacto lítico.
4 Moderadamente bajo	Pendiente general $> 15 \leq 30\%$, ó $> 10 \leq 15\%$, en suelos con cambio textural abrupto dentro de 50 cm de profundidad o con contacto lítico.
5 Bajo	Pendiente general $> 30 \leq 60\%$, ó $> 15 \leq 30\%$, en suelos con cambio textural abrupto dentro de 50 cm de profundidad o con contacto lítico.
6 Muy bajo	Pendiente general $> 60\%$, ó $> 30 \leq 60\%$, en suelos con cambio textural abrupto dentro de 50 cm de profundidad o con contacto lítico.

*Cambio textural abrupto y contacto lítico están definidos de acuerdo al mapa mundial de suelos de la FAO, 1991.

CUADRO 6. Posibilidad de uso de implementos agrícolas.

Grado	Características				
	Pendiente (%)	Rociedad y pedregosidad superficial (%)	Fragmentos gruesos (>2mm) por volumen de suelo (%) 0-30 cm	Drenaje del suelo	Textura 0-30 cm
1 Alto	$0 \leq 2$	≤ 5	≤ 5	Excesivamente a moderadamente bien drenado	Todas las francas.
2 moderadamente alto	$> 2 \leq 10$	$> 5 \leq 15$	$> 5 \leq 15$	Bien a moderadamente bien drenado	Arcillosa (arcilla < 60%) limosa y arcillo arenosa
3 Moderadamente bajo	$> 10 \leq 15$	$> 15 \leq 40$	$> 15 \leq 40$	Imperfectamente drenado	Muy arcillosa (arcilla > 60%) y arcillo limosa
4 Bajo	> 15	> 40	> 40	Pobremente a muy pobremente drenado	Arenosa y areno francosa

CUADRO 7. Profundidad efectiva del suelo.

Grado	Profundidad (cm)
1 Alto	>100
2 Moderado	> 50 ≤ 100
3 Bajo	≥ 30 ≤ 50
4 Muy bajo	< 30

CUADRO 8. Ausencia de salinidad en el suelo.

Grado	CE dS.m ⁻¹
1 Alto	< 2.0
2 Medio	≥2.0 ≤ 4.0
3 Bajo	>4.0 ≤ 8.0
4 Muy bajo	>8.0 ≤16.0
5 Extremadamente. Bajo	> 16.0

CUADRO 9. Ausencia de sodicidad en el suelo.

Grado	Porcentaje de sodio intercambiable (PSI)
1 Alto	< 6
2 Medio	≥ 6 ≤ 10
3 Bajo	> 10 ≤ 15
4 Muy bajo	> 15 ≤ 40
5 Extremadamente bajo	> 40.

CUADRO 10. Período libre de heladas.

Grado	Características	
	Meses libres de heladas	Meses libres de heladas más 1 ó 2 meses con 1 a 4 días de helada por mes
1	> 6	---
2	6	5 + 1
3	5	4 + 2
4	4	3 + 2
5	3	2 + 2
6	2	1 + 2
7	< 2	---

CUADRO 11. Tabla de conversión para determinar la clase de aptitud de la tierra. Agricultura anual extensiva con cultivos andinos.

Clase de aptitud	Grados de cualidad de la tierra					
	Disponibilidad de nutrientes	Disponibilidad de agua	Disponibilidad de oxígeno	Ausencia de riesgo de inundación	Resistencia a la erosión	Posibilidad de uso de implementos agrícolas
I	3	3	3	1	1	2
II	3	4	4	2	2	2
III	4	4	4	2	3	3
IV	Cualquier grado más abajo que para la clase III					

Grados de cualidad de la tierra			
Profundidad efectiva	Ausencia de salinidad	Ausencia de sodicidad	Período libre de heladas
2	1	1	4
2	2	2	5
3	2	3	5
Cualquier grado más abajo que para la clase III			

Se construyó un modelo para la evaluación de la tierra empleando el sistema ALES. Se construyeron los respectivos árboles de decisión en base a los requisitos del tipo de utilización y las características de la tierra según se indica en los cuadros 1 al 11. Posteriormente, se introdujeron los datos de los componentes de cada unidad de terreno en la propia base de datos de ALES. Se obtuvo un primer resultado de la evaluación (Figura 3), el cual mostró como principales limitantes la disponibilidad de agua, la incidencia de heladas y la disponibilidad de nutrientes. Estos resultados, que reflejan la situación actual, fueron llamados "testigo" o tratamiento A. Con base a estos resultados, se decidió aplicar los siguientes tratamientos de mejoramientos hipotéticos en la base de datos de ALES y se corrió el modelo en cada uno de ellos con el fin de observar y analizar las diferencias en las clases de aptitud.

Tratamiento B. Se mejoró un grado la cualidad disponibilidad de agua.

Tratamiento C. Se mejoró un grado la cualidad periodo libre de heladas.

Tratamiento D. Se mejoró la cualidad disponibilidad de nutrientes hasta grado 1.

Tratamiento E. Se mejoró hasta grado 1 la disponibilidad de nutrientes y se mejoró un grado la disponibilidad de agua.

Tratamiento F. Se mejoraron en un grado las cualidades disponibilidad de agua y período libre de heladas.

Tratamiento G. Se mejoraron en un grado las cualidades disponibilidad de agua y período libre de heladas y hasta grado 1 la disponibilidad de nutrientes.

Luego de obtener las clases de aptitud para cada componente de terreno, de las 51 unidades fisiográficas, se comparó el tratamiento testigo con cada uno de los otros tratamientos. Para analizar las diferencias entre los respectivos tratamientos se aplicó la prueba de rangos de Wilcoxon en base a dos razones: los valores son cualitativos y no paramétricos y la distribución no es normal.

El nivel de significancia empleado es de $\alpha \leq 0.05$ (significativo) y $\alpha \leq 0.01$ (muy significativo).

RESULTADOS

De acuerdo al análisis estadístico, la comparación entre las clases de aptitud del tratamiento testigo con las clases de aptitud del tratamiento B muestra diferencias significativas. Muchos componentes de terreno pasan de clase IV a III y a clase II cuando se mejora en un grado la disponibilidad de agua en el tratamiento B.

La comparación entre las clases de aptitud del tratamiento testigo con las del tratamiento C muestra diferencias muy significativas cuando en C se mejora en un grado el período libre de heladas (Figuras 3 y 4).

Las clases de aptitud del tratamiento testigo y el tratamiento D no muestran diferencias significativas cuando se mejora hasta el grado 1 la disponibilidad de nutrientes.

La comparación de las clases de aptitud del tratamiento testigo con las clases de aptitud del tratamiento E muestran diferencias significativas cuando se mejora hasta grado 1 la disponibilidad de nutrientes y se mejora en un grado la disponibilidad de agua.

Las clases de aptitud del tratamiento testigo y el tratamiento F muestran diferencias muy significativas cuando se mejora en un grado la disponibilidad de agua y el período libre de heladas (Figuras 3 y 5).

Las clases de aptitud del tratamiento testigo y el tratamiento G muestran diferencias muy significativas cuando se mejora hasta grado 1 la disponibilidad de nutrientes y se mejora en un grado la disponibilidad de agua y el período libre de heladas (Figuras 3 y 6).

El análisis espacial de los resultados obtenidos permitió identificar que la mayor parte de las unidades de terreno que mejoran su clase de aptitud se encuentran circundantes al río Desaguadero. Por esta razón se decidió aplicar un segundo análisis estadístico con los mismos tratamientos y la misma prueba de Wilcoxon solamente a las unidades y sus respectivos componentes de terreno circundantes al mencionado río. Los resultados obtenidos fueron los siguientes:

La comparación entre las clases de aptitud del tratamiento testigo con las clases de aptitud del tratamiento B muestra diferencias significativas. Muchos componentes de terreno pasan de clase IV a III y a clase II cuando se mejora en un grado la disponibilidad de agua en el tratamiento B.

La comparación entre las clases de aptitud del tratamiento testigo con las del tratamiento C no muestra diferencias significativas cuando se mejora en un grado el período libre de heladas.

Las clases de aptitud del tratamiento testigo y el tratamiento D no muestran diferencias significativas cuando se mejora hasta el grado 1 la disponibilidad de nutrientes.

La comparación de las clases de aptitud del tratamiento testigo con las clases de aptitud del tratamiento E muestran diferencias muy significativas cuando se mejora hasta grado 1 la disponibilidad de nutrientes y se mejora en un grado la disponibilidad de agua.

Las clases de aptitud del tratamiento testigo y el tratamiento F muestran diferencias muy significativas cuando se mejora en un grado la disponibilidad de agua y el período libre de heladas.

Las clases de aptitud del tratamiento testigo y el tratamiento G muestran diferencias muy significativas cuando se mejora hasta grado 1 la disponibilidad de nutrientes y se mejora en un grado la disponibilidad de agua y el periodo libre de heladas.

CONCLUSIONES

- La disponibilidad de agua y el período libre de heladas son las cualidades de la tierra que tienen mayor efecto sobre la clase de aptitud. Esto nos permite concluir que los factores más limitantes para el TUT estudiado en el área en cuestión son disponibilidad de agua y la incidencia de heladas. Ambas cualidades parecen estar estrechamente relacionadas y tener una interacción, ya que muestran un efecto muy significativo sobre la clase de aptitud cuando conjuntamente se mejora sus grados de cualidad (tratamiento F).
- El período libre de heladas comparado con la situación actual, no muestra diferencias significativas entre sí en sus clases de aptitud cuando las unidades circundantes al río Desaguadero son analizadas por separado. Esto se debe a que estas mismas unidades son las que tienen el mejor grado de período libre de heladas en la denominada situación actual.
- El mejoramiento de la disponibilidad de nutrientes hasta grado 1 no tiene un efecto significativo cuando comparamos con la situación actual. Esto nos permite concluir que existen otros factores más importantes que disponibilidad de nutrientes que limitan la clase de aptitud. Mejorar esta cualidad solo tiene un efecto significativo cuando paralelamente se mejora la disponibilidad de agua y el periodo libre de heladas o ambos (tratamientos E, F y G).
- De manera práctica, podemos afirmar que la zona de estudio presenta serios problemas de limitación para el TUT, principalmente, en la disponibilidad de agua y período libre de heladas. Ambas cualidades no pueden ser mejoradas de forma directa por el agricultor. Ante la incidencia de heladas poco el puede hacer. Mejorar la disponibilidad de agua es posible sólo en aquellos componentes donde existan fuentes de agua que estén al alcance del agricultor.

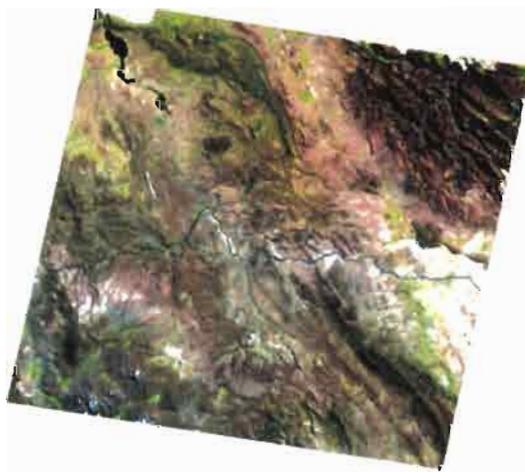


FIGURA 2A. Imagen de satélite TM LANDSAT (5,4,3) del Altiplano sur del departamento de La Paz

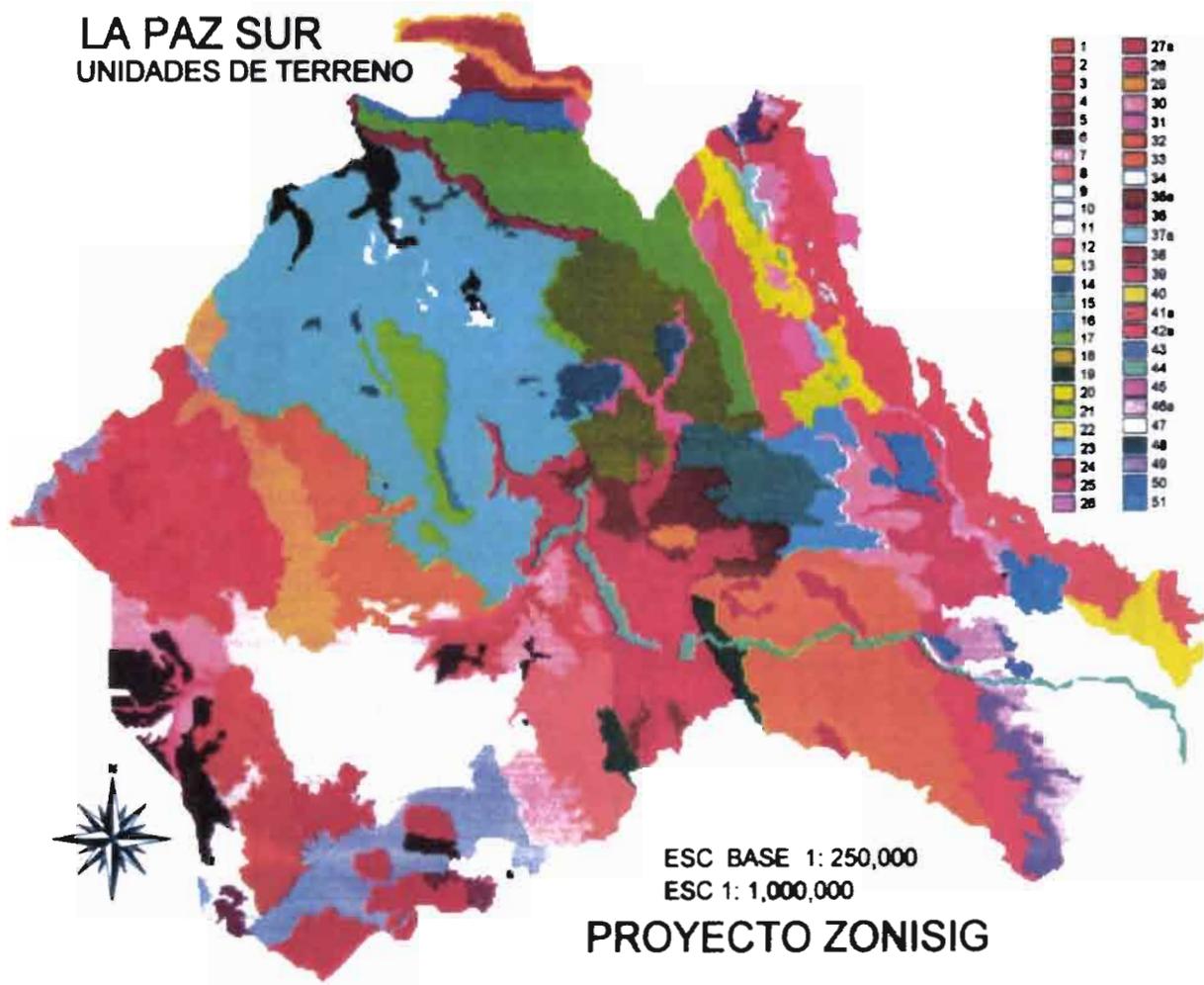


FIGURA 2B. Unidades de Terreno del Altiplano sur del departamento de La Paz

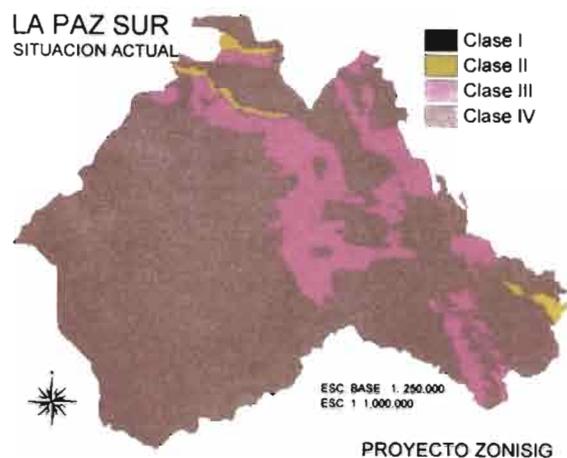


FIGURA 3. Situación actual

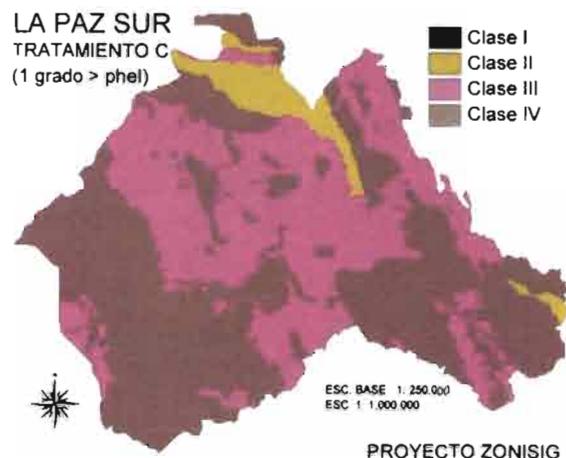


FIGURA 4. Tratamiento C (1 grado > phel)

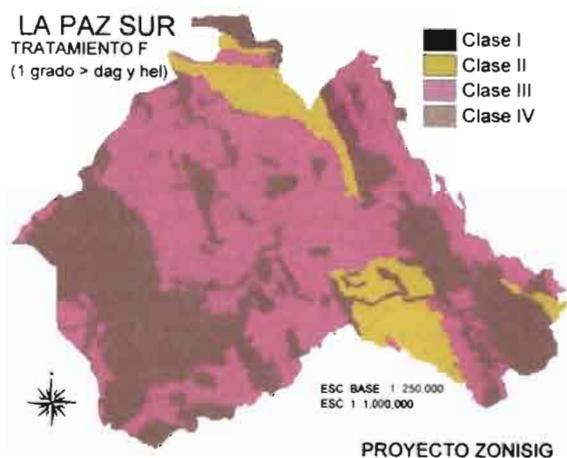


FIGURA 5. Tratamiento F (1 grado > dag y hel)

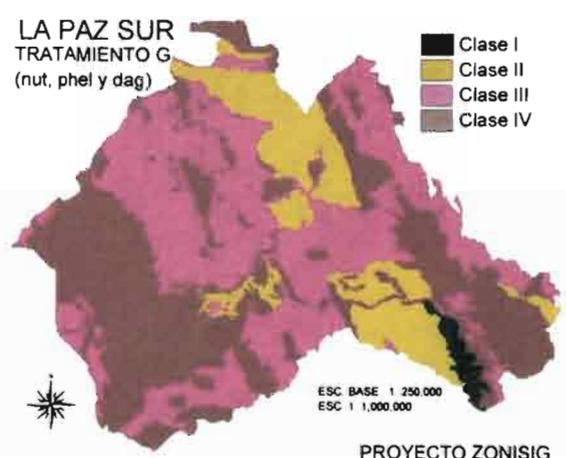


FIGURA 6. Tratamiento G (nut, phel y dag)

BIBLIOGRAFIA

Booker Agriculture International Limited, 1984. Booker Tropical Soil Manual, Londres, JR Landon, 450pp.

FAO, 1976. Esquema para la evaluación de tierras, Roma, Italia, 66pp

FAO-ISRIC, 1990. Guidelines for soil description. Roma, Italia, 3^{ra} Ed.

ZONISIG, 1998. Zonificación agroecológica y socioeconómica de la cuenca del Altiplano del departamento de La Paz. La Paz, Bolivia, 213pp.

ZONISIG, 1997. Aptitud de la tierra del departamento de Pando. Informe interno. La Paz, Bolivia, 47pp.

Identificación de áreas forestales según su potencial utilizando SIG

Omar Vargas¹

1 Programa Manejo Integral de Cuencas, PROMIC. Av. Atahuallpa final-Parque Tunari. Casilla 4909. Teléfono-Fax: 291095. email:promic@pino.cbb.entelnet.bo. Cochabamba, Bolivia.

RESUMEN

Dentro el ámbito forestal la identificación de áreas en nuestro medio se realiza, generalmente, a partir de parámetros visuales y paisajísticos, donde la planificación debe ir acompañada de la investigación. Es a partir de estos conceptos que el Programa Manejo Integral de Cuencas elabora un modelo para identificar zonas de alta montaña aptas para forestación en la cuenca Taquiña, la misma que esta ubicada en la vertiente sur de la Cordillera del Tunari y cuyos datos son fácilmente transferibles y extrapolables a zonas montañosas.

El objetivo principal de esta estudio es disponer de un modelo, a partir de un área piloto, para la identificación de zonas potenciales para la forestación y reforestación. El trabajo se lleva adelante en cuatro etapas: diagnóstico, coordinación, estudios temáticos y etapa de análisis

Los estudios temáticos permiten definir unidades de mapeo, a las cuales se les asigna un valor bidimensional que forma parte de las matrices para la confrontación entre mapas temáticos. El resultado de esta confrontación es un mapa de forestación potencial para la cuenca piloto Taquiña.

INTRODUCCION

Dentro del ámbito forestal, la identificación de áreas aptas para reforestaciones generalmente se realiza a partir de parámetros visuales y paisajísticos como ser: fisiografía y pendiente principalmente, e indirectamente altitud, donde indudablemente son claros los resultados obtenidos con este sistema de planificación. Es a partir de estos antecedentes que el Programa Manejo Integral de Cuencas elabora un modelo para identificar zonas de alta montaña aptas para forestación en la cuenca Taquiña, fácilmente transferible y extrapolable a zonas montañosas.

El objetivo del presente trabajo es disponer de un modelo, a partir de un área piloto, para la identificación de zonas potenciales con destino a la forestación y reforestación. Sin lugar a dudas que para el cumplimiento de este objetivo, es necesaria la realización de un estudio de suelos en la zona de estudio tomando en cuenta que se tienen como parámetros principales del modelo a desarrollar la profundidad efectiva y la textura de los mismos.

MATERIALES Y METODOS

El área de estudio se ubica en la vertiente sur de la cordillera del Tunari, específicamente en la cuenca Taquiña (Figura 1).

Se busca construir un modelo que contemple tres parámetros (profundidad efectiva, textura y altitud) y parámetros indirectos (temperatura, humedad y pendiente) (Figura 2). Por otra parte, el modelo tiene la virtud y la facilidad de ser retroalimentado con otros parámetros disponibles, de manera que los productos a obtenerse tengan un mayor grado de confiabilidad.

Se contemplan cuatro etapas, la de diagnóstico en la cual se realiza un reconocimiento a nivel general de la zona con apoyo de imágenes satélite, con el propósito de poder asociar las geoformas con la profundidad de los suelos y relevar áreas forestales muy bien establecidas, aspecto que permitió validar unidades de forestación piloto. Posteriormente, se realiza coordinación con especialistas del programa sobre aspectos forestales como las características, la adaptabilidad y los requerimientos ecológicos y biofísicos de las especies forestales a plantar. Además, hay que relacionar estos datos con las características del sitio a repoblar, el uso actual y potencial de la tierra y los productos o servicios que desea obtener la comunidad.

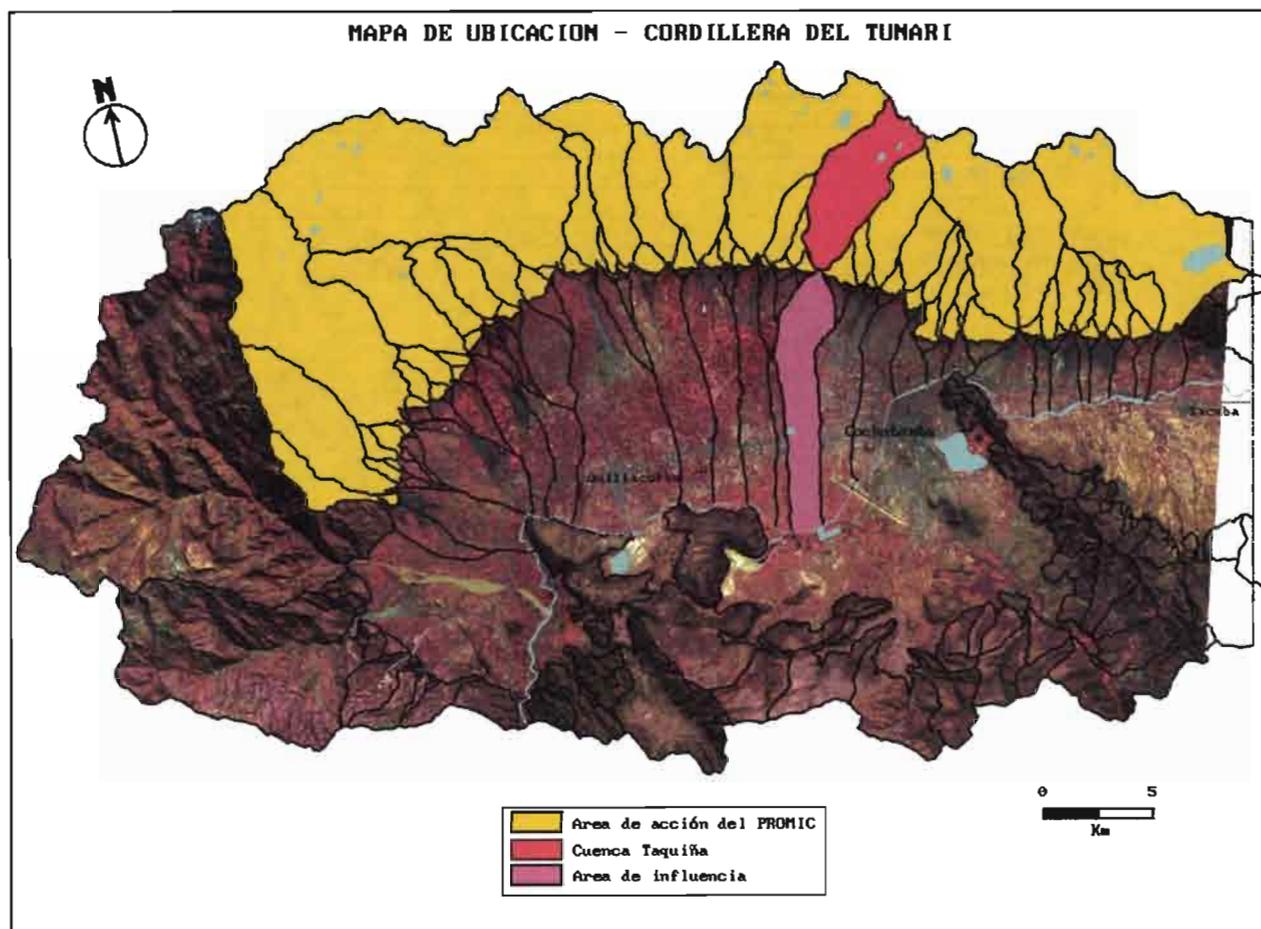


FIGURA 1. Ubicación del área de estudio.

En una tercera etapa se realizan los estudios temáticos y la elaboración de los mapas temáticos mínimos para el modelo: mapa de textura (Figura 3), mapa de profundidad efectiva (Figura 4) y mapa altitudinal (Figura 5). El proceso metodológico se expresa en la figura 2. En esta etapa se definen las unidades de mapeo y se asigna a cada una de ellas un valor bidimensional (Cuadros 1,2 y 3).

CUADRO 1. Unidades identificadas para el mapa de profundidad efectiva.*

Unidad de mapeo	Profundidad	Valor en la matriz bidimensional
Suelos extremadamente superficiales	< a 10 cm	g
Suelos muy superficiales	10 - 20 cm	f
Suelos moderadamente superficiales	20 - 30 cm	e
Suelos superficiales	30 - 40 cm	d
Suelos ligeramente profundos	50 - 50 cm	c
Suelos moderadamente profundos	50 - 60 cm	b
Suelos profundos	> a 60 cm	a

* ver Figura 3

CUADRO 2. Unidades identificadas para el mapa de textura*.

Unidad de mapeo	Valor en la matriz bidimensional
Franco	a1
Franco limoso	b1
Franco arenoso	c1
Franco arcillo arenoso	d1
Campos de piedra	e1
Cauces y taludes	f1
Lagunas y ríos	g1

* ver Figura 4

CUADRO 3. Las unidades identificadas para el mapa altitudinal*.

Unidad de mapeo (msnm)	Valor en la matriz bidimensional
< a 3000	a2
3000 – 3200	b2
3200 – 3400	c2
3400 – 3600	d2
3600 – 3800	e2
3800 – 4000	f2
4000 – 4200	g2
4200 – 4400	h2
> a 4400	i2

* ver figura 5

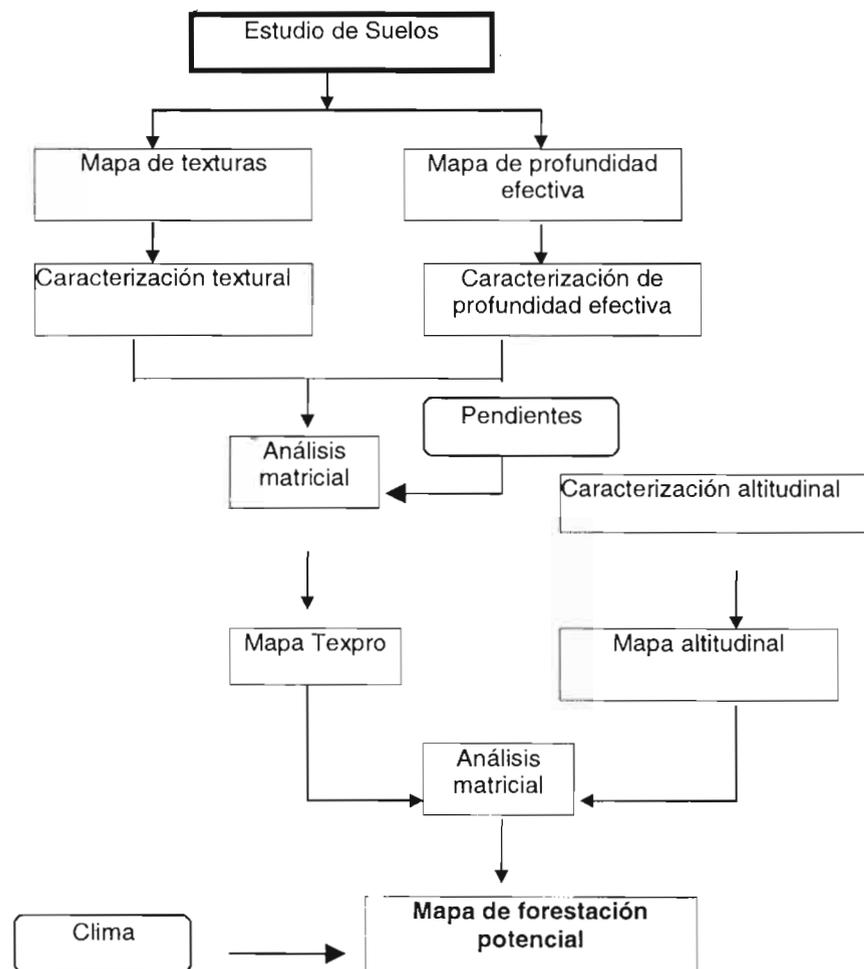


FIGURA 2. Modelo para identificación de áreas forestales en tierras de alta montaña

En una cuarta etapa, de análisis, se realizó la confrontación en dos niveles, en el primer nivel se procede a la confrontación entre las unidades texturales (composición porcentual de texturas de suelo) con las unidades de profundidad efectiva, a partir de la cual se obtiene un mapa de textura-profundidad efectiva (texpro) (Cuadro 4).

En el segundo nivel de análisis se muestra la confrontación entre el resultado de la primera confrontación (texpro) con las unidades altitudinales (Cuadro 5).

CUADRO 4. Análisis matricial textura-profundidad efectiva

		Profundidad efectiva									
		0	a	b	c	d	e	f	g	h	i
Textura	a1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	b1	0	6	5	4	3	2	1	1	8	9
	c1	0	6	5	4	4	3	2	1	8	9
	d1	0	6	6	5	4	3	2	1	8	9
	e1	0	6	5	4	3	2	1	1	8	9
	f1	0	9	9	9	9	9	9	9	9	9
	g1	0	8	8	8	8	8	8	8	8	9
	h1	0	10	10	10	10	10	10	10	10	10
		0	7	7	7	7	7	7	7	7	7

CUADRO 5. Análisis matricial texpro-altitud

		texpro									
		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Altitud		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	A2	0	1	2	3	3	4	5	7	8	9
	b2	0	1	2	3	3	4	5	7	8	9
	c2	0	1	2	3	3	4	5	7	8	9
	d2	0	1	2	3	3	4	5	7	8	9
	e2	0	2	3	4	4	5	5	7	8	9
	f2	0	2	3	4	5	5	6	7	8	9
	g2	0	4	4	5	5	5	6	7	8	9
	h2	0	5	5	5	6	6	6	7	8	9
	i2	0	5	5	5	6	6	6	7	8	9

Como producto del análisis matricial, se obtiene el mapa de áreas potenciales para la forestación, en el cual se identificaron las siguientes unidades (Figura 6):

- Potencial alto para arbustos y árboles (1)
- Potencial alto p/arbustos y moderado p/árboles (2)
- Potencial moderado p/ arbustos y bajo p/árboles (3)
- Potencial bajo para arbustos (4)
- Potencial moderado para pastizales (5)
- Potencial bajo para pastizales (6)
- Areas agrícolas (7)
- Campos de bloque (8)
- Cauces y taludes (9)
- Cuerpos de agua (10)

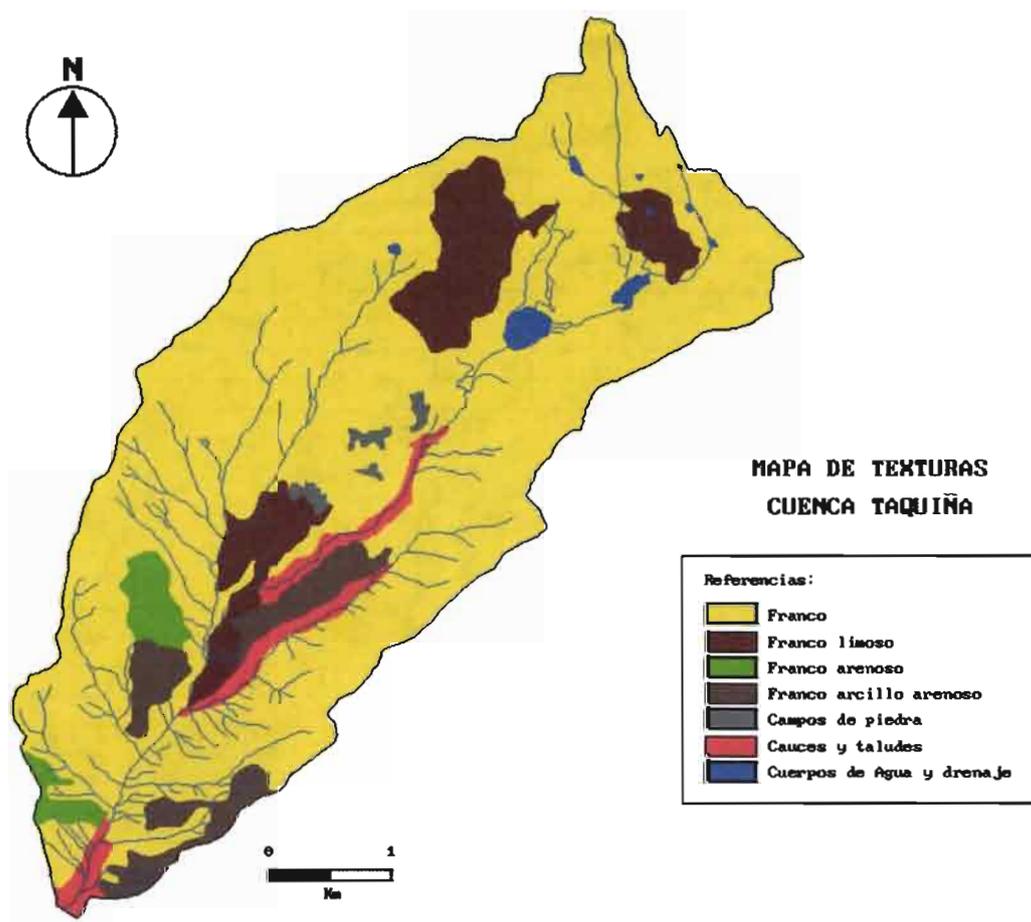


FIGURA 3. Mapa de texturas cuenca Taquiña

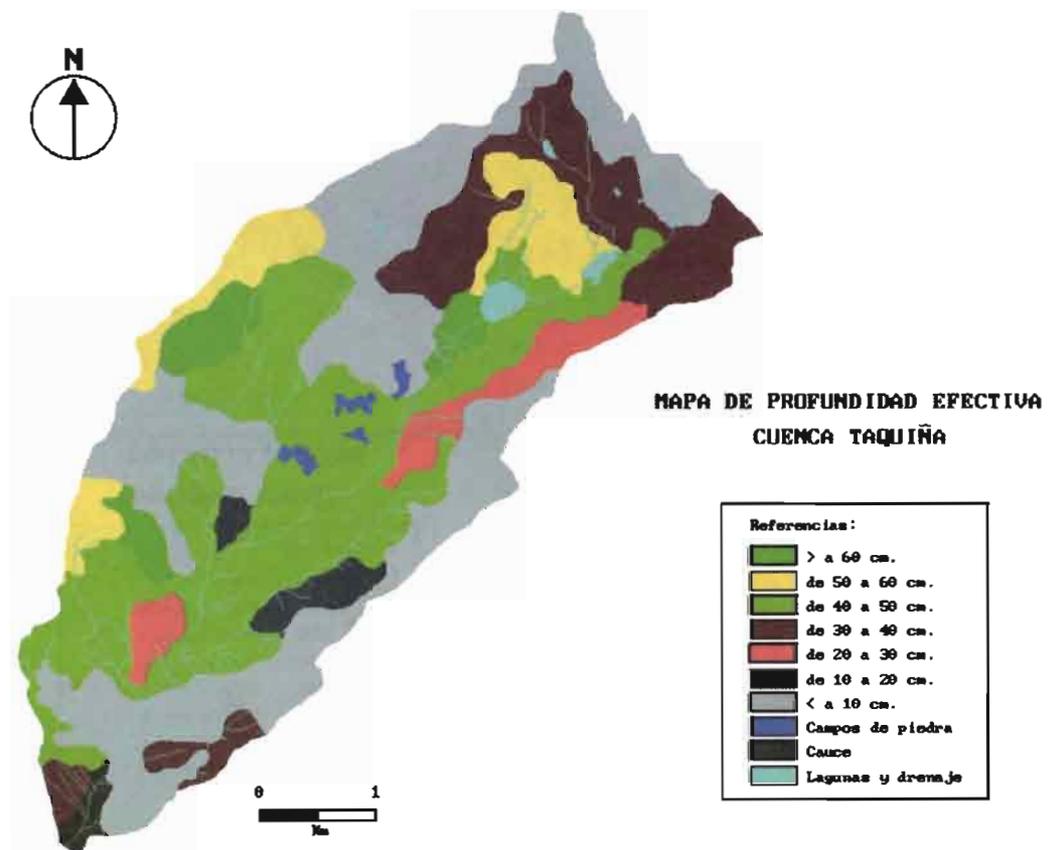


FIGURA 4. Mapa de profundidad efectiva cuenca Taquiña

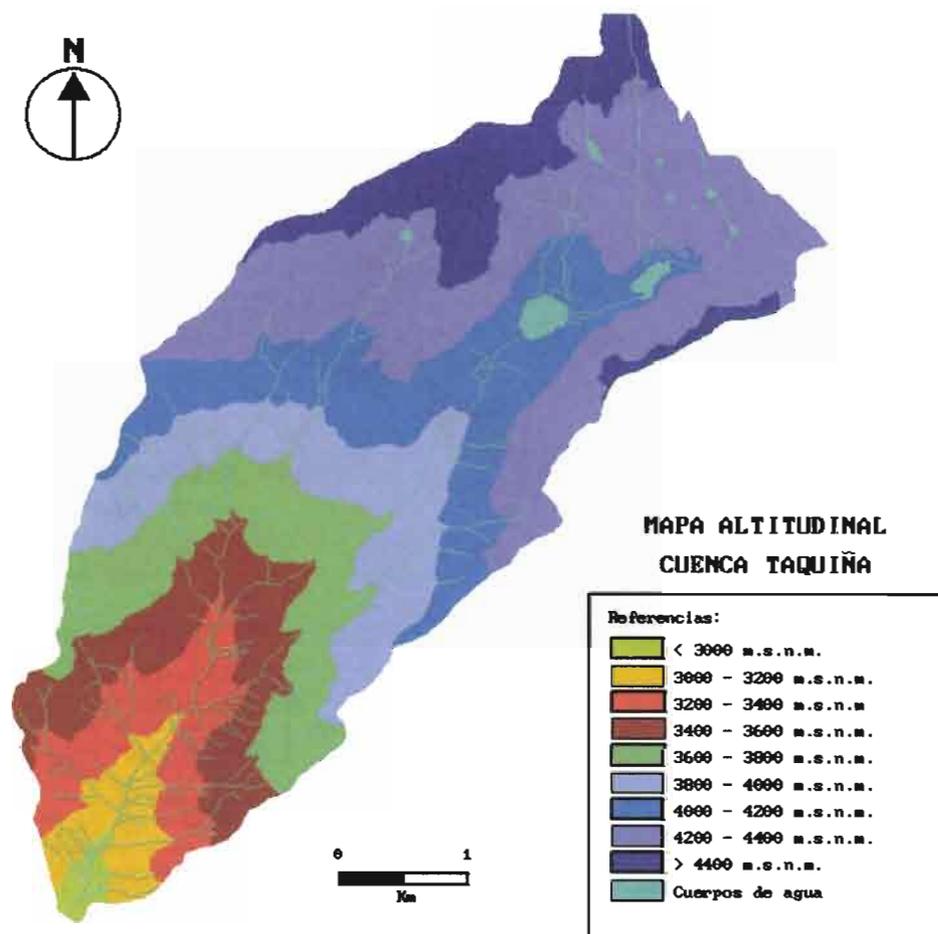


FIGURA 5. Mapa altitudinal cuenca Taquiña

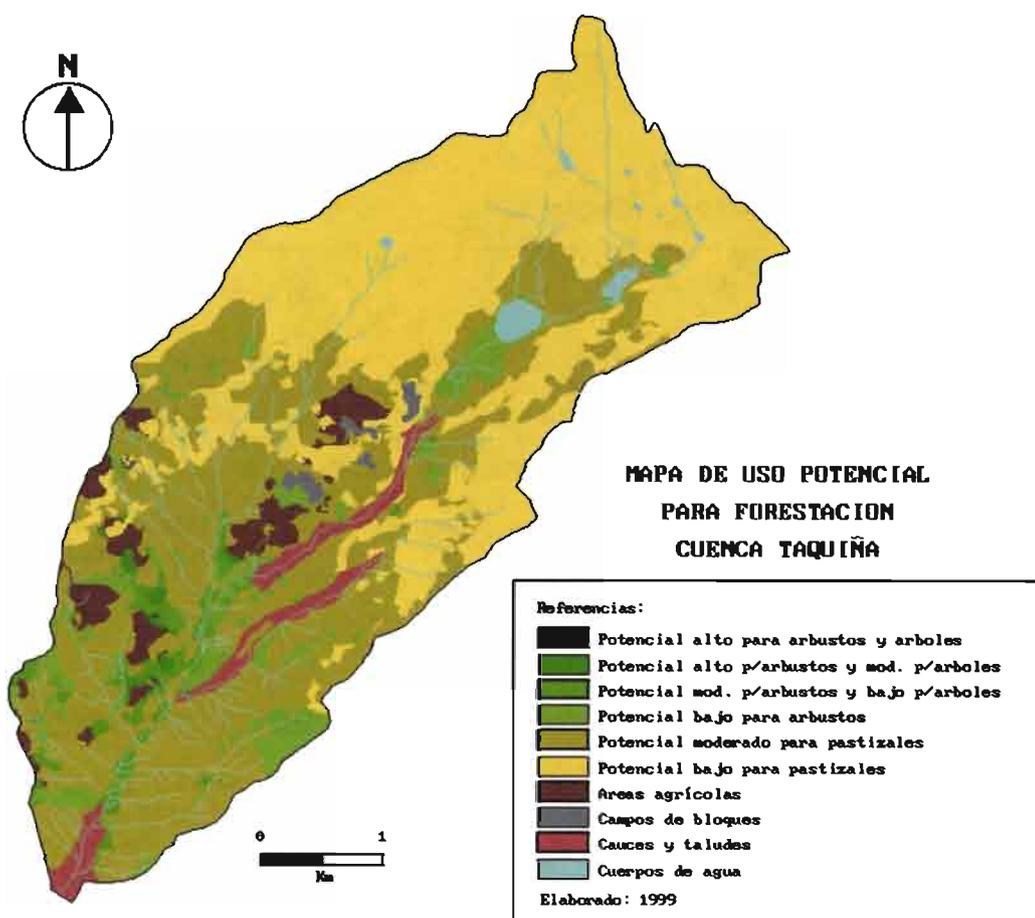


FIGURA 6. Mapa de uso potencial para forestación

CONCLUSIONES

- El mapa de forestación potencial es un insumo importante para el monitoreo del manejo integral de cuencas el que, a su vez, se constituye en un documento importante para el Plan de Manejo de una cuenca.

BIBLIOGRAFIA

- Amurrio, J. et al., 1994. Levantamiento de suelos a nivel de semidetalle en la cuenca piloto Taquiña, 107 pp.
- Gomez, S., 1995. Evaluación de las plantaciones forestales en el PROMIC. 16pp
- Forsythe, W., 1975. Manual de laboratorio de física de suelos. San José, Costa Rica, Editorial IICA, Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas, 212p.
- PROMIC, 1993. Clasificación fisiográfica de tierras. Cuenca Taquiña. Cochabamba, Bolivia.
- Vargas, O., 1994. Fisiografía de la cuenca Taquiña, 13pp.

Evaluación de la capacidad de extracción y tolerancia de kauchi (*Suaeda fruticosa*, Moq.) a diferentes niveles de sodio

Jaime Raúl Colque Velarde¹

1 Av. J. M. Pando N° 20 Teléfono 800221. Viacha, Bolivia.

RESUMEN

El suelo es un recurso con diferentes características en cada zona que necesita un manejo adecuado para mantener su calidad y productividad. Las condiciones edafoclimáticas del altiplano condicionan la susceptibilidad a la degradación de los suelos de la región por procesos de erosión eólica e hídrica, así como las prácticas de manejo inadecuadas como el sobrepastoreo, la disminución de cobertura vegetal y la salinización por el uso de aguas saladas en el riego. Es importante buscar alternativas para utilizar de manera adecuada los suelos de esta región, evitando así la degradación de los mismos y los altos costos de recuperación.

El kauchi es una de las especies vegetal, adaptada a las condiciones del altiplano, que ofrece buenas perspectivas para condiciones marginales de clima y suelo, además considerando que el altiplano boliviano es potencialmente ganadero, puede ser una fuente de alimento para el ganado.

INTRODUCCION

Bolivia posee una diversidad de zonas ecológicas, con varios ecosistemas y recursos naturales para sostener la vida de los habitantes y el desarrollo de la comunidad rural del país.

En el Altiplano Central boliviano existen recursos vegetales nativos que están muy bien adaptados a las condiciones climáticas (bajas temperaturas, bajas precipitaciones, granizadas y vientos fuertes) y de suelo (mal drenaje, suelos salinos, arcillosos, inundadizos y bajo contenido de materia orgánica). Por las mencionadas características edafoclimáticas, se presenta una deficiencia estacional y crítica en la provisión de alimentos para el ganado, especialmente entre los meses de agosto a noviembre.

El kauchi (*Suaeda fruticosa*, Moq.) es una especie halófila, muy bien adaptada al altiplano boliviano, es tolerante a suelos salinos, suelos arcillosos, propensos a inundaciones estacionales. Es capaz de resistir sequías prolongadas y el sobrepastoreo, ofreciendo disponibilidad de forraje de buena calidad casi durante todo el año, al mismo tiempo, las plantas de kauchi protegen el suelo de la acción de agentes erosivos (vientos y lluvias).

Con los resultados obtenidos en este trabajo se pretende aportar datos importantes, que nos permitan conocer las cualidades que tiene el kauchi para tolerar, extraer y acumular sales de sodio en sus tejidos.

MATERIALES Y METODOS

El estudio se realizó en el cantón Santiago de Collana (Comunidad Huancarama, zona la "Huayrita"), a 25 km de la población de Patacamaya, provincia Aroma, del Altiplano Central, departamento de La Paz. EL área se encuentra a una altitud de 3720 msnm, temperatura media anual de 9.8°C, humedad relativa media 55.9 %, precipitaciones promedio de 410 mm anuales, vientos fuertes y secos con velocidades promedio de 3.2 m.seg⁻¹ (SIPAB, 1993).

Los suelos son de origen fluvio lacustres, profundos, textura franco arcillosa a arcillosa, bajo contenido de materia orgánica. La napa freática es superficial, encontrándose entre los 2 a 4 metros de profundidad.

La vegetación nativa existente es la t'hola (*Parastrephyta lipidophyllum*), chilligua (*Festuca dolichophylla*) e iru ichu (*Festuca orthophylla*). (SIPAB, 1993).

Se tomaron como datos iniciales los planteamientos sobre el crecimiento de plantas en suelos salinos recopilados por Richards (1964) y reportes de Salm y Gehler (1987) que determinaron concentraciones de sales en el altiplano boliviano, desde 2 a 35 gNa.kg⁻¹ de muestra de suelo.

El ensayo se estableció en la zona "Huayrita", con el ecotipo "JACHA CHOCÑA ALI JUKHA MUJUNI", con 174 plantas de dos años de edad, readecuadas para el presente trabajo. Cada uno de los

tratamientos fue aislado con polietileno a una profundidad de 0.7 m, para evitar que las diferentes concentraciones de sales sean alteradas por agentes externos. Se trabajó en un diseño de bloques al azar con tres tratamientos y tres repeticiones.

Los tratamientos se implementaron en parcelas de 2.8 m², con aplicaciones de cloruro de sodio para llegar a niveles: 5, 20 y 35 gNa.kg⁻¹ de suelo. Los riegos se aplicaron en forma gradual, con frecuencia de 10 días, a la espera de las respuestas de las plantas a los diferentes grados de salinidad en un tiempo de 90 días (enero a marzo). Se aplicaron 999 litros de agua y 15, 183 y 333 kg de NaCl en los tratamientos 1, 2 y 3 respectivamente, el NaCl fue distribuido en forma homogénea en puntos equidistantes entre plantas y filas, en pequeños pozos.

Las variables del experimento están constituidas por los tratamientos 1, 2 y 3 que corresponden a niveles de 5, 20 y 35 g Na.kg⁻¹ de suelo.

Las variables analizadas en el suelo, al inicio y final del experimento, fueron la reacción del suelo (pH), conductividad eléctrica (CE mmho.cm⁻¹), sodio total y sodio soluble.

En las plantas se analizaron las variables crecimiento de plantas, producción de materia verde, producción de materia seca y porcentaje de sodio en hojas y tallos.

Para analizar los suelos y el sodio en tejidos vegetales se aplicó el análisis de la interacción, se utilizó un modelo lineal aditivo con arreglo factorial (Tratamiento * Profundidad y Epoca * Tratamiento) (Cochrane y Cox, 1956).

$$Y_{ijk} = M + T_k + A_i + B_j + (AB)_{ij} + E_{ijk}$$

M = Promedio de nivel de salinidad

T_k = Efecto del K-ésimo tratamiento

A_i = Efecto de i-ésimo nivel del efecto principal, Factor A (tratamiento)

B_j = Efecto del j-ésimo del segundo efecto principal, Factor B (profundidad)

(AB)_{ij} = Interacción A X B (Tratamiento X Profundidad)

E_{ijk} = Error experimental

Se realizó la descripción de perfiles de suelo según la Guía de Laboratorio FAO (1984) y se calculó la densidad aparente, la porosidad y la masa de suelo de acuerdo a las siguientes fórmulas:

$$\text{Densidad Aparente : } D_a (\text{g.cm}^{-3}) = \text{PSS} \cdot V_t^{-1}$$

$$\text{Porosidad Total : } P (\%) = (1 - (D_{ap}/D_r)) \cdot 100$$

$$\text{Cálculo de Masa del Suelo : } PS (\text{kg}) = D_{ap} \cdot A \cdot \text{Prof}$$

Se determinaron las características químicas iniciales y finales en el laboratorio de suelos, aguas y plantas EESB-IBTA (CBBA) mediante los métodos de análisis (extracto de pasta saturada):

pH: pH metro digital ACCUMET MODEL 10 - FISHER..

CE: puente de conductividad MODELO PM - 70 CB SYBRON/BARNSTRAD.

Cationes Totales: extracción con acetato de amonio, absorción atómica (Ca, Mg y K) y por emisión (Na).

Cationes Solubles: Ca, Mg y K por espectrofotometría, absorción atómica y Na por emisión.

Se determinó la dosis de sodio a aplicar al suelo mediante riego calculando la cantidad de sodio inicial para cada uno de los tratamientos. Se calculó la dosis de cloruro de sodio a aplicar para elevar las concentraciones de Na total a 5, 20 y 35 g.kg⁻¹ de suelo en cada tratamiento, variando las características químicas del suelo con la siguiente relación:

$$\text{Dosis de Na Cl} = \text{Na fal} \cdot P \cdot \text{At Na} \cdot \text{PS} \cdot \text{kg NaCl} \cdot 1000 \text{ g}^{-1} \text{NaCl}$$

Donde:

Dosis de NaCl = g NaCl.parcela⁻¹
 Na Fal = Na faltante (g Na Cl.kg⁻¹ de suelo)
 P At Na = Peso Atómico de Sodio (g Cl Na.g⁻¹ Na)
 PS = Peso del Suelo (kg suelo.parcela⁻¹)=(Area x D. Aparente x Profundidad)

En la medición y muestreo de plantas se determinó la altura, se realizaron observaciones morfológicas y observaciones agronómicas y se determinó la concentración de sodio en la planta expresadas en porcentaje por el método de emisión con espectrofotómetro DIAL ATOM-III FISHER.

Para el análisis estadístico de los resultados se aplicó el Statistics Analysis Sistem (SAS, 1985).

RESULTADOS Y CONCLUSIONES

Los resultados del análisis físicos de los suelos se observan en el cuadro 1. De acuerdo a la prueba de infiltración realizada, nos muestran que los suelos en estudio tiene una capacidad de infiltración básica promedio de 1.32 cm.h⁻¹, es baja por tratarse de suelos arcillosos

CUADRO 1. Análisis físico, de suelos Santiago de Collana - Altiplano Central (La Paz)

Código	Prof. cm	Arena %	Limo %	Arcilla %	Clase Textural	D. Ap g.cm ⁻³	D. Real g.cm ⁻³	Poros %
I - A25	25	4.4	35.0	60.6	Y	1.25	2.66	53.01
I - A35	35	0.4	35.0	64.6	Y	1.21	2.62	53.82
I - B25	25	18.8	22.3	58.9	Y	1.26	2.61	51.72
I - B35	35	20.8	20.0	59.2	Y	1.24	2.69	53.90
I - C25	25	20.5	22.8	56.7	Y	1.25	2.64	52.65
I - C35	35	13.4	27.4	59.2	Y	1.24	2.67	53.56
II - A25	25	34.8	1.6	63.6	Y	1.23	2.66	53.76
II - A35	35	33.3	1.4	65.3	Y	1.21	2.67	54.68
II - C25	25	6.4	27.6	66.0	Y	1.20	2.65	54.72
II - C35	35	6.4	35.6	58.0	Y	1.25	2.62	52.29
III - A25	25	15.0	23.6	61.4	Y	1.25	2.68	53.36
III - A35	35	20.3	21.1	58.6	Y	1.26	2.69	53.16
III - B25	25	17.0	27.6	55.4	Y	1.28	2.65	51.70
III - B35	35	11.6	34.8	53.6	Y	1.29	2.62	50.76
III - C25	25	1.6	32.8	65.6	Y	1.21	2.65	54.34
III - C35	35	31.0	19.2	49.8	Y	1.32	2.71	51.29

pH

El pH de los perfiles está comprendido entre 6.80 y 7.57, los resultados finales con relación a los niveles iniciales no presentaron variación por que se aplicó como elemento salinizante NaCl. Pizarro (1986) indica el pH de la suspensión disminuye al aumentar la concentración de sales minerales como NaCl o CaSO₄. De acuerdo a la tabla de clasificación según el pH, los suelos se encuentran dentro el rango que varía entre neutro a ligeramente alcalino.

CE

La CE da una referencia directa del contenido de sales en el agua y suelos. Según el análisis de varianza (ANVA) (Cuadro 2), los efectos entre los bloques, profundidades e interacción por profundidades, estadísticamente no son significativas, por tanto, se asume que la CE (mmho.cm⁻¹) presenta una concentración similar entre los bloques y profundidades. En cambio, el efecto del tratamiento muestra una alta significación estadística, lo que nos muestra que la adición de cloruro de sodio ha tenido su efecto en el aumento de la concentración de la CE final.

CUADRO 2. ANVA, para niveles de Conductividad Eléctrica (mmho.cm^{-1}), análisis final de suelo Santiago de Collana - Altiplano Central (La Paz)

F.V.	G.L.	S.C.	C.M.	Fc	Ft	
					5%	1%
BLOQUES	2	412.6164	206.3082	0.52 NS	4.46	88.65
TRAT	2	11973.5492	5986.7746	15.10 **	4.46	88.65
PROF.	1	1519.8302	1519.8302	3.83 NS	5.32	111.26
TRAT*PROF.	2	706.1002	353.0501	0.89 NS	4.46	88.65
ERROR	8	3171.6350	396.4543			

** Altamente Significativo al 0.01 - 0.05

N.S. No significativo

Con relación a la concentración inicial, se tiene valores muy altos de CE, concentraciones mayores a 16 mmho.cm^{-1} , con estos niveles de CE muy pocos cultivos toleran y rinden satisfactoriamente, como el kauchi considerado como altamente tolerante. Según los reportes de Pizarro (1986), la CE es recíproca a la resistencia y el valor de ésta aumenta con el contenido de sales.

Según la prueba Duncan (Cuadro 3), los valores de CE entre el tratamiento 1 y los tratamiento 2 y 3 son diferentes, mientras los tratamiento 2 y 3 son similares. Bajo estos niveles de CE, mayores a 16 mmho.cm^{-1} a 25°C , son pocos los cultivos económicamente viables, el cultivo de kauchi si puede tolerar estos niveles de CE y hay coincidencia con los reportes de Velasco (1991).

CUADRO 3. Comparación de medias por tratamiento:CE mmho.cm^{-1} , SodioTotal y Sodio Soluble (cmol.kg^{-1})

Tratamiento	CE mmho.cm^{-1}	Sodio Total cmol(+)kg^{-1}	Sodio Soluble cmol(+)kg^{-1}
3	84.31 A	116.59 A	91.87 A
2	70.27 A	79.06 A B	65.61 A
1	22.80 B	17.42 B	12.05 B

Niveles de Sodio Total

El contenido de este ion es muy importante conocer por los efectos negativos que causa en los suelos y los efectos directos en los rendimientos de los cultivos. Aun cuando no se considera al sodio como elemento esencial para el crecimiento de las plantas, resulta benéfico para algunas de ellas (Chapman, 1972).

Según el ANVA (Cuadro 4), los efectos de bloques, profundidades y la interacción tratamiento por profundidad no son estadísticamente significativos, por tanto se asume que el Na total presenta una concentración similar en los perfiles del suelo.

CUADRO 4. ANVA, para niveles de Sodio Total cmol.kg^{-1} , análisis final. Santiago de Collana Altiplano Central (La Paz)

F.V.	G.L.	S.C.	C.M.	Fc	Ft	
					5%	1%
BLOQUES	2	359.2544	179.6272	0.09 NS	4.46	8.65
TRAT	2	29682.9909	14841.4954	7.83 *	4.46	8.65
PROF.	1	3704.4560	3704.4560	1.96 NS	5.32	11.26
TRAT×PROF.	2	3061.1284	1530.5642	0.81 NS	4.46	8.65
ERROR	8	15154.13171	1894.26646			

* Significativo al 0.01 - 0.05

N.S. No significativo

En cambio el efecto de los tratamientos muestra una significación estadística, lo que indica que la adición de NaCl ha tenido efecto directo en el aumento de las concentraciones de sodio total. Inicialmente se tenía una concentración promedio de $17.42 \text{ cmol(+)kg}^{-1}$, que fue elevada a nivel muy alto en el tratamiento 3.

Según el informe de Salm, Bustamante y Ruíz (1987), en suelos niveles mayores a 8 gNa.kg^{-1} de suelo solamente crecen plantas muy tolerantes como el kauchi. En este estudio las plantas del

tratamiento 3 crecieron con niveles mayores, se determinó $26.81 \text{ gNa.kg}^{-1}$ de suelo, por lo tanto son altamente tolerantes. En la prueba de Duncan (Cuadro 3), el tratamiento 1 es diferente al tratamiento 3 mientras el tratamiento 2 es similar a ambos.

Las diferencias entre los tratamientos son justificables, pues se aplicó una dosis alta de ClNa como elemento salinizante en el tratamiento 3 (108.0 kg), en cambio en el tratamiento 2 se suministró una dosis intermedia de (51.93 kg) y al tratamiento 1 con una dosis de baja (4.33 kg). Frente a estos niveles de concentración de sodio, la mayoría de las plantas del tratamiento 3, presentaron un crecimiento reducido y aumentaron su palatabilidad (mayor succulencia en las hojas y muy saladas al paladar). El efecto directo de la concentración de sal de sodio ocasionó muertes en la población de plantas (35.26%), bloque 3 del tratamiento 3.

Niveles de sodio soluble

En el análisis estadístico (Cuadro 5), los efectos de bloques, profundidades y la interacción tratamientos por profundidades no son estadísticamente significativos, por lo tanto se asume que el Na soluble presenta una concentración similar entre los bloques y profundidades del perfil de suelo. En cambio, el efecto de los tratamientos muestran una significación estadística, lo que significa que la adición de NaCl ha tenido un efecto en el aumento de la concentración de sales solubles.

CUADRO 5. ANVA, para niveles de sodio soluble $\text{cmol}(+).\text{kg}^{-1}$, análisis final. Santiago de Collana . Altiplano Central (La Paz)

F.V.	G.L.	S.C.	C.M.	Fc	Ft	
					5%	1%
BLOQUES	2	376.6180	188.3090	0.14 NS	4.46	8.65
TRAT	2	19384.6953	9692.3476	7.41 *	4.46	8.65
PROF.	1	2908.4847	2908.4847	2.22 NS	5.32	11.26
TRAT×PROF.	2	2335.2880	1167.6440	0.89 NS	4.46	8.65
ERROR	8	10463.6691	1307.9586			

* Significativo al 0.01 - 0.05

N.S: No significativo

En la prueba Duncan, (Cuadro 3) el tratamiento 3 ($91.87 \text{ cmol}(+).\text{kg}^{-1}$) es diferente del tratamiento 1 ($12.10 \text{ cmol}(+).\text{kg}^{-1}$), con una diferencia considerable y el tratamiento 2 ($65.61 \text{ cmol}(+).\text{kg}^{-1}$) es similar al tratamiento 3 y diferente al tratamiento 1. Según FAO (1984), las sales solubles que existen en el suelo están constituidos principalmente por los cloruros y los sulfatos de Ca, Mg y Na. Para evaluaciones rápidas en las condiciones de salinidad de los suelos es importante evaluar el total de sales solubles, determinadas en muestra de extracto (Chapman y Pratt, 1973).

Respuesta del kauchi a la salinidad

El crecimiento es un incremento irreversible de tamaño, es un proceso cuantitativo relacionado con un aumento de masa del organismo, mientras que el desarrollo es cualitativo y se refiere a los cambios experimentados durante el crecimiento. La respuesta de las plantas a las sales es difícil de cuantificar, la tolerancia es la repuesta de las plantas a las sales a un determinado valor de CE, un aumento de la misma da lugar a una reducción gradual en rendimientos y degradación de suelos (Chapman y Pratt 1973). Además, Hernández (1983), indica que es difícil trazar una línea de separación entre crecimiento y desarrollo, por que progresan simultáneamente. El crecimiento es medido con la regla y una balanza, el desarrollo es estudiado mediante la observación cualitativa.

Una vez aplicados los tratamientos, se efectuó un seguimiento en el crecimiento y desarrollo de las plantas con observaciones visuales de algunos efectos anormales. Los promedios de altura de las plantas de kauchi se presentan en el cuadro 6.

CUADRO 6. Promedio de alturas en nueve mediciones del kauchi

Fecha	Mediciones	Promedio alturas por tratamiento		
		T-1	T-2	T-3
10/1/95	1	4.136	4.526	4.264
25/1/95	2	6.288	6.000	6.500
10/2/95	3	8.398	8.355	8.149
25/2/95	4	9.966	10.367	9.000
10/3/95	5	10.593	11.400	9.694
25/3/95	6	10.864	12.172	10.083
10/4/95	7	11.224	12.414	10.222
25/4/95	8	11.224	12.448	10.222
10/5/95	9	11.224	12.448	10.222

Según el ANVA, las lecturas 2 y 3 (Cuadros 7 y 8) entre los bloques, las diferencias son estadísticamente altamente significativas, de la primera hasta novena medición. Debido al incremento de las sales de Na se han creado condiciones adversas en el hábitat del kauchi dentro de cada bloque. Entre los tratamientos, las mediciones estadísticamente no son significativas hasta la quinta observación, a partir de la sexta observación a la novena, las diferencias entre los tratamientos estadísticamente son significativas (Cuadro 9).

CUADRO 7. ANVA. Ritmo de crecimiento de la segunda medición del Kauchi

F.V.	G.L	S.C.	C.M.	Fc	Ft	
					5%	1%
BLOQUES	2	101.7555	50.5010	16.00 **	3.13	4.93
TRAT	2	5.8964	2.9482	0.93 NS	3.13	4.93
MEDICIONES	59	165.8783	2.8114	0.89 NS	1.52	1.81
ERROR	69	217.8312	3.1569			
TOT. CORREG.	132	502.7067				

** Altamente Significativo al 0.01 - 0.05

N.S. No significativo

CUADRO 8. ANVA, ritmo de crecimiento de la tercera medición del Kauchi

F.V.	G.L	S.C.	C.M.	Fc	Ft	
					5%	1%
BLOQUES	2	234.7741	117.3870	13.94 **	3.14	4.88
TRAT.	2	4.0128	2.0064	0.24 NS	3.14	4.88
MEDICIONES	59	262.0923	4.4422	0.53 NS	1.52	1.81
ERROR	63	530.8924	8.4268			
TOT. CORREG.	126	1054.9015				

** Altamente Significativo al 0.01 - 0.05

N.S. No significativo

CUADRO 9. ANVA, Ritmo de crecimiento de la séptima medición del Kauchi

F.V.	G.L	S.C.	C.M.	Fc	Ft	
					5%	1%
BLOQUES	2	703.0190	531.5095	22.05 **	3.15	4.99
TRAT.	2	107.5967	53.7983	3.37 *	3.15	4.99
MEDICIONES	58	646.3133	11.1433	0.70 NS	1.55	1.85
ERROR	60	956.6475	15.9441			
TOT. CORREG.	122	2440.5040				

* Significativo al 0.01 - 0.05

** Altamente Significativo al 0.01 - 0.05

N.S. No significativo

La prueba Duncan muestra que el tratamiento 3 tiene un comportamiento similar hasta la quinta lectura, de la sexta a la novena lectura la altura de las plantas ha sido afectada por las sales. Por los

resultados, se deduce que inicialmente las plantas han encontrado el medio favorable para su desarrollo, en cuanto a la humedad y las concentraciones de sales. A partir de la sexta lectura (Cuadro 10), existen diferencias entre los tratamientos, el tratamiento 2 presenta mayor altura que el tratamiento 3, mientras, el tratamiento 1 es similar a los tratamientos 2 y 3.

CUADRO 10. Comparación de medias para ritmo de crecimiento (cm) desde la sexta a la novena lectura del Kauchi

Tratamiento	Lectura - 6	Lectura - 7	Lectura - 8	Lectura - 9
2	12.17 A	12.41 A	12.44 A	12.44 A
1	10.86 A B	11.24 A B	1.24 A B	1.22 A B
3	10.08 B	10.22 B	10.22 B	10.22 B

La reducción del desarrollo vegetal, en el tratamiento 3, está relacionada a una disminución de disponibilidad de agua aprovechable en substratos salinos. Las plantas presentan una variabilidad considerable en su tamaño, el follaje se torna verde-azul profundo, tal como reporta Richards (1964). Estos síntomas se presentaron con más notoriedad en los tratamientos 2 y 3. La mortandad en la población de plantas, se registró en mayor proporción en el tratamiento 3 como consecuencia del aumento de las sales de sodio en su hábitat. Los valores registrados fueron de 35.16% (19 plantas) para el tratamiento 3, el tratamiento 2 con un 23.68% (9 plantas) y finalmente el tratamiento 1 solo con 1.69% (1 planta), de plantas muertas durante el desarrollo de la investigación.

Rendimiento de materia verde (MV) del kauchi

El kauchi tiene una gran capacidad de retención de agua en sus tejidos, por esta cualidad, cuando se suministra kauchi al ganado se cubre en parte su requerimiento de agua, especialmente, en pampas con poca disponibilidad de agua. Es necesario puntualizar que el contenido de agua es un factor importante para la palatabilidad del forraje (Rocha, 1983). La importancia forrajera de esta especie esta dada por la capacidad de proveer hasta 22,000 kg MV. ha⁻¹. En el rendimiento de MV en los diferentes grados de salinidad probados, de acuerdo al ANVA (Cuadro 11), existe diferencia estadística entre los tratamientos, se asume que es debido a las altas concentraciones de sodio en el suelo, especialmente en el tratamiento 3. En cambio, el efecto entre los bloques y mediciones no es estadísticamente significativo.

CUADRO 11. ANVA, producción de MV del Kauchi

F.V.	G.L	S.C.	C.M.	Fc	Ft	
					5%	1%
BLOQUES	2	72092.25	36046.12	3.34..NS	3.45	4.99
TRAT.	2	72847.69	36423.84	3.37 *	3.45	4.99
MEDICIONES	58	564395.98	9730.96	0.90..NS	1.56	1.86
ERROR	58	626219.01	10796.87			
TOT. CORREG.	120	1404312.08				

* Significativo al 0.01 - 0.05

N.S. No significativo

CUADRO 12. Comparación de medias de MV del kauchi por tratamientos/plantas

Tratamientos	Peso verde (g/planta)
3	170.71 A
2	134.26 A B
1	104.45 B

En las comparaciones de Duncan (Cuadro 12), nos muestran el tratamiento 1 es diferente frente al tratamiento 3, mientras el tratamiento 2 es similar a ambos, esto se atribuye a la incorporación de sales de Na a su hábitat. López y López (1990) indican que uno de los efectos de sodio es, el incremento de la succulencia en la planta, es decir la cantidad de agua que contiene por unidad de peso seco de tejido de la hoja.

La producción de MV extrapolada a hectárea es de 7,081.17, 4,784.90 y 6,670.64 kilogramos de materia verde, en suelos moderadamente a extremadamente salinizadas, con CE de 22.8, 70.3 y 84.3 mmho.cm⁻¹ para los tratamientos 1, 2 y 3. El aporte de MV es importante debido a la escasez de

forraje en el altiplano boliviano en épocas de estiaje. Según los estudios efectuados por Barja (1972), indica que el kauchi tiene una biomasa de alta calidad y producción constante en condiciones adversas de suelo y clima, él mismo autor reporta, una producción de hasta 22, 000 kg. MV.ha⁻¹.

CUADRO 13. Producción de MV y MS del kauchi

Trat	Area m ²	N ^o plantas tratamiento	Peso verde g/planta	Peso seco g/planta	Rendimiento	
					g MV. m ⁻²	g MS. m ⁻²
1	2.80	19	104.45	30.07	708.17	201.47
2	2.80	10	134.26	30.68	479.49	109.57
3	2.80	11	170.71	43.45	670.64	170.70

Rendimiento de materia seca del kauchi

El ANVA (Cuadro 14) muestra que las fuentes de variación, entre los bloques y tratamientos no tienen significación estadística, con el secado del forraje, se han producido una igualdad en el rendimiento de MS. La prueba Duncan nos confirman estas igualdades en el rendimiento de materia seca entre las fuentes de variación.

CUADRO 14. ANVA, Producción de materia seca del kauchi.

F.V.	G.L	S.C.	C.M.	Fc	Ft	
					5%	1%
BLOQUES	2	4470.534	2235.2674	2.84 NS	3.15	4.99
TRAT.	2	2867.848	1433.9242	1.82 NS	3.15	4.99
MEDICIONES	58	41011.369	707.0925	0.90 NS	1.56	1.86
ERROR	59	46503.773	788.1995			
TOT. CORREG.	121	97192.715				

N.S. No significativo

La producción de materia extrapolando a una hectárea se tiene un promedio de 1,605.58 kg MS.ha⁻¹. El rendimiento de MS, comparados con la MV se pueden observar una gran diferencia de 4,588.72 kg MV.ha⁻¹. El cuál en términos porcentuales de agua en los tejidos es de 79.18 %, en estudios realizados por Bustamante y Ruíz (1988) determinaron una humedad del 77.47 %. El kauchi es un forraje muy consumido por los animales pese a las sales en sus tejidos, por otra parte, según el informe de Alzérreca (1988) indica que esta dentro de las praderas potenciales dando una sostenibilidad de 3.0 UO.ha⁻¹año⁻¹. Las pasturas nativas medianamente productivas son las tipo pajonal gramadal con 1.5 UO.ha⁻¹ y pobre el pajonal de ichus con 0.5 UO.ha⁻¹. La población animal que habita la zona Andina boliviana es de aproximadamente 5,498,706 cabezas de ovejas.

Alzérreca (1985), en una pradera nativa de la Estación Experimental de Patacamaya, encontró un rendimiento de 307.4 kg MS.ha⁻¹ y una carga animal de 0.8 UO.ha⁻¹año⁻¹. La carga animal se estimó asumiendo que una oveja de 30 kg de peso vivo consume su alimento diario en una relación aproximada de 4 % de su peso vivo. Por lo tanto el kauchi tiene un aporte muy importante de biomasa, frente a otras especies nativas, con un buen valor nutritivo. En estudios realizados por Alzérreca y Lara (1986), señalan que el kauchi con una producción 808 kg MS.ha⁻¹ siendo esta superior a la producción de otras forrajeras nativas tales como el gramadal (630 kg MS.ha⁻¹), pajonal gramadal (360 kg MS.ha⁻¹), pajonal de hordeum (234 kg MS.ha⁻¹) y pajonal de ichus (238 kg MS.ha⁻¹).

Contenido de sodio en los tejidos vegetales

Por la particularidad de la investigación, se presenta un análisis del contenido de Na en hojas y tallos, resultados obtenidos en el laboratorio en por ciento de MS, en 3 épocas de muestreos y por tratamientos. Los resultados encontrados deben ser considerados como propios en cada una de las épocas, ya que la planta se ha desarrollado en un medio alterado con fines específicos de estudio sobre esta especie nativa.

Sodio en Hojas

El ANVA, nos muestra que estadísticamente es altamente significativo en los niveles de Na entre los tratamientos (Cuadro 15), mientras entre los bloques, épocas y la interacción de ambos no son significativas, estas diferencias se asumen que tienen una relación directa con los niveles de Na en suelos.

CUADRO 15. ANVA, porcentaje (%) de Na en hojas del Kauchi.

F.V.	G.L.	S.C.	C.M.	Fc	Ft	
					5%	1%
BLOQUES	2	0.0231	0.0115	0.01 NS	3.80	6.7
EPOCAS	2	5.2207	2.6103	1.55 NS	3.80	6.7
TRAT.	2	61.8407	30.920	18.37 **	3.80	6.7
EPOCA*TRAT.	4	6.0604	3	0.90 NS	3.18	5.2
ERROR	13	21.8864	1.5151			
			1.6835			

** Altamente significativo al 0.01 - 0.05

N.S. No significativo.

Estas diferencias son corroboradas por la prueba Duncan (Cuadro 16), el tratamiento 3 es diferente del tratamiento 1 que tiene 8.02 % Na.100g⁻¹MS cuya diferencia es de 3 % Na.100g⁻¹MS. El coeficiente de variación tiene un valor de 13.427 por ciento, por lo tanto se encuentra en el rango aceptable para la experimentación agrícola.

El Na, aún en pequeñas cantidades, es necesario en la dieta del ganado, Bustamante y Ruíz (1988), reportan en relación a los requerimientos aproximadamente de 0.1 a 0.2 % de Na de acuerdo al estado fisiológico y el tipo de ganado.

La extracción de Na por el kauchi, calculada en una tonelada de MS, tiene directa relación con los niveles de Na en el suelo (Cuadro 17). Las hojas tienen una alta capacidad de acumular Na en sus tejidos, con relación a los tallos. Según Franclet et al. (1971) citado por Berte (1985) indican que con el *Atriplex mummularia*, es posible extraer 1.1 kg de NaCl. Esta comparación nos muestra alta superioridad del kauchi en extraer sales de Na.

CUADRO 16. Comparación de medias por tratamiento (%) sodio en hojas del kauchi.

Tratamientos	Sodio en hojas (%)
1	8.024 A
2	9.112 A
3	11.024 B

CUADRO 17. Na en hojas y tallos del Kauchi bajo 3 niveles salinidad.

Tratamiento	Kg MS.ha ⁻¹	% Na. 100 g ⁻¹ MS		Kg Na.tn ⁻¹ MS		Kg Na.tn ⁻¹ MS Total
		Hojas	Tallos	Hojas	Tallos	
1	2083.8	8.024	1.441	80.24	14.41	94.65
2	1059.9	9.112	3.362	91.12	33.62	124.74
3	1706.9	11.024	4.810	110.24	48.10	158.34

Estas cantidades de Na extraído en hojas es importante en suelos con problemas de salinidad, con mayor evapotranspiración (ETP) que precipitación (PP), mal uso de aguas de riegos y sobrepastoreo. Según las estimaciones realizadas por Rocha (1996), los aportes adicionales de Na por riego alcanzan valores de 156.195 a 215.64 kg.ha⁻¹.año⁻¹, estos ocasionarían a corto plazo problemas serios a los suelos y las plantas. Por lo tanto, esta forrajera nativa resulta ser un excelente recuperador de suelos doble propósito.

Sodio en tallos

El ANVA, muestra que el efecto de los bloques (Cuadro 18), es estadísticamente significativo para niveles de Na en los tallos. Esto significa que cada tratamiento nos muestra un comportamiento diferente. Por otra parte, entre las épocas de muestreo, los tratamientos y la interacción de épocas por tratamiento las diferencias son altamente significativas.

CUADRO 18. ANVA, para porcentaje de sodio en tallos del Kauchi.

F.V.	G.L	S.C.	C.M.	Fc	Ft	
					5%	1%
BLOQUES	2	0.9401	0.4700	4.10 *	3.80	6.70
EPOCAS	2	52.2480	26.1240	227.81**	3.80	6.70
TRAT.	2	51.1140	25.5570	222.87**	3.80	6.70
EPOCA*TRAT.	4	12.8098	3.2024	27.93**	5.20	3.18
ERROR	13	1.4907	0.1146			

* Significativo al 0.05

** Altamente significativo al 0.01 - 0.05

Interacción para el sodio en tallos. Epocas de muestreo. Tratamientos

La interacción entre épocas de muestreos × tratamientos es altamente significativa (inclusive los efectos principales factores A Epocas y B Tratamientos), lo que nos conduce a analizar los efectos simples (Cuadro 19).

De las pruebas de F se deduce que los niveles de Na en tallos para 3 épocas de muestreo, el tratamiento 3 muestra mayores porcentajes de Na con relación a los 2 restantes tratamientos, pues el correspondiente F calculado para los muestreos y tratamientos es altamente significativo.

Según ANVA (Cuadro 19) se deduce que hay probadas diferencias entre los 3 muestreos a1, a2 y a3 (factor A Epocas) y entre los 3 tratamientos b1, b2 y b3 (factor B Tratamientos) los niveles de Na en los tallos, F calculada es altamente significativa. En la primera época de muestreo (10/02/95 etapa de elongación) el tratamiento 3 tiene un valor alto de 7.82 % de Na.100g⁻¹MS, el mismo porcentaje es diferente con respecto al tratamiento 1 y 2, seguido por el tratamiento 2 con un valor intermedio de 4.51% de Na.100g⁻¹MS, por último el muestreo 3 donde el porcentaje de Na está por debajo de los dos anteriores tratamientos con 2.92 % Na.100g⁻¹MS.

CUADRO 19. ANVA para el estudio de los efectos simples de los factores épocas tratamientos de niveles de sodio en los tallos del kauchi.

F. V.	G. L.	S. C.	C. M.	F. cal	F. tab	
					5 %	1 %
Efectos simples del Factor A						
Entre época 1 en tratamiento 1	2	10.201	5.10	46.36**	3.80	6.70
Entre época 2 en tratamiento 2	2	4.330	2.16	19.73**	3.80	6.70
Entre época 3 en tratamiento 3	2	54.720	27.36	248.73**	3.80	6.70
Efectos simples del Factor B						
Entre tratamiento 1 en época 1	1	47.22	23.61	214.64**	3.80	6.70
Entre tratamiento 1 en época 1	1	2.77	1.39	12.64**	3.80	6.70
Entre tratamiento 1 en época 1	1	22.77	11.39	103.55**	3.80	6.70
Error	13	1.49	0.01			

** Altamente significativa al 0.01 - 0.05

En la segunda época de muestreo (10/03/95, floración) tienen un comportamiento similar en los 3 tratamientos, reportando valores bajos de Na. Finalmente, en la tercera época de muestreo (10/05/95, semilleo) el tratamiento 3 es superior con un valor de 4.82% de Na.100g⁻¹MS, seguido por el tratamiento 2 con 3.59 % Na.100g⁻¹MS y finalmente el tratamiento 1 con 0.96 % de Na.100g⁻¹MS (Cuadro 20).

Los porcentajes de Na entre las épocas dentro los tratamientos de acuerdo a los resultados del laboratorio varían en cada época, donde en la primera época que coincide con la etapa de elongación se observa altos porcentajes de Na, donde los tallos son bastante succulentos. En la segunda época (floración y fructificación) bajan a niveles muy bajos y finalmente en la tercera época (semilleo) ascienden a niveles intermedios.

Según el ANVA el factor B (tratamientos) dentro las épocas es altamente significativo (Cuadro 19) en los muestreos se observa que la primera época de muestreo tiene altos niveles de Na, seguida por la tercera época que reporta niveles intermedios entre la segunda y primera época de muestreo. Como consecuencia a altas concentraciones de Na, las plantas redujeron su crecimiento, especialmente en el tratamiento 3 aumentando su succulencia, en el tratamiento 2 a niveles de Na intermedio en el suelo la respuesta de las plantas fue también intermedia entre ambos tratamientos. Finalmente en el tratamiento 1, con baja concentración de Na, como respuesta se reportó el más bajo porcentaje de Na, por lo tanto se observan diferencias significativas en los niveles de Na en tallos.

CUADRO 20. Porcentaje de Na en los tallos, de las Épocas de Muestreos del Kauchi.

Tratamiento	Primer muestreo (% Na)	Segundo muestreo (% Na)	Tercer muestreo (% Na)	Promedio (% Na)
1	2.92	0.44	0.96	1.44
2	4.51	1.99	3.59	3.36
3	7.82	1.78	4.82	4.80

BIBLIOGRAFIA

- Alzerreca, H., 1992. Campos nativos de pastoreo de la zona altiplánica y alto andino de Bolivia. I Convención Nacional en Producción de Camélidos Sudamericanos. Oruro, Bolivia, CORDEOR, INFOL, IBTA, Asociación Boliviana de Producción Animal, Programa de micro proyectos rurales, pp 1-37.
- _____, 1985. Evaluación de campo nativo de pastoreo en el altiplano semiárido del departamento de La Paz. La Paz, Bolivia, Primera reunión en praderas de Bolivia, Oruro, Agosto 26-29, de 1987, pp 81-89.
- Alzerreca, H. y Lara, R., 1986. Evaluación de praderas nativas en el altiplano central del Departamento de Oruro. Oruro, Bolivia, Programa de Autodesarrollo Campesino. PAC (CEE-CORDEOR), I Reunión nacional en praderas nativas de Bolivia, pp 1-9.
- Berte y Pretel, 1985. Los atriplex. Posibilidades para su revalorización en la zona de Cajamarca, Perú. pp 20-40.
- Bustamante, Z. y Ruiz, C., 1988. Nutrientes del kauchi (*Suaeda foliosa*, Moq.) forrajero del Altiplano Central de Bolivia. Instituto de Ecología, Ecología en Bolivia N° 12, pp 29-37.
- Chapman, H. D. y Pratt, P. F., 1973. Métodos de análisis para suelos, plantas y aguas. México, Primera Edición, pp 149-120.
- Cochran, W. G. y Cox, G. M., 1976. Diseños experimentales. México, pp 132-135.
- FAO, 1984. Métodos físicos y químicos de análisis de suelos y aguas. Roma, Boletín de Suelos N° 10, pp 78-80.
- Hernandez, J., 1983. Fitotecnia del cacao. La Habana, Cuba, Ed. Playa, pp 85-91.
- Lopez, J. R. y Lopez, J. M., 1978. Diagnóstico de suelos y plantas. Métodos de Campo y Laboratorio. Madrid, España, pp 222-225.
- Pizarro, C. F., 1986. Riegos localizados de alta frecuencia. España, pp. 73-140.
- Richards, L. A., 1964. Suelos salinos y sódicos. Departamento de Agricultura de los EE.UU, pp 63-73.
- Salm, H. y Gehler, E., 1987. La salinización del suelo en el Altiplano central de Bolivia y su influencia sobre la cobertura vegetal. pp 37-48.
- SIPAB, 1993. Convenio IBTA-CIID Canadá. Informe técnico de la gestión 1993. La Paz, Bolivia, pp 37- 39.
- Velasco, M. A., 1991. Uso y manejo del suelo. Estudios de campo. Determinaciones físicas y químicas. Prácticas de recuperación y mejoramiento. México, pp 25-32.

baja de la subcuenca; la segunda con 66.5 ha se localiza en la parte media de la subcuenca y la tercera con 130 ha se encuentra a seis kilómetros al sur de la ciudad de Tarija en el margen izquierdo del camino Tarija-San Andrés, en el contacto con el pie de monte y la llanura fluvio-lacustre (Figura 3). Geomorfológicamente, estas tres áreas forman parte de la llanura fluvio-lacustre disectada a muy disectada donde se han diferenciado los sitios que se indican en cuadro 1.

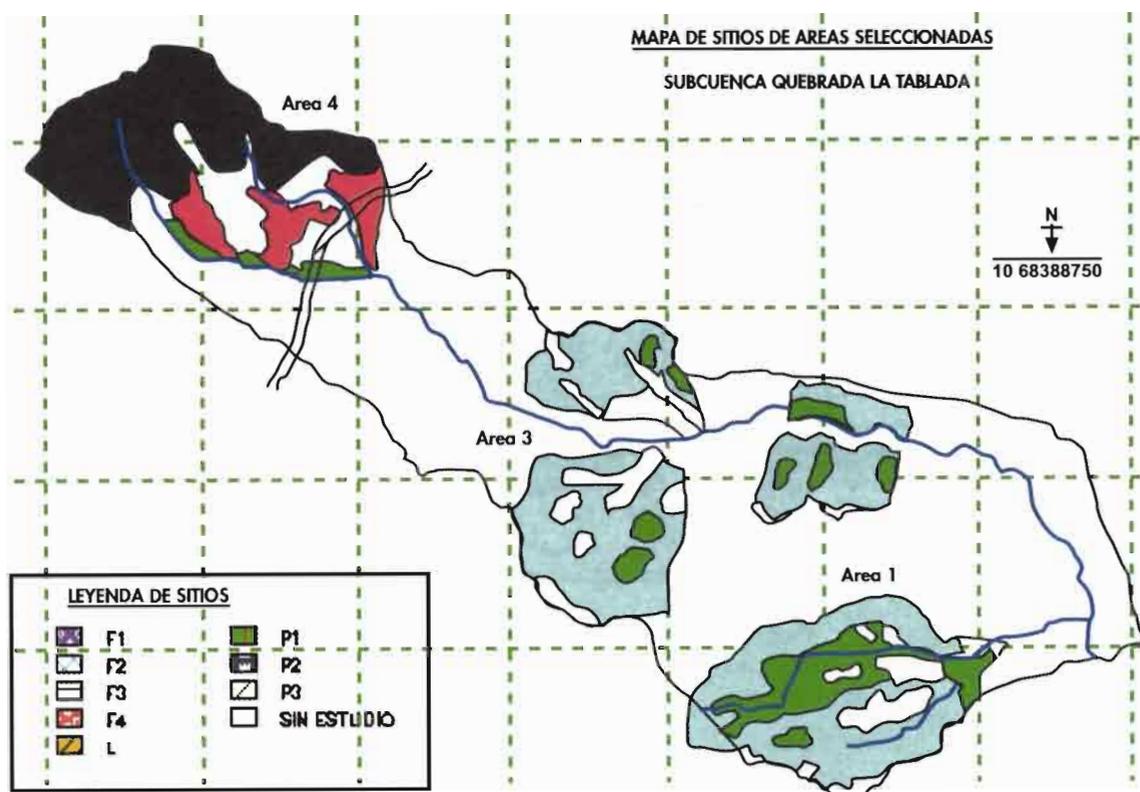


FIGURA 3. Areas seleccionadas en la llanura fluvio-lacustre.

CUADRO 1. Sitios de las áreas (A1, A2 y A3) seleccionadas en la llanura fluvio-lacustre

Símbolo	Descripción
F	Llanura fluvio lacustre extremadamente disectada
F1	Interfluvios altos o llanura fluvio lacustre residual
F2	Muy disectada con erosión activa a moderada
F3	Interfluvios bajos o terrazas disectadas
F4	Interfluvios bajos o terrazas no disectadas

Descripción de los sitios

F1: Interfluvios altos o llanura fluvio-lacustre residual, superficie 29 ha, localizados en el nivel más alto de las áreas, representan los últimos relictos de la superficie original de la antigua llanura fluvio-lacustre. Es el único sitio con relieve casi plano a ondulado y algo de suelo generalmente sin grava ni pedregosidad superficial, la profundidad efectiva de los suelos varía de muy superficial a

MATERIALES Y METODOS

Para el desarrollo de estudio se trabajo con:

- Carta topográfica escala 1:50.000 del IGM.
- Mapas de suelos tanto de la subcuenca La Tablada como de la cuenca del río Tolomosa
- Fotografías aéreas pancromáticas blanco y negro escala media 1:10.000 del 20-07-95

En las cuatro áreas seleccionadas, las diferentes actividades se desarrollaron en tres fases metodológicas:

Estudio preliminar de gabinete

La elaboración del mapa base a la escala aproximada 1:5.400 a partir de fotografías aéreas, debido a que no se dispone de mapas restituidos a escala mayor.

- Sitios y suelos: Interpretación geomorfológica con fotografías aéreas escala media 1:10.000 en base a criterios y elementos geomorfológicos, habiéndose obtenido un mapa y leyenda preliminar de sitios de cada área seleccionada. Ubicación de transectos para el muestreo. Análisis e interpretación de las fotografías aéreas en base a criterios de pendiente, relieve, cobertura vegetal, disección, red de drenaje, tono de gris y otros que permitan detectar las diferentes formas y procesos erosivos que afectan a cada sitio.
- Formas y procesos erosivos: Determinación de las formas y los procesos erosivos con base en la geomorfología, ya que esta es la base y el armazón en estudios vinculados a relaciones ambientales entre el paisaje y factores del mismo como clima, litología, relieve, vegetación y suelos y porque el sitio forma parte de la estructura geomorfológica a un determinado nivel, es una unidad ambiental básica y homogénea con su propia respuesta a los procesos erosivos, que hacen a la evolución del paisaje.

Trabajo de campo

- Sitios y suelos: Validación y ajuste de las líneas de fotointerpretación de los diferentes sitios delimitados, caracterización del relieve, pendiente, pedregosidad, rocosidad y drenaje, ubicación y descripción de perfiles representativos de suelos.
- Formas y procesos erosivos: Muestreo y análisis de la erosión hídrica laminar en unidades muestrales cuyo tamaño se basa en el área mínima determinada para la vegetación herbácea por el método de la curva número de especies–superficie (Mateucci y Colma, 1982). Se replanteó los transectos en los sitios seleccionados, la distribución y ubicación sistemática de las unidades muestrales en cada transecto, se hicieron proporcionalmente al tamaño del sitio con base en el diseño de muestreo de la figura 2.



FIGURA 2. Uno (1) es la unidad muestral de 0.6 m² para el estrato herbáceo de pie de monte y llanura fluvio-lacustre residual; 0,5 m² para la llanura fluvio-lacustre muy erosionada. T es el Transecto.

En la muestra se tomaron datos en porcentaje de cobertura vegetal (CV), suelo desnudo sin cobertura protectora y con erosión laminar (SD), mantillo superficial (MO), grava (GR), pedregosidad (P), rocosidad (R) superficial. Las tres últimas coberturas se complementan con observaciones fuera de la parcela. La cobertura total del suelo (CT) se calcula de acuerdo a la siguiente relación:

$$CT = \% (CV + SD + MO + GR + P + R) = 100 \%$$

Para las otras formas y procesos erosivos se recorrió la totalidad de los sitios afectados, identificando y analizando en forma visual las diferentes marcas, huellas y formas que dejan en la superficie afectada, los procesos morfodinámicos y factores activos y pasivos.

RESULTADOS

Areas A1, A2 y A3 seleccionadas en la llanura fluvio-lacustre

De las cuatro áreas, tres (A1, A2 y A3) corresponden a la llanura fluvio-lacustre, ubicadas a seis kilómetros al sur de la ciudad de Tarija. La primera, una microcuenca con 173 ha localizada en la parte

arena suelta, muy frecuentes en los depósitos fluvio-lacustres, finalmente la corriente subsuperficial desemboca en el nivel inferior o algún frente libre. Este proceso también puede iniciarse a partir de huecos que dejan las raíces después de su pudrición.

Simultáneamente, existe otro proceso muy común en estos sitios, consiste en un desgaste del relieve a partir de una sucesión cíclica de humedecimiento (dilatación), secamiento (contracción) agrietamiento, y finalmente, el desmoronamiento y desprendimiento del material suelto de la superficie por la acción de la lluvia y el escurrimiento, modelando un relieve cada vez más suave hasta acabar con los pequeños montículos.

El lavado-socavamiento y colapso, es proceso erosivo menos frecuente en este sitio, causado por el escurrimiento difuso intenso que se forma donde el relieve que presenta pendientes rectas, el proceso es más lento que en las capas de sedimentación menos coherentes y arenosas, formando un escarpe de altura variable.

F3: Interfluvios o terrazas medias disectadas, superficie de 43 ha, ubicadas en la parte media de las microcuencas corresponden al segundo nivel del área, presenta un relieve ligeramente inclinado a irregular con varios desniveles o terrazas, recortadas por cárcavas. En su modelamiento ha influido la presencia de capas subyacentes arcillosas y cementadas.

Parece corresponder a un primer ciclo de erosión y estabilización en las microcuencas, posteriormente se reinicia un activo proceso de erosión en cárcavas profundas quedando en el presente algunos pequeños interfluvios. El uso actual de la tierra es el pastoreo libre y permanente de ganado caprino y ovino.

Presentan suelos poco desarrollados, resultado de la acumulación de sedimentos provenientes del sitio F2, con poco a frecuentes fragmentos cementados en la superficie, muy superficiales a moderadamente profundos, textura media a liviana, desarrollo estructural débil a muy débil.

Se presentan procesos de erosión laminar, principalmente en las superficies planas o casi planas con muy poca cobertura vegetal, afecta un 29 a 93 % con un promedio de 57 %, por la severidad de las otras formas de erosión hídrica, parece perder relevancia.

El lavado, socavamiento y colapso, proceso de erosión frecuente y similar al descrito en F2, afecta la parte baja de los interfluvios, su intensidad depende de la naturaleza de las capas de sedimentación subyacentes, las más arcillosas y coherentes resisten más al proceso pero terminan cediendo y formando hasta tres niveles de pequeñas terrazas de diferente amplitud y altura.

F4: Interfluvios o terrazas bajas no disectadas, superficie 32 ha. Es el nivel más bajo en las microcuencas, por su posición resultan de la acumulación de sedimentos que provienen de los sitios F1, F2, y F3 formando terrazas que se destinan al pastoreo libre con rotación de agricultura a secano y descanso. Los suelos presentan pendientes rectas con inclinación hasta 15 %, sin pedregosidad superficial, moderadamente profundos a profundos, texturas medias a pesadas y estructura débil.

El proceso de erosión laminar, favorecido por la pendiente y la baja cobertura vegetal, afecta del 9 al 51 %, con promedio de 30 %. El lavado-socavamiento y colapso es el proceso erosivo más importante, avanza rápidamente en forma retrocedente afectando la parte baja de la terraza, únicos espacios que se pueden cultivar.

Area A4 del pie de monte

Se ubica a seis kilómetros al sur de la ciudad de Tarija, en el margen derecho del camino Tarija - San Andrés, en la parte superior de la subcuenca. Tiene como límites la quebrada La Tablada y otra menor hasta el contacto con las laderas del cerro Cruz Loma (Figura 3). Es un pie de monte formado por la coalescencia de dos abanicos donde se han diferenciado cinco sitios (Cuadro 3).

CUADRO 3. Sitios del área (A4) del pie de monte.

SIMBOLO	DESCRIPCION	SUPERFICIE ha	%
L	Laderas estructural denuativas	136	64
P	Piedemonte aluvial de la quebrada La Tablada		
P1	Inclinado con ninguna a moderada pedregosidad	38	18
P2	Inclinado con pedregosidad moderada a abundante	27	12
P3	Terrazas (Alta, media y baja)	6	3
P4	Lecho y barras de cauce	7	3
	T O T A L	350	100

moderadamente profundo (5-100 cm), varios interfluvios presentan abundante grava en los horizontes superficiales, la textura es media en la superficie y pesada en los horizontes inferiores, el desarrollo estructural varía de débil a fuerte, presentan muy bajo contenido de materia orgánica, pH moderadamente alcalino a fuertemente alcalino y alto contenido de sodio intercambiable. El uso actual de la unidad es pastoreo libre y permanente de ganado caprino, ovino y vacuno.

Los interfluvios resultan de un largo e intenso proceso erosivo de su entorno, hasta quedar muy pocos y aislados en el área como testigos de una llanura que existió en el pasado. Por su posición, están condenados a desaparecer por la erosión permanente y variable a lo largo del perímetro, por las características internas del suelo y las capas de sedimentación subyacentes.

Se presentan procesos de erosión hídrica laminar que afecta al sitio desde un 17 % a 48 %, con una media del 30 %, habiéndose perdido prácticamente todo el horizonte superficial en varios interfluvio. La vegetación herbácea protectora tiene una cobertura media de 48 %, materia orgánica superficial 6.9 % y fragmentos gruesos 14 % aproximadamente (Cuadro 2).

La severidad de este proceso ha creado las condiciones propicias para el inicio y desarrollo de otras formas de erosión a lo largo del perímetro de los interfluvios de la unidad.

El proceso erosivo de lavado-socavamiento y colapso, consiste en el humedecimiento, lavado y desgaste del escarpe seguido de un socavamiento de la base hasta que un volumen de suelo queda fuera de su centro de gravedad, se fisura y colapsa en forma de pequeños movimientos en masa rápidos, este es un proceso muy activo en suelos sin fragmentos gruesos y menos activo en los que tienen abundante grava o fragmentos gruesos o poseen capas arcillosas cementadas.

El agente dinámico que origina este proceso es el escurrimiento difuso intenso que se forma a lo largo de la pendiente, por esta razón, se presenta en los sectores bajos de la unidad. El resultado es un escarpe de altura variable que avanza en forma retrocedente afectando a los interfluvios en todo su perímetro.

CUADRO 2. Erosión laminar y otras coberturas, áreas (A1, A2 y A3) de la llanura fluvio-lacustre.

Sitio	Sup ha	Nº parcela	Muestra m ²	Coberturas						
				HB	EL	MO	GR	P	R	Total
F1	29.0	20	10	48.5	30.3	6,9	9,8	4,4	0,0	100
F2	265.5	32	16	11.3	67.1	2,5	18,9	0,3	0,0	100
F3	43.0	16	8	26.9	57.3	5,2	9,1	1,7	0,0	100
F4	32.0	7	3.5	62.4	30.3	4,9	2,3	0,0	0,0	100
SUM.	369.5	75	37.5	149.1	185.0	19,5	40,1	6,4	0,0	400
MED.	92.4	18.8	9.4	37.3	46.3	4,9	10,0	1,6	0,0	100

HB: cobertura herbácea EL: erosión laminar MO: mantillo

GR: grava P: pedregosidad R: rocosidad.

F2: Fuertemente disectado por erosión muy severa, superficie 265.5 ha, es la parte de la llanura fluvio-lacustre más afectada y degradada por los procesos de erosión, presentan un relieve muy irregular, recortado por una densa red de drenaje dendrítico. La severidad de los procesos erosivos a través del tiempo han truncado los procesos edafogenéticos. Por el pronunciado desequilibrio hidrológico, se ha erosionado y removido todo el suelo y varias capas de sedimentación de diferente consistencia. La unidad se destina al pastoreo libre y permanente de ganado caprino y ovino.

La erosión laminar afecta el sitio con el 56 al 81 % con una media del 67 %, especialmente en superficies desnudas y planas a casi planas.

La sofusión y erosión subsuperficial es un proceso de movimiento en masa lento, muy común en este tipo de paisajes, consiste en la reducción de las capas inferiores por la formación de grietas o sumideros, luego un laberinto de túneles subsuperficiales y puentes con el posterior desplome o hundimiento del material de las capas superiores formando un relieve pseudocárstico. Se presenta en todas las capas arcillosas. La formación de grietas y túneles, al parecer, comienza por la acumulación del agua en pequeñas depresiones que satura, dilata y agrieta las arcillas dispersivas, disuelve las sales solubles desprendiendo las partículas de arena muy fina y limo, lo que favorece al ensanchamiento de las grietas, más aún, si la corriente subsuperficial encuentra bolsones y capas de

La selección de las áreas de intervención se ha basado en criterios biofísicos como la geomorfología, la fisiografía, red de drenaje, erosión, vegetación, suelos, uso de la tierra, aspectos socioeconómicos y predisposición de los comunarios a ejecutar los trabajos.

La subcuenca de la quebrada La Tablada se localiza en la parte baja y sector noroeste de la cuenca del río Tolomosa, forma parte del valle central de Tarija, localizado en la parte alta de la cuenca del río Grande, Tarija (Figura 1).

Tiene una superficie de 774 ha, presenta una altitud que varía de 1900 a 2467 msnm, el clima es templado, semiárido, con una temperatura media anual de 17°C, precipitación de 806 mm.año⁻¹, la precipitación máxima en 24 horas varía de 28 a 71 mm (Frias, 1989) y la evapotranspiración anual es de 1186 mm (Alzérreca y Ruiz, 1998).

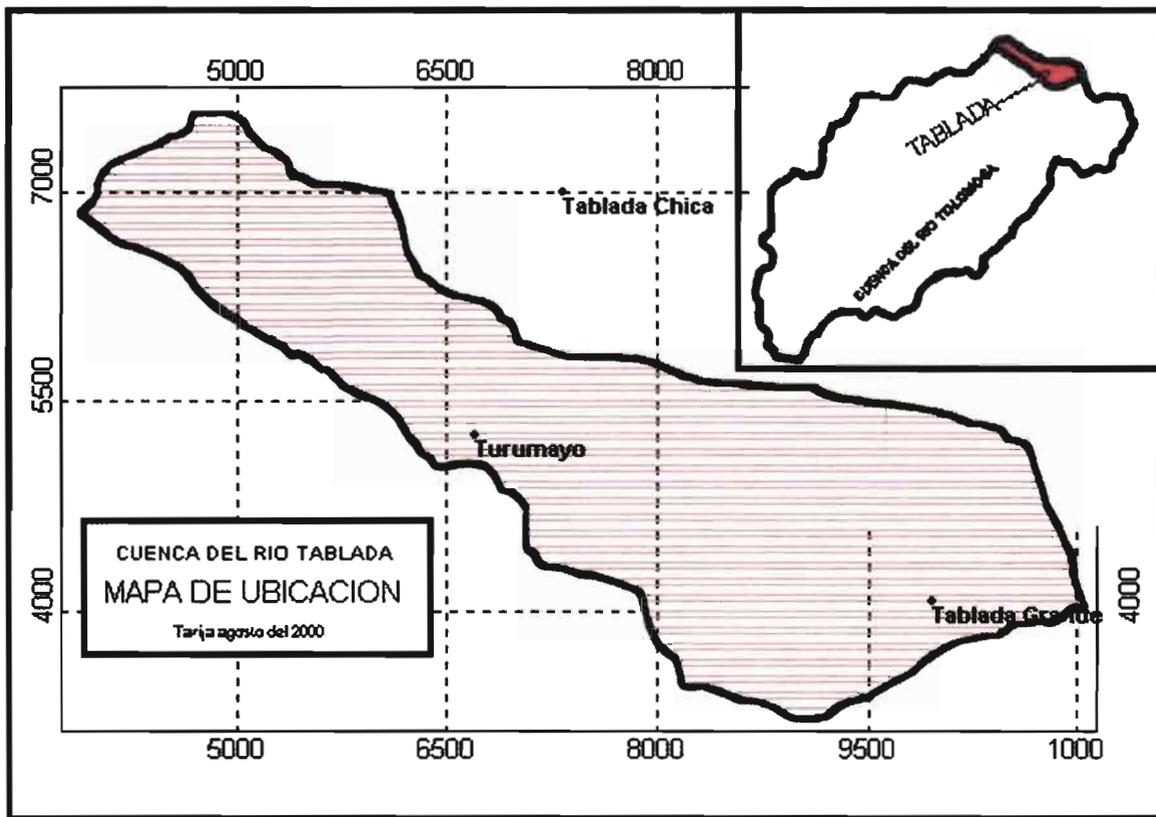


FIGURA 1. Localización del área de estudio.

Procesos de erosión hídrica de los suelos en la subcuenca de la quebrada La Tablada

Linder Espinoza Márquez¹

¹Organización no Gubernamental Vida Verde (VIVE). Virginio Lema N° 771. Teléfono/Fax 066 36878 - 30935. email: vive@olivo.tja.entelnet.bo. Tarija, Bolivia

RESUMEN

El presente trabajo tiene como marco general el diagnóstico de la situación actual en las áreas seleccionadas, en la subcuenca de la quebrada La Tablada, por encargo del Programa Estratégico de Acción (PEA) de la alta cuenca del río Bermejo con el fin de establecer la línea base para la evaluación de las prácticas a ejecutarse por el Proyecto Piloto "Control de Sedimentos en la cuenca del río Tolomosa", subcuenca quebrada La Tablada, en 1998 en cuatro áreas seleccionadas.

Con métodos de fotointerpretación de la geomorfología, muestreos y ajustes de campo, se concluye que en las áreas (A1, A2 y A3) de la llanura fluvio-lacustre, prácticamente, no existe suelo a causa de los procesos erosivos, excepto en los interfluvios altos. En el pie de monte los sitios P1 y P3 tienen los mejores suelos de la subcuenca. La erosión hídrica laminar afecta a todos los sitios en un 38 % en términos de superficie, creando las condiciones propicias para otras formas de erosión como: lavado-socavamiento y colapso, proceso muy frecuente y el más grave, representa la dinámica de formación y avance retrocedente de las cárcavas. Sofusión y erosión subsuperficial, proceso de movimiento en masa lento muy común, consiste en la reducción de las capas inferiores por la formación de sumideros, túneles subsuperficiales y el posterior desplome o hundimiento del material de las capas superiores formando un relieve pseudocárstico. Esta forma de erosión esta asociada a otro proceso de humedecimiento-contracción, agrietamiento y finalmente el desprendimiento y lavado de partículas por las gotas de lluvia.

INTRODUCCION

En la problemática ambiental del valle de Tarija, sobresale la erosión del suelo asociada a factores como el déficit hídrico, régimen de distribución de las lluvias, pérdida de la capacidad de almacenamiento de las cuencas, pobreza, migración y la alta sensibilidad ecológica del complejo biofísico del valle.

Esta situación es doblemente negativa en la cuenca del río Tolomosa por la colmatación del embalse de San Jacinto. La producción de sedimentos que llegan al embalse, en términos de degradación específica, en una primera aproximación ha sido estimada en 378,000 tn.año⁻¹ (Asociación San Jacinto, 1978), posteriormente en 656,554 tn.año⁻¹ (CODETAR, CUMAT, Fundación Chile, 1988), aspecto que afecta la vida útil de una obra costosa y de propósito múltiple para la región que tiene once años de funcionamiento.

Los datos mencionados evidencian la urgencia de definir acciones efectivas encaminadas al manejo integral de la cuenca alimentadora con el propósito de proteger la vida útil del embalse y desarrollar las áreas de influencia aguas arriba del mismo.

De las seis subcuencas que forman la cuenca del río Tolomosa, la subcuenca quebrada La Tablada, presenta un alto porcentaje de suelos de origen fluvio-lacustre y la mayor superficie afectada por erosión hídrica de tipo laminar, en surcos y en cárcavas (Espinoza, 1996). Por esta razón, se ha seleccionado la subcuenca quebrada La Tablada para realizar el presente estudio.

Este trabajo tiene como marco general el diagnóstico de la situación actual en las áreas seleccionadas en la subcuenca de la quebrada La Tablada, realizado por la Organización no Gubernamental Vida Verde (VIVE), por encargo del Programa Estratégico de Acción (PEA) de la alta cuenca del río Bermejo, con el fin de establecer la línea base para la evaluación de las prácticas agroforestales y silvopastoriles a ejecutarse en el marco del Proyecto Piloto "Control de Sedimentos en la cuenca del río Tolomosa, subcuenca quebrada La Tablada", en 1998 en cuatro áreas seleccionadas de la subcuenca.

L: Laderas estructural denudativas, superficie 136 ha, son laderas empinadas a escarpadas de areniscas intercaladas con limolitas y lutitas cuarzosas (GEOBOL 1.991), de las que provienen los sedimentos heterométricos para ser transportados y depositados por la quebrada La Tablada que ha ido formando el pie de monte, por lo que tienen una influencia directa en la naturaleza y características de los suelos del área. Se destinan exclusivamente al pastoreo extensivo permanente de ovinos, caprinos y vacunos. Los suelos son muy superficiales, empinados, pedregosos y rocosos, bien drenados y textura liviana. El principal proceso erosivo es la erosión hídrica laminar que afecta alrededor del 15 % de la unidad debido a la alta cobertura de grava, piedra y rocas, localmente presenta erosión en regueros.

P: Pie de monte aluvial de la quebrada La Tablada, superficie 136 ha. Formado por la acumulación de sedimentos aluviales y coluviales sobre depósitos lacustres antiguos, en base a los procesos geomorfológicos presentes en el área se han diferenciado los siguientes sitios:

P1: Inclinado con ninguna o moderada pedregosidad superficial, superficie de 38 ha, presenta pendientes rectas con 5-10 % de inclinación, pedregosidad superficial de 0-15%. En este sitio se concentra la agricultura a secano y el pastoreo libre permanente de ganado bovino, ovino y caprino.

Suelos superficiales a moderadamente profundos, con textura liviana en la superficie y pesada en el segundo horizonte, desarrollo estructural moderado a fuerte, muy bajo contenido de materia orgánica, pH ligeramente ácido a moderadamente alcalino, no salinos. A partir del tercer horizonte presenta una intercalación de horizontes arcillosos con capas cementadas de grava angulosa que desaparece en el ápice el piedemonte.

Por la poca cobertura herbácea (10 a 76 %) y muy poca pedregosidad externa, la erosión hídrica laminar afecta la unidad desde el 26 a 90 % con un promedio de 54 % (Cuadro 4).

CUADRO 4. Erosión laminar y otras coberturas en el área (A4) de pie de monte.

Sitio	Sup. ha	Nº Parcela	Muestra m ²	HB	EL	MO	GR	P	R	Total
L	136.0	3	1.8	11.0	15.0	0.0	18.0	50.0	5.0	100
P1	38.0	18	10.8	41.0	54.3	0.4	0.6	3.3	0.3	100
P2	27.0	20	12.0	41.0	18.0	1.7	9.0	25.0	7.0	100
P3	6.0	7	42.0	52.0	30.0	3.0	11.0	4.0	0.0	100
P4	7.0									
SUM.	207.0	48	28.8	145.0	117.3	5.1	38.6	82.3	12.3	400
MED.	51.8	12.0	7.2	36.3	29.3	1.3	9.7	20.6	3.1	100

HB: cobertura herbácea EL: erosión laminar MO: mantillo

GR: grava P: pedregosidad R: rocosidad.

El proceso de lavado-socavamiento y colapso, originado por la dinámica del escurrimiento difuso intenso, en sectores donde el relieve u otro factor favorece la ruptura de la superficie formándose un pequeño escarpe o cabecera de "cárcava" que va creciendo aguas arriba, se da en la parte distal del piedemonte que presenta una gruesa capa pedregosa. Se observa que ni la capa gruesa y pedregosa resiste al proceso de profundización por el lavado, socavamiento y desplome que origina la dinámica del escurrimiento concentrado intenso, como se aprecia en dos sectores del predio del Sr. Eulogio Rios.

P2: Ondulado con pedregosidad superficial moderada a abundante, superficie de 27 ha, presenta un relieve ligeramente ondulado a ondulado con pendiente de 7 a 12 %, pedregosidad superficial en un 80 %, drenaje rápido. El uso actual es pastoreo libre y permanente.

Los suelos presentan textura y estructura similares a los suelos del sitio A1, superficiales y con alto porcentaje de gravas y pedregosidad tanto superficial como interna.

Por la influencia del estrato herbáceo (cobertura media de 41 %), fragmentos y pedregosidad externa (cobertura media 39 %) y la presencia de mantillo (cobertura media 2 %), la erosión hídrica laminar varía de 5 a 50 %, con valor promedio de 18 %.

La erosión en riberas se presenta, localmente, en dos sectores a lo largo de las quebradas debido al socavamiento lateral de las aguas en época de crecidas.

P3: Terrazas (alta, media y baja), superficie de 6 ha, formadas por la acumulación de sedimentos

aluviales a lo largo de la quebrada La Tablada, presentan relieve casi plano a ligeramente ondulado, pedregosidad superficial variable. Uso actual pastoreo libre permanente. Los suelos son muy superficiales a superficiales, con textura liviana, poco desarrollo estructural, abundante grava y pedregosidad interna. Por su posición geomorfológica, cobertura herbácea, grava, pedregosidad superficial y mantillo, el 30 % del sitio se encuentra afectado por erosión hídrica laminar. El proceso erosivo de mayor importancia que presenta el área es el desgaste de las riberas por la acción de las crecidas de los ríos en épocas de verano, proceso agravado últimamente por la forma inadecuada de extracción y uso de los cantos rodados (piedra para construcción) por parte de los volqueteros, provocando alteración, debilitamiento y desestabilización de las riberas.

P4: Lecho y barras de cauce, superficie 7 ha, es el nivel actual y subactual de inundación de las quebradas, formadas por la dinámica fluvial de arrastre y acumulación en el cauce de gravas piedras y rocas provenientes de las laderas estructurales y denudativas. La erosión en el fondo del cauce tiene origen en la forma inadecuada de extraer el material grueso, alterando la dinámica fluvial de las quebradas y provocando en algunos sectores el socavamiento y en otros un ensanchamiento del cauce originando la erosión de riberas.

CONCLUSIONES

• **Áreas (A1, A2 y A3) de la llanura fluvio-lacustre**

En más del 90 % del área no existe suelo, por que este ha sido totalmente removido por procesos erosivos acelerados de diferente forma y grado, la situación actual es de erosión de capas o depósitos de sedimentos que ya fueron erosionados conformando un paisaje semidesértico.

Los pocos y reducidos interfluvios altos, son el único sitio que presenta suelos poco desarrollados, con texturas medias a pesadas, desarrollo estructural débil a moderado, alto riesgo a la erosión hídrica. Por la activa erosión del sitio que los rodea estos interfluvios están condenados a desaparecer.

Los procesos erosivos presentes son propios de un antiguo e intenso desequilibrio hidrológico que continúa en el presente, debido a la erosión geológica acelerada en sedimentos de alta sensibilidad, dichos procesos se han dado con una severidad excepcional en todas sus formas y grados, modelando un paisaje con relieve disectado y casi inaccesible, con una amplitud interna de un máximo de 25 m donde se puede diferenciar varios niveles, lo que indica que los procesos erosivos ocurrieron en una dinámica de varios ciclos o periodos de erosión-estabilización, con una formación y profundización de cárcavas unas dentro de otras hasta casi acabar con la cuaternaria llanura fluvio-lacustre.

Con este marco de erosión pasada, los procesos de erosión presentes son:

- Erosión hídrica laminar. Actualmente afecta a todos los sitios en un 46 % aproximadamente, la cual ha creado las condiciones propicias para otras formas de erosión.
- Lavado-socavamiento y colapso. Proceso erosivo muy frecuente y representa la dinámica de la formación y avance retrocedente de las cárcavas, afecta a toda superficie generadora de escurrimiento superficial difuso.
- Sofusión y erosión subsuperficial. Esta forma de erosión esta asociada a otro proceso de dilatación (humedecimiento) – contracción (secamiento)- agrietamiento finalmente el desprendimiento y lavado de partículas.

• **Área (A4) del piedemonte**

Presenta los mejores suelos en relación a las otras áreas, especialmente en los sitios P1 y P3. Los procesos de erosión hídrica presentes en el área A4 son los siguientes:

- Erosión hídrica laminar. En términos de superficie afecta el 15 %, a los suelos de ladera, el 54 % a los suelos del sitio P1, el 18 en P2 y el 30 % a los suelos del sitio P3.
- Lavado-socavamiento y colapso. Esta proceso afecta sólo a los suelos del sitio P1 y P2 en sectores donde la erosión en forma laminar ha creado las condiciones propicias por la pendiente y generación de escurrimiento difuso concentrado.

- Finalmente según los datos expuestos se puede establecer que, el proceso lavado-socavamiento y colapso es el problema más grave y central puesto que constituye la dinámica del avance de la

erosión de los pocos sitios aislados que aún quedan. El proceso de sofusión y erosión subsuperficial, es igualmente grave, pero se presenta generalmente en suelos que ya fueron destruidos por el proceso lavado-socavamiento y colapso. La erosión laminar es quizá el proceso de menor importancia por su efecto, pero es muy importante por la superficie que afecta y porque es la precursora de las otras formas de erosión.

BIBLIOGRAFIA

- AASANA., 1980. Estudio para el control de la erosión en el área del aeropuerto "Oriel Lea Plaza" de Tarija. Tarija, Bolivia, Tomo I, 205 pp.
- Alzerreca, H. y Ruiz, J., 1998. Estudio de los campos Naturales de Pastoreo (CANAPAS) del Valle Central de Tarija. Geomorfología, suelos y clima.
- Bennema, J. y Gelens, H. F., 1976. Interpretación de fotografías aéreas. Bogotá, Colombia, Centro Interamericano de fotointerpretación, 176pp.
- Benjamini, Y., 1991. Control de la erosión en el Valle de Tarija. Informe de Misión del Gobierno de Israel. Tarija, Bolivia.
- Cochrane, T., 1970. Una guía para la interpretación de datos analíticos de los análisis de rutina de suelos efectuados en el laboratorio de suelos de la Misión Británica en Agricultura Tropical. (Reporte mimeografiado). 17 pp.
- CODETAR, 1995. Estudio de suelos de la cuenca del río Tolomosa. Tarija, Bolivia.
- Espinoza, M. L., 1996. Clasificación y mapeo de la erosión en la cuenca del río Tolomosa. Tarija, Bolivia, 85pp.
- Frías, C.R., 1989. Balance Hídrico superficial de la cuenca de los ríos Bermejo y Grande de Tarija.
- GEOBOL, 1991. Carta geológica de Bolivia, hoja Padcaya 6628, hoja Tarija 6629. Escala 1:100.000. Publicación SGB serie I-CGB-3. Del SGAB Internacional de Suecia.
- Méndez, M. R., 1986. Estudio morfodinámico de la cuenca alta del río Guadalquivir en el Valle de Tarija. Tarija, Bolivia.
- Montero, O., 1990. Estudio del avance de la erosión en suelos fluvio-lacustres de la microcuenca Piscuni, haciendo uso de fotografías aéreas y levantamiento topográfico. Tarija, Bolivia, Universidad Autónoma Juan Misael Saracho.
- Pérez Soba Baro, A., 1985. Reconocimiento general para la restauración hidrológica forestal de la cuenca del río Guadalquivir. Tarija, Bolivia, FAO/GCP/BOL/016/NOR, Documento de trabajo N°1, 86pp.
- Varela, M. J., 1982. Notas sobre problemas de erosión y su mapeo. Bogotá, Colombia, CIAF, 71pp.
- Verstappen, H.T. y Van Zuidam, 1991. Sistema ITC para levantamientos geomorfológicos. Una base para la evaluación de riesgos naturales. Enschede, Holanda, 89pp.
- Villota, H., 1991. Geomorfología aplicada a levantamientos edafológicos y zonificación física de las tierras. Segunda parte. Procesos y geoformas agradacionales. Bogotá, Colombia. Subdirección de docencia e investigación del IGAC, 69 pp.

PANELES

Física, química y biología de suelos

Efecto de factores edáficos y topográficos en el crecimiento de especies comerciales en un bosque secundario en Sarapiquí, Costa Rica

Oscar Peña Wilde¹

¹ Universidad Católica Boliviana, UAC Carmen Pampa. Fax (591)-811-6013. Casilla 13721. La Paz, Bolivia.

RESUMEN

El presente estudio se realizó en un bosque secundario, de 5 años de edad, en el área experimental El Roble en Sarapiquí. El objetivo principal del estudio fue determinar que factores edáficos y topográficos afectan el crecimiento de especies arbóreas comerciales dominantes (*Laetia procera*, *Simarouba amara*, *Vochysia ferruginea* y *Tapirira guianensis*). Cuando se comparó el crecimiento arbóreo en función de las características de fertilidad de los suelos, solamente se encontraron diferencias significativas (prueba Kruskal-Wallis, $p < 0.05$) en incremento diamétrico y en volumen para *Laetia procera* y en incremento en altura para *Vochysia ferruginea*. En el análisis de regresión entre variables edáficas y el incremento diamétrico solamente se encontraron modelos significativos para *Laetia* y *Vochysia*: *Laetia procera*: Incremento diamétrico (cm.año^{-1}) = $2.2866 + 0.4914$ Acidez extraíble - 1.451 Magnesio - 1.547 Densidad aparente. (R^2 ajustado = 20 %). *Vochysia ferruginea*: Incremento diamétrico (cm.año^{-1}) = $8.369 - 1.297$ pH - 16.993 Potasio (R^2 ajustado = 37 %). La variabilidad de los suelos en el área de estudio afectó el crecimiento arbóreo de *Laetia* y *Vochysia* y no así el de *Tapirira* y *Simarouba*.

INTRODUCCION

La importancia de los bosques secundarios neotropicales como fuente de madera y servicios ambientales en los últimos años se ha incrementado (Dourojeanni, 1987 ; Finegan y Sabogal, 1988 ; Smith et al., 1997). Este recurso (bosque secundario) a diferencia de los bosques primarios está ligado a pequeños agricultores y ganaderos, este concepto se refiere al bosque secundario de origen antrópico o bosque sucesional. Se define como bosque secundario la vegetación leñosa de carácter sucesional que se desarrolla sobre tierras cuya vegetación original fue destruida por actividades humanas (Finegan, 1992).

El conocimiento de la ecología y en especial de las relaciones entre factores medioambientales y la productividad de las especies forestales, que permita un manejo sostenible de este recurso, es escaso en los bosques tropicales y aún más en bosques secundarios. Esto es de vital importancia para los mismos porque la recuperación de atributos estructurales (biomasa, altura o área basal) es función inversa del grado de degradación del sitio y función directa del nivel de fertilidad del suelo (Uhl et al., 1988). Esfuerzos para generar esta información se han realizado en años recientes (Herrera, 1996). En este sentido el presente trabajo identificó los principales factores edáficos y topográficos que influyeron en el crecimiento de especies comerciales, en un bosque secundario de 5 años, en el asentamiento Cay Rica de Sarapiquí, noreste de Costa Rica.

MATERIALES Y METODOS

El trabajo se realizó en un bosque secundario, de aproximadamente 5 años de edad, del asentamiento Cay Rica, ubicado en el cantón Sarapiquí, provincia Heredia, Costa Rica. Geográficamente localizado entre $10^{\circ} 23'$ L.N. y $84^{\circ} 05'$ L.S., a una altura de 180 msnm, temperatura media anual de 25.7°C y precipitación promedio 3962 mm (Sanford et al., 1994), suelos clasificados como Andic palehumult (Peña, 1997) y zona de vida bosque muy húmedo tropical (Tosi, 1969).

El uso anterior del bosque secundario en estudio, aproximadamente 3 ha, fue el siguiente: luego de aprovechar el bosque primario en 1992, se taló el bosque intervenido para sembrar pasto el cual no se estableció exitosamente. No hubo quema de la vegetación. En 1995 se estableció una parcela permanente de muestreo de 1.26 ha y se delimitaron cuatro parcelas de 0.21 ha divididas en

subparcelas de 10x10 m (84 subparcelas en toda el área de estudio) en las que se marcó e identificó todos los árboles, con diámetro a la altura del pecho mayor o igual a 5 cm (100 % de intensidad de muestreo). Se determinó la especie y el origen de cada individuo clasificándolos como "remanente" o "colonizador", y se realizaron mediciones de la clase de iluminación, forma de fuste, forma de copa, diámetro a la altura del pecho y altura total el año 1995 y un año después.

La información de incremento periódico anual en diámetro, altura y volumen total calculado a partir de las ecuaciones desarrolladas por Quiros (1997), se relacionaron con variables edáficas y topográficas determinadas en el presente estudio.

Las especies dominantes son: *Laetia procera* (Flacourtiaceae), *Simarouba amara* (Simaroubaceae), *Tapirira guianensis* (Anacardiaceae), *Trichospermum grewiifolium* (Tiliaceae), *Inga spp* (Mimosaceae), *Cordia bicolor* (Boraginaceae), *Inga thibaudiana* (Mimosaceae) y *Vochysia ferruginea* (Vochysiaceae). La densidad total al inicio del estudio fue de 783 individuos por hectárea ($dap \geq 5$ cm), referida solamente a la vegetación colonizadora (M. Guariguata, datos inéditos).

Se determinaron las características topográficas y edáficas de cada una de las 84 subparcelas. La pendiente media se estimó con clinómetro, la posición en la pendiente se codificó en tres clases: media, alta y baja. Para la caracterización físico-química se definió una profundidad constante de muestreo de 30 cm de profundidad y se obtuvieron cinco muestras simples a partir de las cuales se obtuvo una muestra compuesta para cada subparcela. El análisis físico-químico fue realizado en los laboratorios de Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza, de acuerdo a la metodología de Díaz-Romeu y Hunter (1978). El pH del suelo fue medido en agua; acidez extraíble con solución neutra de KCl 1 M; fósforo y potasio extraídos con solución Olsen modificado determinados como sigue: fósforo por colorimetría con azul de molibdeno y potasio por absorción atómica; calcio y magnesio extraídos con una solución de KCl 1M y determinados por absorción atómica; capacidad de intercambio catiónico por extracción del acetato del amonio con solución de NaCl al 10% y determinación mediante titulación con H_2SO_4 0.02N; nitrógeno total con el método Kjeldahl y textura con el método de Bouyoucos. La profundidad del horizonte A y la densidad aparente se determinaron en el centro de cada subparcela de acuerdo a Forsythe (1980).

Para el análisis estadístico de la información recolectada se adoptó un nivel de significancia del cinco por ciento. Se realizó un análisis de conglomerados de las subparcelas en base a las características edáficas y topográficas. Posteriormente se comparó el incremento diamétrico en altura y en volumen entre las agrupaciones de subparcelas para las especies de interés, *Laetia procera*, *Tapirira guianensis*, *Simarouba amara* y *Vochysia ferruginea*. Estos análisis se realizaron con los procedimientos CLUSTER y NPAR1WAY del módulo SAS/STAT (SAS Institute, 1993). Posteriormente se realizaron análisis de regresión múltiple entre el incremento individual en diámetro, altura y volumen por especie con las variables edáficas y topográficas, para lo cual se utilizó el procedimiento REG del SAS/STAT (SAS Institute, 1993).

RESULTADOS

Agrupación de las subparcelas en base a características edáficas y topográficas.

Producto del análisis de conglomerados se formaron tres grupos de subparcelas cuyas características promedio se detallan en el cuadro 1. El conjunto de variables elegidas produjo un menor error de reclasificación cuando se hizo la validación cruzada en el análisis discriminante. Se puede observar la existencia de un gradiente de fertilidad que va desde condiciones relativas mejores (grupo 3) a condiciones relativas peores (grupo 1). Esta agrupación tiene mucho que ver con el grado de intervención que experimentó cada subparcela, así, el grupo uno correspondió a las que tuvieron mayor grado de perturbación de suelos por efecto del aprovechamiento maderero ocurrido aproximadamente 10 años antes del estudio, las subparcelas del grupo tres las que tuvieron menor grado de perturbación y el grupo dos un nivel intermedio entre las anteriores.

CUADRO 1. Media y rango (en paréntesis) de las variables de suelo correspondientes a las agrupaciones de subparcelas seleccionadas (Figura 2).

	Grupo 1	Grupo 2	Grupo 3
- pH	4.5 (4.2-5.1)	4.4 (4.3-4.6)	4.5 (4.4-4.8)
- Acidez Extraíble	1.29 (0.73-1.75)	1.54 (0.67-2.26)	1.2 (0.81-1.65)
- Calcio cmol(+).kg ⁻¹	0.41 (0.15-0.92)	0.38 (0.18-0.85)	0.61 (0.28-1.04)
- Magnesio cmol(+).kg ⁻¹	0.39 (0.17-0.93)	0.30 (0.19-0.63)	0.44 (0.28-0.66)
- Potasio cmol(+).kg ⁻¹	0.05 (0.03-0.07)	0.06 (0.04-0.09)	0.07 (0.04-0.12)
- Fósforo ppm	2.99 (0.9-5.4)	5.1 (1.5-13.9)	2.2 (1.0-6.3)
- Nitrógeno %	0.33 (0.19-0.41)	0.39 (0.33-0.45)	0.43 (0.38-0.49)
- CIC cmol(+).kg ⁻¹	26.9 (23.5-32.0)	31.6 (27.2-38.1)	32.7 (29.3-35.5)
- Arena %	30.1 (18.0-39.0)	40.1 (27.7-48.7)	49.2 (36.2-64.5)
- Limo %	15.2 (11.8-21.9)	12.1 (7.7-19.8)	10.8 (6.0-14.2)
- Arcilla %	54.7 (44.4-66.0)	47.8 (38.0-58.0)	39.9 (29.6-49.6)
- Profundidad del horizonte A	11.9 (2.0-24.0)	16.0 (9.0-23.0)	18.5 (12.0-29.0)

Fuente : Oscar Peña (1997)

Comparación del crecimiento entre los grupos de subparcelas

No se encontraron diferencias significativas para ningún incremento (diámetro, altura y volumen) para *Tapirira guianensis*, no obstante la adecuada distribución y número de individuos (87) que tuvo esta especie en los grupos de subparcelas, esto sugiere que la variabilidad edáfica y topográfica del área de estudio no afectó el crecimiento de esta especie.

De la misma manera, para *Simarouba amara* tampoco se encontraron diferencias significativas para el incremento (diámetro, altura y volumen) entre las agrupaciones de subparcelas. Sin embargo, se observó tendencia a un mayor incremento diamétrico en las subparcelas del grupo 3 caracterizadas por una mayor fertilidad

Laetia procera

El incremento diamétrico individual, incluyendo todas las categorías de iluminación (Hutchinson, 1993), fue significativamente diferente entre los grupos de subparcelas (prueba Kruskal-Wallis, $p < 0.05$). Por tanto, las características de suelos afectaron el incremento diamétrico de esta especie (Figura 1).

Cuando se consideraron solamente individuos en clases de iluminación 1 y 2 (plena total y plena vertical) se encontraron diferencias significativas (prueba Kruskal-Wallis, $p < 0.05$) para el incremento diamétrico e incremento en volumen. La validez de las comparaciones realizadas fue respaldada por la distribución y abundancia de *Laetia* en el área de estudio (Figura 2).

Vochysia ferruginea

Sólo se encontraron diferencias significativas (prueba Kruskal-Wallis, $p < 0.0297$) para el incremento en altura. Sin embargo, por la desigual distribución de los individuos en cada grupo edáfico de subparcelas este resultado debe interpretarse con cuidado. Se observó una preferencia de *Vochysia ferruginea* por sitios con pendientes elevadas y mayor acidez extraíble.

Análisis de regresión múltiple

El análisis de regresión se hizo solamente para los individuos con clases de iluminación 1 y 2, encontrándose modelos significativos para *Laetia procera* y *Vochysia ferruginea*.

El modelo que mejor explicó la variación en incremento diamétrico anual para *Laetia procera* fue el siguiente :

$$\text{Incremento diamétrico (cm. año}^{-1}\text{)} = 2.2866 + 0.4914 \text{ ACEXT} - 1.451 \text{ Mg} - 1.547 \text{ DEAP}$$

R^2 ajustado = 20 %.

ACEXT = Acidez extraíble en cmol(+). kg⁻¹

Mg = Contenido de magnesio en cmol(+). kg⁻¹

DEAP = Densidad aparente en g. cm⁻³

Esto indica que en el área de estudio *Laetia* preferiría suelos con mayor acidez extraíble, menor contenido magnesio y densidades aparentes menores. Características que corresponden a suelos medianamente perturbados.

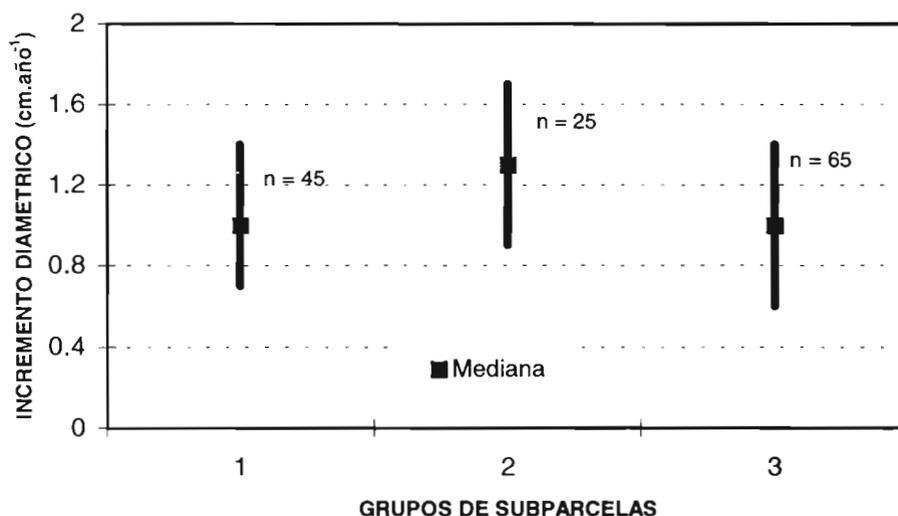


FIGURA 1. Incremento diamétrico periódico (1 año) de *Laetia procera* en cada grupo de subparcelas (se grafican mediana, cuartil 1 y cuartil 3), n representa el número de árboles en cada grupo

El modelo que explicó una mayor proporción del incremento diamétrico para *Vochysia ferruginea* fue el siguiente :

$$\text{Incremento diamétrico (cm. año}^{-1}\text{)} = 8.369 - 1.297 \text{ pH} - 16.993 \text{ K}$$

- R² ajustado = 37 %
- pH = potencial de hidrogeniones (1-14).
- K = contenido de potasio en cmol(+). kg⁻¹

Este modelo indica que *Vochysia* tendría menor incremento diamétrico en sitios (en el área de estudio) con pH y contenidos de K mayor que corresponden a suelos que presentaron mayor remoción del horizonte A y que se asocian con pendientes elevadas.

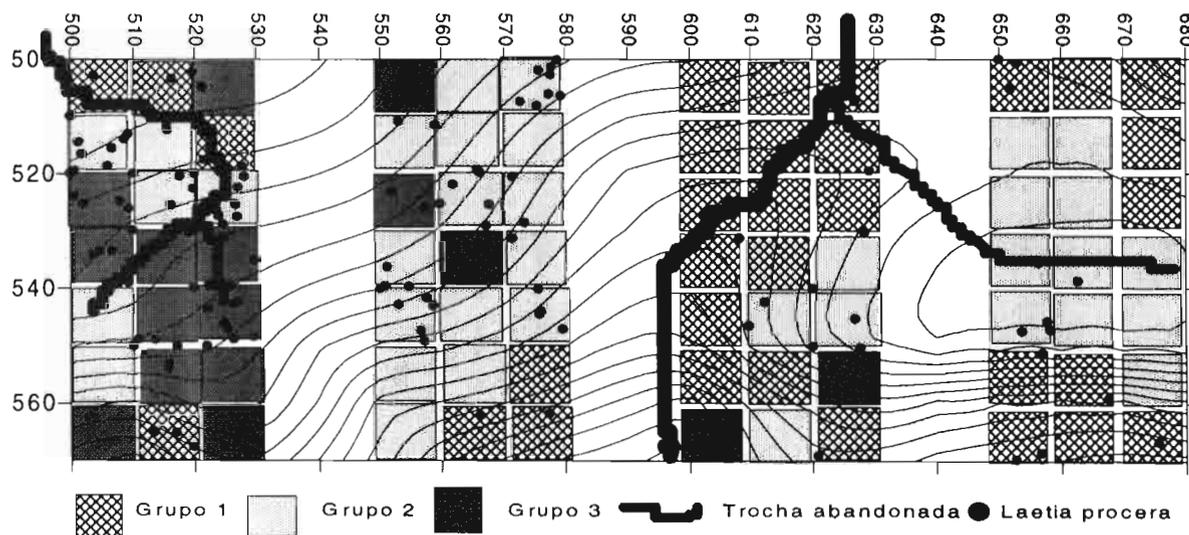


FIGURA 2. Distribución de individuos de *Laetia procera* en los grupos de fertilidad relativa. El intervalo entre curvas es de 2 m.

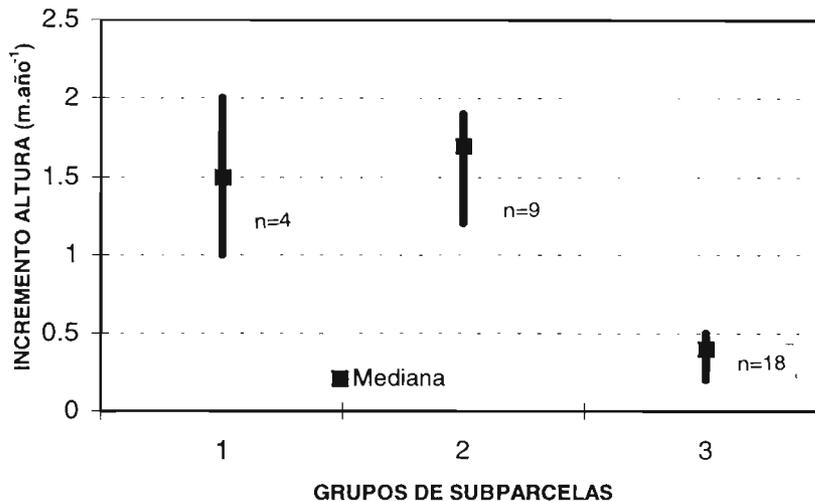


FIGURA 3. Incremento en altura de individuos de *Vochysia ferruginea* en cada grupo de subparcelas (se grafican mediana, cuartil 1 y cuartil 3) n representa el número de árboles en cada grupo.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- Las características edáficas y topográficas influyen en el crecimiento de *Laetia procera* y *Vochysia ferruginea*.
- No se encontraron evidencias de que la variabilidad de suelos en el área de estudio afecte el crecimiento de *Tapirira guianensis* y *Simarouba amara*.
- Las variables que estuvieron más relacionadas con el incremento diamétrico de *Laetia procera* fueron: acidez extraíble, contenido de magnesio y densidad aparente que explicaron un 20% de la variación en incremento.
- Las variables que estuvieron más relacionadas con el incremento diamétrico de *Vochysia ferruginea* fueron: el pH y el contenido de potasio que explicaron un 37% de la variación en incremento.
- Los resultados encontrados permitieron apreciar la variabilidad de suelos que se presentan en los bosques secundarios a causa de diversos factores (pendiente, perturbación por uso anterior) y el efecto que tiene dicha variabilidad en el crecimiento de las especies que se regeneran, con diferentes grados de adaptación a dicha variabilidad.
- Deben continuarse estudios que incrementen el escaso conocimiento actual de la ecología de especies del bosque secundario, dada la importancia creciente de las mismas como recurso forestal y para conservación de la diversidad vegetal. Esto permitirá elaborar planes de manejo que permitan aprovechar este recurso con criterios de sostenibilidad ecológica.
- Asimismo, debe continuarse con el estudio de las relaciones suelo-árbol, por que las clasificaciones de los suelos para uso agrícola están muy lejos de reflejar el potencial de un sitio para la producción forestal.

BIBLIOGRAFIA

Díaz-Romeu, R. y Hunter, A. , 1978. Metodología de muestreo de suelos, análisis químico de suelos y tejido vegetal e investigación en invernadero. Proyecto Centroamericano de fertilidad de suelos. Turrialba, CATIE, 61 pp.

Dourojeanni, M., 1987. Aprovechamiento del barbecho forestal en áreas de agricultura migratoria. Revista Forestal del Perú 14 (2) :15-61.

- Finegan, B., 1992. El potencial de manejo de los bosques secundarios neotropicales de tierras bajas. Turrialba, Costa Rica, CATIE, (Colección Silvicultura y manejo de bosques naturales N° 5), 30 pp.
- Finegan, B y Sabogal, C., 1988. El desarrollo de sistemas de producción sostenible en bosques tropicales húmedos de bajura ; un estudio de caso en Costa Rica. *El Chasqui* (17) : 3-24.
- Forsythe, W. , 1980. Física de suelos. Manual de laboratorio. San José, Costa Rica, IICA, 212 pp.
- Hutchinson, I.D., 1993. Puntos de partida y muestreo diagnóstico para la silvicultura de bosques naturales del trópico húmedo. Traducido por Ricardo Luján. Costa Rica, Serie Técnica, Informe técnico N° 204, CATIE, 31 pp.
- Peña, O., 1997. Efecto de factores edáficos y topográficos en el crecimiento de especies comerciales en un bosque secundario en Sarapiquí, Costa Rica. Turrialba, Costa Rica, Tesis Maestría, CATI, 65 pp.
- Quiros, A., 1997. Determinación de ecuaciones volumétricas para cinco especies forestales del bosque secundario. Informe de práctica de especialidad Instituto Tecnológico de Costa Rica. Cartago, Costa Rica, 36pp.
- SAS. Institute . 1993. SAS user's guide. Raleigh, N.C, USA, (sp.)
- Sanford, R. L., Paaby, P., Luvall, J. y Phillips, E. , 1994. Climate, geomorfology, and aquatic systems. En: *La Selva Ecology and natural history of a neotropical rain forest*. Mcdade, L.A., Bawa K.S., Hespeneheide, H.A y Hartshorn G.S. (eds.) United States, University of Chicago Press, pp 19-33.
- Smith, J., Sabogal, C. , Jong, W. y Kaimowitz, D., 1997. Bosques secundarios como recurso para el desarrollo rural y la conservación ambiental en los trópicos de América Latina. En : *Memorias del taller internacional sobre el estado actual y potencial de manejo y desarrollo del Bosque Secundario Tropical en America Tropical*. Pucallpa, Perú. 2 al 6 de junio de 1997, GTZ, pp. 79-106.
- Tosi, J., 1969. Mapa ecológico de Costa Rica, según la clasificación de zonas de vida del Mundo de L. R. Holdridge. Escala 1 : 750000. San José, Costa Rica, Centro Científico Tropical.
- Uhl, C. , Buschbacher, R y Serrao, E.A.S., 1988. Abandoned pastures in Eastern Amazonia. I. Patterns of plant Succession. *Journal of Ecology* 76 : 663-681.

Caracterización físico-química de algunos suelos del bloque andino oriental de Bolivia y mineralogía de sus arcillas

Vladimir Orsag Céspedes¹ y Mario Blanco²

1 Facultad de Agronomía. Universidad Mayor de San Andrés. La Paz, Bolivia.

2 Facultad de Geología. Universidad Mayor de San Andrés. La Paz, Bolivia.

RESUMEN

En siete muestras (capa arable) provenientes del bloque andino oriental del país (Aucapata, Tarata, Totorá, Capinota, Quillacollo, Yotala y Valle Grande) se determinó, con ayuda de métodos convencionales, las propiedades físico-químicas del suelo y se evaluó la mineralogía de sus arcillas con Difracción de rayos X (DRX) y Análisis Térmico Diferencial-Térmico Gravimétrico (DTA-TG). Con base en los resultados y tomando en cuenta el tipo de arcillas obtenidos, se evaluó la fertilidad de los suelos.

En general son suelos de textura moderadamente gruesa a moderadamente fina, donde la fracción de arena predomina sobre el limo y arcilla, por consiguiente tienen baja capacidad para retener agua y nutrientes. El pH de estos suelos en la mayoría de los casos es neutro. El grado de saturación con bases intercambiables está por encima del 80%, por consiguiente los contenidos de Ca, Mg y K intercambiable son en general moderados. Desde el punto de vista mineralógico, la illita es el tipo de arcilla que predomina en todas las muestras estudiadas, seguida de cantidades menores de caolinita y en algunos casos también contienen pequeñas cantidades de montmorillonita y clorita. Este tipo de arcillas junto a los contenidos de materia orgánica y textura, inciden de una manera marcada en la fertilidad de estos suelos.

INTRODUCCION

Los suelos del país y en especial los que se encuentran en el Altiplano, Valles y Chaco se caracterizan por su baja fertilidad natural, esto se debe especialmente a que son suelos de edad muy reciente, sus orígenes no van más allá del Pleistoceno, es decir después de las últimas glaciaciones. Por otro lado, las condiciones climáticas en estas zonas como las escasas precipitaciones durante gran parte del año, inciden sobre la mineralización y desarrollo del suelo, además la influencia del clima determina una baja cobertura vegetal y por consiguiente pobres contenidos de materia orgánica, situación que se refleja en la baja productividad y alta fragilidad frente a los procesos erosivos.

Sin embargo, la presencia de material arcilloso como componente invariable del suelo, suple de alguna manera esta deficiencia, especialmente desde el punto de vista de las propiedades químicas.

Las arcillas contenidas en los suelos, resultan de la alteración de algunos minerales primarios como feldspatos, anfíboles y otros, y su posterior transformación o neoformación en arcillas. En algunos casos ya se encuentran formando parte de algunas rocas como los granitos alterados, lutitas, etc. Son minerales secundarios de pequeñas partículas, pertenecientes a la subclase de los filosilicatos, es decir son aluminosilicatos hidratados, cuya fórmula general es $n \text{SiO}_2 \cdot m \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot p \text{H}_2\text{O}$, con estructura en hojas (filo = hoja), cuyos espaciamentos y contenidos en los espacios interlaminares son característicos para cada tipo de arcilla.

Estas arcillas junto al humus forman la parte más activa del complejo absorbente del suelo, gracias a las propiedades coloidales que le confieren cargas eléctricas y que influyen en sus propiedades químicas y físicas. Las arcillas por sus dimensiones, alta superficie específica y propiedades para intercambiar iones con las soluciones del suelo, son de gran importancia para la nutrición de las plantas y cultivos. En este sentido Dinchev 1972, indica que en algunos países como los EUA, la identificación de la mineralogía de las arcillas del suelo también es determinante para el mejoramiento de la fertilidad de los suelos ácidos a través del encalado.

La presencia de arcillas de neoformación en el suelo, son el resultado de procesos químicos, físicos y biológicos complejos que se dan en el medio, donde intervienen diferentes factores. Gorbunov (1957) considera que los factores de neo-formación de las arcillas son similares a los factores de formación de los suelos. Grim (1953) hace notar que el origen y carácter de las arcillas del suelo dependen del

material de origen, clima, relieve, permeabilidad, vegetación y época en la cual el proceso de formación tuvo lugar.

Si bien la determinación de las arcillas del suelo, no es un análisis de rutina, es importante conocer la naturaleza y características de estos minerales. Sin embargo, resulta bastante compleja su determinación debido a que estas se encuentran en forma de mezclas de diferentes arcillas, con diferente grado de cristalización y presencia de minerales primarios.

En el país se han realizado algunos estudios sobre la mineralogía de las arcillas, como los de Montes de Oca (1964), Castaños (1973) y García (1985), estos estudios han estado orientados al campo de la aplicación, como la industria del cemento, construcción, cerámica, ingeniería, geología, etc. Hasta el presente no se conocen en Bolivia publicaciones referidas a la mineralogía de arcillas, aplicadas específicamente al campo de la edafología y agronomía. Por esta razón, la finalidad del trabajo es conocer el tipo de arcillas presentes en los suelos estudiados y relacionarlas con las características agronómicas y fertilidad.

Los objetivos del presente trabajo son caracterizar siete suelos del bloque andino oriental, desde el punto de vista de sus propiedades físicas y químicas; determinar la mineralogía de las arcillas presentes en estos suelos, sus características y naturaleza y relacionar la presencia de arcillas con la fertilidad del suelo.

MATERIALES Y METODOS

El presente estudio fue realizado tomando siete muestras de suelos provenientes de diferentes lugares del bloque andino oriental, tal como se describe en el cuadro 1.

CUADRO 1. Procedencia de las muestras de suelo

Muestra	Procedencia
Muestra 1	(Aucapata) Prov. Muñecas - Dpto. La Paz.
Muestra 2	(Tarata), Prov. E. Arce- Dpto. Cochabamba
Muestra 3	(Totora), Prov. Carrasco - Dpto. Cochabamba
Muestra 4	(Capinota), Prov. Capinota - Dpto Cochabamba
Muestra 5	(Quillacollo), Prov. Quillacollo - Dpto. Cochabamba
Muestra 6	(Yotala), Prov. Oropeza - Dpto. Chuquisaca
Muestra 7	(Valle grande), Prov. Valle Grande - Dpto. Santa Cruz (Riego)
Muestra 8	(Valle grande), Prov. Valle grande - Dpto. Santa cruz (Secano)

Muestra 1. Aucapata, área ubicada en la ladera oriental de la Cordillera Oriental, según Holdridge (1975) esta zona corresponde a la zona de vida bosque muy húmedo, piso montano bajo, región subtropical. (bmh-MB-ST). Son valles profundos generalmente escarpados a muy escarpados, el material parental de los suelos está constituido por clastos de areniscas, lutitas y esquistos, pertenecientes a rocas de edad ordovícica, está ubicada a 2700 msnm, con precipitaciones que alcanzan los 800 mm aproximadamente.

Muestra 2. Tarata, proveniente del valle alto de Cochabamba, área clasificada como estepa espinosa, piso montano bajo de la región subtropical (ee, MB-ST), caracterizada por ser un valle ancho casi plano situado a una altura de aproximadamente 2435 msnm, con colinas moderadamente escarpadas en sus alrededores. Los materiales de partida son pizarras, areniscas y lutitas ordovícicas.

La precipitación promedio anual es de 485 mm y su temperatura media anual de 17.3°C, presentando un déficit de humedad la mayor parte del año.

Muestra 3. Muestra de las cercanías de Totora, valle circundado de serranías, con topografía ondulada, altura que varía entre 2200 a 3500 msnm, según Holdridge (1975) esta área pertenece a la zona de vida bosque seco, montano bajo, subtropical (bs-MBST). La precipitación anual alcanza los 573 mm y la temperatura media anual es de 16.1°C.

Muestra 4. Tomada en el valle de Capinota, entre la confluencia de los ríos Arque y Caine. De acuerdo a Holdridge, el área corresponde a la zona de vida estepa espinosa, piso montano bajo, subtropical (ee-MBST). En general, el paisaje es ligeramente ondulado y está circundado por una serie de serranías muy pedregosas de pendientes escarpadas. El material parental son lutitas y areniscas ordovícicas y devónicas. En el área las precipitaciones anuales alcanzan los 443 mm y la temperatura media anual es de 18°C.

Muestra 5. Quillacollo, muestra proveniente del valle central de Cochabamba, área ubicada entre la transición de las zonas de vida estepa espinosa y bosque seco, piso montano de la región subtropical. Valle amplio con una altura sobre el nivel del mar de aproximadamente 2550 m, topografía plana a casi plana, que se eleva gradualmente hacia las colinas y la cordillera del Tunari. Los suelos del piedemonte y la planicie se han formado a partir de materiales coluviales y coluvio aluviales, arrastrados de la cordillera, donde predominan las lutitas, areniscas y limolitas ordovícicas y siluricas. La precipitación anual alcanza los 470 mm y la temperatura media anual es los 19.9 °C.

Muestra 6. Yotala, meseta situada en el área de transición entre bosque seco y húmedo de la región templada, su fisiografía se caracteriza por ser una meseta combinada con colinas cuyas alturas fluctúan entre 2200 a 3000 msnm. El material predominante corresponde a lutitas ordovícicas. La precipitación media anual es de 608 mm y la temperatura media anual de 15.5°C.

Muestras 7 y 8. Valle Grande, muestras tomadas en la provincia del mismo nombre, en el departamento de Santa Cruz. Zona ubicada según Holdridge en la región templada de bosque seco (bs-TE), con colinas irregulares cuyas pendientes son suaves a muy escarpadas, el material parental de los suelos son sedimentos formados por lutitas y areniscas devónicas o permocarboníferas. La precipitación media anual es de 600 mm y la temperatura media anual de 16°C.

Para caracterizar a los suelos desde el punto de vista agronómico y evaluar la composición de sus arcillas, se muestrearon los horizontes superficiales (capa arable), a profundidades que fluctuaban aproximadamente desde 0 a 20 cm.

Para realizar los análisis de suelos convencionales, primero se separó la tierra fina (fracción < 2 mm) del resto del material más grueso por tamizado, mientras que para determinar la mineralogía de las arcillas las partículas < 0.001 mm de diámetro se extrajeron de la tierra fina con ayuda de la pipeta de Robinson, previo lavado de los carbonatos con HCl y agua destilada, la materia orgánica fue eliminada con agua oxigenada.

Esta fracción de partículas, luego de su sedimentación, fueron coaguladas con ayuda de Cl_2Mg y luego lavadas varias veces con agua destilada en una centrifugadora (Sirovy, 1966). Para la determinación de las arcillas con rayos X, se prepararon muestra "orientadas" en pequeños portaobjetos por sedimentación y luego tratadas (saturadas) con Mg, Mg + glicerina y K calcinado a 500°C respectivamente.

La determinación de las características físico-químicas de los suelos estudiados y las arcillas fueron realizadas en el laboratorio de suelos de la Escuela Superior de Agricultura de Praga, República Checa y los métodos utilizados para este fin fueron los siguientes:

Color del suelo : Tabla Munsell

Textura : Pipeta de Robinson

pH (H₂O y KCl) : pH-Metro

Materia orgánica : Walkley and Black.

TBI : Acetato de amonio

CIC : Jackson

Fósforo disponible : Egner

Arcillas Mineralógicas :Análisis Térmico Diferencial (DTA) y Termogravimétrico (TG)

Equipo : Derivatografo MOM Magiar Optik- Mikov 831707, de acuerdo a metodología de F. Paulik; J. Paulik y L. Erdey 1964.

Difracción de Rayos X (DRX)

Equipo: DRON -1 con las siguientes condiciones de operación: 30 kV, 13 mA, desplazamiento 1°/minuto.

RESULTADOS

Los suelos estudiados presentan las características físico-químicas resumidas en los cuadros 2, 3 y 4.

CUADRO 2. Color del suelo.

N° de muestra y localidad	Color del suelo (seco)
1 – Aucapata, La Paz	10YR 4/4pardo amarillento oscuro
2 – Tarata, CBBA	10 YR 5/3 Pardo
3 – Totora, CBBA	10 YR 7/4 Pardo muy pálido.
4 – Capinota, CBBA	10 YR 6/3 Pardo pálido
5 – Quillacollo, CBBA	2,5 YR 5/4 Pardo rojizo claro
6 – Yotala, Chuquisaca	5 YR 6/4 Pardo rojizo claro
7 – Valle Grande, Sta. Cruz	7,5 YR 5/4 Pardo
8 – Valle grande, Sta. Cruz.	7,5 YR 4/4 Pardo oscuro

CUADRO 3. Propiedades físicas.

N° de Muestra	Textura %			Presencia de grava	Clasificación textural
	Arena	Limo	Arcilla		
1 Aucapata	59	13	28	Si	FYA
2 Tarata	38	36	26	No	F
3 Totora	56	27	17	No	FA
4 Capinota	67	22	11	No	FA
5 Quillacollo	60	15	25	No	FYA
6 Yotala	63	19	18	Si	FA
7 Valle grande	57	20	23	No	FYA
8 Valle grande	50	21	29	No	FYA

CUADRO 4. Propiedades químicas.

N° Muestra	CO ₃ ⁼	PH		Cationes de cambio cmol (+) Kg ⁻¹					TBI cmol (+) Kg ⁻¹	CIC cmol (+) Kg ⁻¹	M.O. %	V %	P Disp ppm
		H2O	KCl	Ca.	Mg.	K.	Na.	H					
1	----	5.50	5.35	13.0	1.0	0.24	0.26	3.20	14.50	17.70	3.20	81.9	3.60
2	----	7.22	6.60	5.6	3.0	0.30	0.30	0.80	9.20	10.00	0.72	92.0	1.53
3	----	5.87	5.30	2.4	1.3	0.51	0.28	2.40	4.49	6.89	0.65	65.2	3.20
4	----	6.95	6.50	4.3	3.2	0.23	0.29	1.20	8.02	9.22	0.69	87.0	0.87
5	Si	7.80	7.20	7.8	3.7	0.50	0.40	0.80	12.40	15.20	1.12	81.6	2.18
6	----	7.15	6.55	7.0	0.5	0.54	0.36	2.00	8.40	10.40	1.14	80.8	1.09
7	----	7.00	6.52	7.5	3.0	0.24	0.24	2.40	10.98	13.38	1.26	82.1	1.31
8	----	7.15	6.77	17.0	2.5	0.60	0.25	1.60	20.35	21.95	2.57	92.7	7.42

Como las muestras estudiadas provienen de diferentes lugares del bloque andino oriental de Bolivia, es decir de la Cordillera Oriental y Faja Subandina, los suelos presentan diferentes propiedades físicas y químicas, debido a la altura sobre el nivel del mar, ubicación en el paisaje, condiciones climáticas, erosión, deposición de materiales, drenaje, uso de la tierra y otros factores.

Todos los suelos estudiados presentan mayor contenido de arena, en relación a la arcilla y el limo (Cuadro 3), esto se debe a que estos suelos se han formado a partir de materiales parentales transportados por procesos fluviales y/o coluvialuviales, donde predominan areniscas del ordovícico, por lo tanto estos suelos presentan baja capacidad para retener nutrientes y agua. Mientras que en las muestras de Aucapata (muestra 1), Quillacollo (5), Vallegrande (7 y 8) le sigue en importancia a los contenidos de arena la arcilla, formando suelos franco arcillo arenosos y por lo tanto con mejor capacidad de retención de humedad. Estos mayores contenidos de fracción fina se pueden deber a que estos suelos, están ubicados en áreas de inundación (Quillacollo y Valle grande) y en el caso de Aucapata, a que los suelos provienen también de materiales parentales ricos en esquistos y lutitas. Las muestras de Totora (3), Capinota (4), Yotala (6) y Tarata (2) presentan mayores contenidos de limo que arcilla, por lo tanto son suelos con menor fertilidad natural y más susceptibles a la erosión eólica e hídrica, debido a la baja cohesividad.

La reacción de los suelos estudiados es en general neutra (Tarata (2), Capinota (4), Yotala (6), Valle grande (7 y 8)), por consiguiente, tienen un pH adecuado para la mayoría de los cultivos, incide

positivamente en la disponibilidad de la mayoría de los nutrientes y las condiciones son adecuadas para el desarrollo de los microorganismos del suelo. La muestra 1, de Aucapata, tiene una reacción moderadamente ácida, por que las precipitaciones en estas zona son mayores que en el resto de las áreas estudiadas, además la muestra proviene de un suelo de ladera y por consiguiente tiene un mejor drenaje externo e interno, facilita el lavado de iones, mientras que la muestra (5) de Quillacollo es ligeramente alcalina, coincidiendo con los estudios realizados por Cochrane et al. (1973), principalmente este hecho se debe a las características de los suelos de la llanura aluvial (textura fina, planos a casi planos y drenaje pobre). Por otro lado, el suelo de Vallegrande, bajo riego (7), muestra mayor acidez en relación al suelo a secano (8).

El contenido de materia orgánica en la mayoría de los suelos de los valles de Cochabamba y Chuquisaca, considerados en el presente estudio, está entre límites muy bajos a bajos debido en primer lugar a que estos suelos son utilizados en la agricultura por decenas de años, sin la reposición e incorporación adecuada de materia orgánica y nutrientes y por otro lado el escaso barbecho que es dejado sobre los suelos es utilizado como forraje para los animales en la época seca del año. Las condiciones climáticas con varios meses secos y fríos impide además una actividad microbiológica adecuada que facilite la mineralización de los restos orgánicos y formación del humus. En las muestras 1 de Aucapata y 8 de Valle Grande, el contenido de materia orgánica es moderado a alto respectivamente, en Aucapata esto se puede deber a la incidencia de su mayor altura sobre el nivel del mar, donde gracias a las mayores precipitaciones, existe una mayor cobertura vegetal y las temperaturas promedio son menores, impidiendo una mineralización rápida. Así mismo, el uso de los suelos no es tan intensivo como en los valles de Cochabamba y de Sucre (Yotala).

La Capacidad de Intercambio Catiónico (CIC), en los suelos provenientes de Aucapata muestra (1) Quillacollo (5) y Valle Grande (7 y 8), es moderada por los mayores contenidos de arcilla y materia orgánica que presentan estas muestras, en relación a las muestras de Tarata (2), Totorá (3), Capinota (4) y Yotala (6) que tienen una CIC baja.

El Total de Bases Intercambiables (TBI) es moderado para la mayoría de las muestras estudiadas (1, 2, 4, 5, 6 y 7), a excepción de las muestra 3 (Totorá) donde es bajo y alto en la (8) de Valle grande. El contenido de bases bajo en los suelos de Totorá se debe a que este suelo tiene una baja capacidad de retención de nutrientes por su bajo contenido de arcilla y materia orgánica y por otro al carácter explotativo de la agricultura en los andes. Mientras que en la muestra de Valle Grande este valor es alto por que los suelos tienen mayor capacidad de retención de nutrientes gracias a que esta muestra presenta los mayores niveles de arcilla y materia orgánica y que no esta sometida al riego como en el caso de la otra muestra de Valle Grande (7).

El contenido de calcio intercambiable en las muestras 1, 2, 5, 6 y 7 es moderado, en la muestra 8 es alto, mientras que en la muestra 3 de Totorá es bajo. El contenido de magnesio es moderado en las muestras 2, 4, 5, 7 y 8 y bajo en las muestras 1, 3 y 6. Si analizamos la relación Ca / Mg , ideal para la nutrición de los cultivos, que debería existir en un suelo (entre 2 a 6), sólo se encuentra esta relación en las muestras 5 y 6, mientras que esta relación en los suelos de Tarata (2), Totorá (3) y Capinota (4) es menor a dos, es decir que existe un exceso de magnesio que puede provocar ciertos problemas de toxicidad. Por otro lado existe déficit de magnesio ($Ca/Mg > 6$) en las muestras 8 y 1.

El contenido de potasio intercambiable en los suelos estudiados, fluctúan entre moderados (muestras 1, 2, 4, 5 y 7) y altos (muestras 3 y 8), corrobora la mayoría de los trabajos de suelos de estos lugares. Esta situación es explicada por la presencia de illita como principal mineral de arcilla en los suelos estudiados. Como existe un antagonismo marcado entre el K y Mg, especialmente cuando la relación Ca/Mg esta por debajo de 0.1 y por encima de 0.6, es necesario indicar que las muestras (1, 2, 3, 5 y 8) están dentro de estos límites, mientras que la muestra 6 está por encima de 0,6 lo que significa una deficiencia de Mg, mientras que en las muestras 4 y 7, esta relación está por debajo de 0,1 lo que puede conducir a observar la relación Ca/Mg .

El contenido de sodio intercambiable en los suelos estudiados es bajo para la mayoría de las muestras, solo en el caso de las muestras 5 de Quillacollo y 6 de Yotala los valores son moderados, situación que si empeora con el tiempo puede incidir negativamente sobre las propiedades físicas y químicas del suelo y por consiguiente sobre la fertilidad.

El grado de saturación de bases de estos suelos en la mayoría de los casos es alto, con valores mayores al 80%, solo en el caso de la muestra 3 de Totorá el grado de saturación de bases es medio.

El contenido de fósforo disponible en todas las muestras estudiadas es muy bajo a bajo, solo en la muestra 7 de Valle Grande es moderado, factor limitante dentro de la producción agrícola.

Características mineralógicas de las arcillas

Debido a la incidencia de los diferentes tipos de arcillas contenidas en los suelos sobre las propiedades físico-químicas y por ende sobre la fertilidad del mismo, es importante mencionar que el término "arcilla" tiene dos acepciones, por una parte, en sentido mineralógico se refiere a un subgrupo de los llamados "silicatos", caracterizados por tener unidades estructurales tetraédricas y octaédricas dispuestas en capas o mantos, de donde deriva su nombre de filosilicatos, las mismas poseen propiedades coloidales. En el sentido granulométrico, cuando las fracciones del suelo son inferiores a dos micrones, en este caso preferentemente se le designa con el nombre de "material arcilloso", este material forma parte de los suelos junto con otros componentes como el limo, arena, gravas, piedra y materia orgánica.

El comportamiento físico-químico de las fracciones finas (arcilla) del suelo, difieren radicalmente de las fracciones gruesas, en lo referente a su consistencia (cohesividad, adhesividad y plasticidad) y a sus propiedades químicas, debido al tamaño de las partículas que le infieren una alta superficie específica (relación de área de la partícula versus peso o volumen) y a sus fuerzas de origen electromagnético.

En el cuadro 5 se dan algunos datos de las superficies específicas (S.E) para algunos componentes comunes del suelo.

CUADRO 5. Superficies Específicas (S.E.) para algunos componentes del suelo.

Componente	S.E (m ² .g ⁻¹)
Arena Fina	0.03
Caolinita	10
Illita	100
Montmorillonita	1000

Fuente: Lembe 1972.

Por otra parte como las partículas de arcilla presentan cargas positivas y principalmente negativas, producto de las sustituciones isomórficas en los tetraedros/octaedros y degradaciones físico-químicas (alteración y meteorización), estas tienden a neutralizarse gracias a la atracción que ejercen sobre los iones de la solución del suelo mediante enlaces poco consistentes, de modo que a su vez, estos iones pueden ser sustituidos en forma equivalente por otros. Esta propiedad llega a ser de suma importancia para la fertilidad del suelo por que permite la retención de nutrientes y agua para las plantas.

Este intercambio o reemplazamiento de iones ha permitido la introducción del término "Iones Intercambiables". La cantidad de iones intercambiables que puede retener una determinada arcilla varía de acuerdo al tipo de arcillas y es medido por la Capacidad de Intercambio Iónico o más específicamente por la Capacidad de Intercambio Catiónico (CIC) o Capacidad de Intercambio Aniónico (CIA). A modo de ejemplo, en el cuadro 6 se presentan los valores de la CIC para algunas arcillas comunes en los suelos.

CUADRO 6. Capacidad de Intercambio Cationico (CIC) para arcillas comunes de suelos.

Tipo de Arcilla	CIC cmol (+) kg ⁻¹
Caolinita	3-15
Illita	10-40
Montmorillonita	80-150
Clorita	10-40

Fuente : Scheffer y Schachtschabel 1966.

Los valores dados en el cuadro 6 tiene rangos variables, debido a que la CIC al igual que la CIA dependen de muchos factores, entre ellos el pH del medio, grado de cristalinidad y tamaño de las partículas. Los cationes retenidos con más frecuencia en los suelos del altiplano y valles son el Ca, Mg, K y Na, seguidos de otros cationes secundarios, mientras que los aniones más importantes desde el punto de vista agronómico son el H₂P04⁻, HP04²⁻, P04³⁻, SO4²⁻, N03⁻, etc.

En este sentido, las arcillas contenidas en el suelo, juegan un papel importante en la retención de iones intercambiable, útiles para la nutrición de las plantas. La naturaleza de las arcillas varía de acuerdo a las características del clima, material parental, drenaje, topografía, etc., es necesario

conocer no solo el carácter del material arcilloso, sino también su composición mineralógica para incidir de mejor manera en la fertilidad de los suelos .

Composición mineralógica de las arcillas

Para el estudio de la mineralogía de las arcillas, se ha utilizado el método de difracción de rayos X (DRX) . Se utiliza este método porque llega a ser uno de los más confiables en la identificación de diferentes tipos de arcilla. Como se mencionó anteriormente las arcillas son compuestos clasificados como aluminosilicatos hidratados formados por unidades estructurales de tetraédros y octaédros, formando capas o mantos, que frente a un haz de radiación X dirigida, se comportan como “espejos” que cuando se cumplen ciertas condiciones hacen rebotar estos rayos en diferentes niveles estructurales.

De este modo, aplicando las relaciones establecidas por Bragg, en su conocida “Ley de Bragg” , podemos determinar el espesor de las capas o planos (distancias interplanares “d”) en direcciones preferenciales, porque la muestra está orientada. Los juegos de valores “d” obtenidos para cada muestra según su tratamiento realizado son característicos y únicos para cada compuesto, de modo conociendo esos valores “d”, podemos saber de que arcilla se trata cuando confrontamos con una ficha estandar. Por ejemplo , la illita tiene una distancia interplanar de 10 Å, la caolinita en forma similar presenta su valor típico a 7.2 Å y la montmorillonita a 14 Å .

En otras palabras, el registro de una misma muestra de arcilla bajo tres estados diferentes de tratamiento (saturación) con Mg, Mg-glicerina y K calcinado respectivamente, permite definir los comportamientos de las distancias interplanares en planos típicos del mineral, aprovechando que ciertos tipos tienen la capacidad de introducir entre la capas iones de elementos de saturación en tanto que otros no y con ello llegar a su identificación precisa.

De acuerdo a los difractogramas de cada uno de los suelos estudiados (Figuras 1 y 2) y al análisis correspondiente, se puede indicar que las arcillas presentes en las muestras son las siguientes :

Suelo 1 (Aucapata): En este suelo la arcilla predominante es la illita (10 Å) , seguida de pequeñas cantidades de caolinita (7.2 Å) y cloritas (14 Å) .

Suelo 2 (Tarata): En este suelo la arcilla mineralógica predominante es la illita (10 Å), por la existencia de micas en las rocas del área que se han ido transformando en illitas, gracias a la pérdida de ciertas cantidades de potasio de sus espacios interlaminares. Luego se encuentra en pequeñas cantidades la caolinita (7.2 Å) cuya expansión es mínima para cada tratamiento y montmorillonita (18 Å), donde se logra la máxima expansión de sus espacios interlaminares al saturar la muestra con magnesio y glicerina.

Suelo 3 (Totora) : Predomina la illita (10 Å) y luego la caolinita.(7.2 Å)

Suelo 4 (Capinota) : En este suelo existe especialmente illita y luego en menores proporciones , caolinita y montmorillonita (18 Å) el mismo que es posible distinguir por el desplazamiento de su pico (14 Å) gracias al tratamiento con Mg-glicerina.

Suelo 5 (Quillacollo) : En este suelo predomina la illita y luego la caolinita.

Suelo 6 (Yotala) : La illita es la arcilla más abundante seguida de menores cantidades de caolinita

Suelo 7 (Valle Grande): Este suelo contiene illita y en cantidades menores caolinita y cloritas (14 Å).

Suelo 8 (Valle Grande) : La illita es la principal arcilla, seguida de pequeñas cantidades de caolinita.

Análisis térmico diferencial (DTA) y térmico gravimétrico (TG)

Los análisis térmico diferencial y termogravimétrico son métodos complementarios que permiten corroborar los análisis de arcillas realizadas con difracción de rayos X y estudiar otras propiedades. Estos métodos consisten en registrar los cambios de temperatura y peso o masa respectivamente, que sufre la muestra en comparación a un estándar inerte mientras ambas son calentadas gradualmente.

Estos cambios relativos en la muestra, para el caso del Análisis Térmico Diferencial (DTA), son resultados de reacciones internas (endotérmicas y exotérmicas) que ocurren a temperaturas características para cada tipo de arcillas y que son registradas en un gráfico con picos negativos (absorción de calor) o picos positivos (desprendimiento de calor) a partir de una línea base que en este caso representa el comportamiento del estándar.

Por otra parte, como cada reacción registrada en el DTA, es acompañada por un desprendimiento de elementos volátiles desde la muestra, esta sufre una pérdida de peso que también puede ser registrada en el equipo de Análisis Térmico Gravimétrico (TG). De este modo conociendo los puntos de reacción es posible identificar las arcillas presentes en la muestra, así como cuantificar el porcentaje de pérdida de masa que esta sufre.

Las muestras de suelos analizadas por estos métodos en el presente estudio han sido realizadas sobre el material arcilloso, se ha utilizado la fracción < 0,001 mm. Los resultados obtenidos se presentan en las figuras 3 y 4. En el cuadro 7 se resume los valores relacionados con las reacciones endotérmicas y exotérmicas y además se los puede comparar con los valores registrados para una muestra de illita pura proveniente de la localidad de Vorsov-República Checa.

La comparación de los valores de temperatura máximas en el proceso de deshidratación como de deshidroxilación en todas las muestras incluyendo la illita pura, muestran entre ellos plena correspondencia, mientras que la temperatura que corresponde a la salida de los volátiles por presencia de materia orgánica, sesquióxidos y otros, como es de esperar, no se registra en la arcilla pura. Todo ello indica que la arcilla principal en todos los suelos estudiados es la illita, corroborando de este modo la determinación por Difractometría de rayos X.

Por otra parte, los valores de los rangos de temperatura y la respectiva superficie en cm² son evidentemente amplios y variables, pero este hecho se debe a una serie de factores, sobre todo físicos, que van desde el tamaño de grano y composición de la muestra, hasta la forma en que han sido "empaquetados" (colocación de la muestra en el portamuestra del equipo), razón por la cual las implicaciones físico químicas pueden ser difíciles de determinar.

Similares observaciones se hacen para los resultados obtenidos cuando se analiza los cambios gravimétricos (Cuadro 8) en los que también se evidencia la correspondencia con la illita de la muestra pura y las muestras de suelos respectivas.

CUADRO 7. Detalle de los cambios térmicos según el método Diferencial Térmico Analítico (DTA) en arcillas del Bloque Andino Oriental de Bolivia.

Muestra N°	Deshidratación			Materia Orgánica + Sesquioxidos			Deshidroxilación		
	Amplitud °C	T. Máxima °C	Superficie cm ²	Amplitud °C	T. Máxima °C	Superficie cm ²	Amplitud °C	T. Máxima °C	Superficie cm ²
1									
2	20-180	140	1,62	180-520	320	20,80	520-710	560	2,40
3	20-180	120	2,40	180-510	330	18,15	510-680	550	1,62
4	20-190	140	3,24	190-510	330	13,50	510-710	560	2,40
5	20-200	140	3,81	200-520	320	17,88	520-700	560	2,10
6	20-190	140	3,60	190-520	310	22,44	520-700	540	1,14
7	20-190	140	1,92	190-540	330	21,72	540-620	570	1,17
8	20-180	120	2,82	180-520	320	21,57	520-670	550	1,32
Illita-Vorsov Rep. Checa	20-230	140	6,2				500-620	550	2,46

* Muestra insuficiente

CUADRO 8. Detalle de los Cambios Gravimétricos (TG) en arcillas del Bloque Oriental de los Andes Bolivianos.

Muestra N°	1er Cambio Gravimétrico		2do. Cambio Gravimétrico		3er. Cambio Gravimétrico		4to. Cambio Gravimétrico		Cambio Gravimétrico Total en %
	Amplitud de Cambio °C	% del Cambio	Amplitud de Cambio °C	% del Cambio	Amplitud de Cambio °C	% del Cambio	Amplitud de cambio °C	% del Cambio	
1									
2	20 - 200	4,5	200 - 440	3,7	440 - 700	4,9	700 - 1000	0,4	13,5
3	20 - 180	4,1	180 - 400	5,3	400 - 730	6,4	730 - 1000	0,5	16,3
4	20 - 210	4,5	210 - 400	3,5	400 - 740	5,7	740 - 1000	0,4	14,1
5	20 - 210	6,3	210 - 380	3,1	380 - 700	5,3	700 - 1000	0,5	15,2
6	20 - 200	6,1	200 - 370	2,6	370 - 700	7,9	700 - 1000	0,5	17,1
7	20 - 200	4,6	200 - 370	3,6	370 - 710	7,0	710 - 1000	0,6	15,8
8	20 - 200	5,7	200 - 910	12,5	910 - 1000	0,1	-	-	18,3
Illita de Vorsov Rep. Checa	20-280	13,2	280 - 410	1,0	410 - 600	3,8			19,1

Como la illita es la arcilla predominante en todas las muestras de suelos estudiados, es necesario indicar que el origen de estas arcillas coinciden con las afirmaciones de algunos autores que indican que este tipo de arcillas existen con preferencia en los suelos de las zonas semiáridas y áridas y pueden proceder de las micas presentes en los materiales originarios del suelo, tanto si son rocas ígneas, metamórficas (esquistos) o sedimentarias (lutitas) y residuos insolubles de calizas.

La illita es una arcilla mineralógica del tipo 2:1, sus láminas están formadas por una capa tetraédrica la misma que se encuentra rodeada de una capa octaédrica a cada lado. Su fórmula estructural es de $Al_2 Si_4 O_{10} (OH)_2$. Debido de que existe cierta sustitución del Si (uno de cada cuatro) en los tetraedros y la fijación de potasio, da por resultado una estructura teórica $K Al_2 (Al, Si_3)O_{10}(OH)_2$. El déficit de carga queda parcialmente equilibrado con la fijación del potasio en las posiciones interlaminares. En ese sentido estas arcillas no se expanden al añadir agua u otras sustancias orgánicas como la glicerina y por lo tanto su distancia basal es constante (10 Å).

El potasio interlaminares fijado entre los espacios de los paquetes laminares, por lo que en general no es intercambiable y no esta a disposición inmediata de los cultivos, por lo que la CIC es menor, a pesar de los cambios isomórficos que se presentan en las illitas y por consiguiente la CIC es solo del orden del 10 a 40 cmol (+) kg^{-1} .

Como esta arcilla, en comparación con la montmorillonita y humus, no tiene alta capacidad de retención, no aporta significativamente a la fertilidad del suelo.

En lugares más húmedos y de mayor temperatura, el potasio interlaminares de las illitas, puede ser liberado paulatinamente, por lo que este mineral secundario puede jugar un papel nada despreciable como fuente de potasio para las plantas. En ese sentido la mayoría de los trabajos de investigación llevados a cabo por el IBTA en el país sobre la respuesta de los cultivos a diferentes niveles de fertilización, siempre se han orientado más al nitrógeno y fósforo, debido a que los contenidos de potasio en los suelos estaban dentro de valores moderados a altos. Así mismo, la fertilización potásica en este tipo de suelos puede ser de menor efectividad al ser este catión retrogradado por la illita .

Otra de las arcillas presentes en las muestras de los suelos estudiados aunque en menor proporción es la caolinita, aluminosilicato que se caracterizan por sus pobres contenidos de sílice. Están conformadas de una capa tetraédrica unida a una capa octaédrica . Su fórmula estructural es $Al_2 Si_2 O_5 (OH)_4 \cdot nH_2O$ con una relación Si /Al igual a 1.

La caolinita no presenta cambios isomórficos importante y la energía cohesiva que mantiene unida a las láminas es relativamente elevada, lo que impide la hidratación y su expansión. En ese sentido la capacidad de intercambio catiónico (CIC) es baja, entre 1 a 10 cmol (+) kg^{-1} .

Por lo tanto, la caolinita presente en los suelos estudiados no aporta de gran manera a la fertilidad y parece ser más producto de su presencia en las rocas parentales y no así resultado de una meteorización y neoformación elevada como sucede en regiones húmedas tropicales.

La montmorillonita es una de las arcillas más importantes desde el punto de vista de la fertilidad de los suelos, pero solo se presenta en las muestras Tarata (2) y Capinota (4) en pequeñas cantidades y luego de la illita y caolinita . Esta arcilla pertenece al grupo de las esmectitas y se caracterizan por su estructura 2:1 , es decir una lámina tetraédrica rodeada por láminas octaédricas, donde existen importantes sustituciones del Al por el Mg .

Estas arcillas se caracterizan por su alta capacidad de expansión y retracción interlaminares, por el humedecimiento y secado, su capacidad de intercambio catiónico es elevada entre 80 a 150 cmol (+) Kg^{-1} , por consiguiente tienen propiedades coloidales, plasticidad y cohesión elevada.

Las montmorillonitas pueden hallarse en rocas sedimentarias tales como las lutitas y ser heredadas por el suelo en condiciones semiáridas tal como sucede en las áreas de estudio, es decir con procesos de meteorización poco intensos o también pueden resultar de la transformación de las illitas que abundan en los suelos estudiados por pérdida paulatina del potasio interlaminares.

Las cloritas se encuentran en pequeñas proporciones, acompañando a las illitas y caolinita solo en las muestras Aucapata(1) y Yotala(5). Las cloritas son minerales estructuralmente relacionadas con las arcillas 2:1, de los que se diferencian solo por presentar paquetes T-O-T, alternando regularmente con una capa adicional de hidróxidos de Mg como la brucita.

Las cloritas presentes en estos suelos pueden ser de origen primario y son las que se presentan en el material originario (rocas de metamorfismo regional de grado medio y rocas ígneas) por consiguiente son heredadas.

Si comparamos en los diferentes suelos estudiados podemos ver claramente que por el tipo y cantidad de las arcillas que predominan en las muestras (illita y caolinita), los valores de la CIC en general son moderados. Mientras en las muestras donde también existe la montmorillonita no se hace

notorio un cambio significativo de la capacidad de retención, esto debido a que los contenidos de las arcillas tipo 2:1 son muy pequeños y más bien parece que los cambios de CIC en las muestras 1, 7 y 8 se deben a los mayores contenidos de materia orgánica .

CONCLUSIONES

- Las muestras de suelos de Aucapata, Tarata, Totorá, Capinota, Quillacollo, Yotala y Vallegrande, presentan texturas moderadamente gruesas a moderadamente finas, donde la fracción de arena predomina sobre el limo y arcilla, por consiguiente tienen baja capacidad para retener agua y nutrientes .
- La reacción de los suelos estudiados es en general neutra, por consiguiente tienen un pH adecuado para la mayoría de los cultivos ya que incide positivamente en la disponibilidad de la mayoría de los nutrientes, sólo la muestra 1 (Aucapata) presenta una reacción moderadamente ácida y la muestra 5 (Quillacollo) es ligeramente alcalina debido a la incidencia del clima y la topografía.
- El contenido de materia orgánica en la mayoría de los suelos están entre límites muy bajos a bajos, estos suelos han sido utilizados en la agricultura por decenas de años sin la reposición e incorporación adecuada de materia orgánica y nutrientes, sólo en la muestra 1 de Aucapata y 8 de Valle Grande, el contenido de materia orgánica es moderado a alto.
- La Capacidad de Intercambio Catiónico (CIC) en los suelos provenientes de Aucapata muestra (1), Quillacollo (5) y Valle Grande (7 y 8), son moderados, esto se debe a los mayores contenidos de arcilla y materia orgánica que presentan estas muestras, en relación a las muestras de Tarata (2), Totorá (3), Capinota (4) y Yotala (6) que tienen una CIC baja.
- El Total de Bases Intercambiables (TBI) es en general moderado, para la mayoría de las muestras estudiados (1, 2, 4, 5, 6 y 7) a excepción de las muestra 3 (Totorá) donde es bajo y en la (8) Vallegrande que es alto.
- El contenido de calcio intercambiable en las muestras 1, 2, 5, 6 y 7 en generales es moderados, en la muestra 8 es alto, mientras que en la muestra 3 de Totorá es bajo. Por otro lado los contenidos de magnesio son moderados en las muestras (2, 4, 5, 7 y 8) y bajos en las muestras (1, 3 y 6).
- El contenido de potasio intercambiable en los suelos estudiados, fluctúan entre moderado (muestras 1, 2, 4, 5 y 7) y alto (muestras 3 y 8) , lo que corrobora la mayoría de los trabajos de suelos de estas regiones. Esta situación es explicada por la presencia de illita como principal mineral de arcilla en los suelos estudiados.
- El contenido de sodio intercambiable, en los suelos estudiados, es bajo para la mayoría de las muestras, solo en el caso de las muestras 5 de Quillacollo y 6 de Yotala sus valores alcanzan valores moderados.
- El grado de saturación con bases de los suelos estudiados, en la mayoría de los casos es alto, ya que está por encima de 80%, en el caso de la muestra 3 de Totorá la saturación con bases es media.
- El contenido de fósforo disponible en las muestras estudiadas en general es muy bajo a bajo.
- La mineralogía de las arcillas estudiadas con ayuda de los métodos de Difracción de rayos X (DRX) y Análisis Térmico Diferencial-Térmico Gravimétrico (DTA-TG) indica que las arcillas presentes en todos los suelos estudiados es la illita, seguida de cantidades menores de caolinita y en algunos casos también contienen pequeñas cantidades de montmorillonita y clorita.
- Debido a la cantidad y tipo de arcillas presentes en las muestras, contenidos de materia orgánica, textura, contenido de fósforo disponible, etc. , la fertilidad de estos suelos no es elevada.

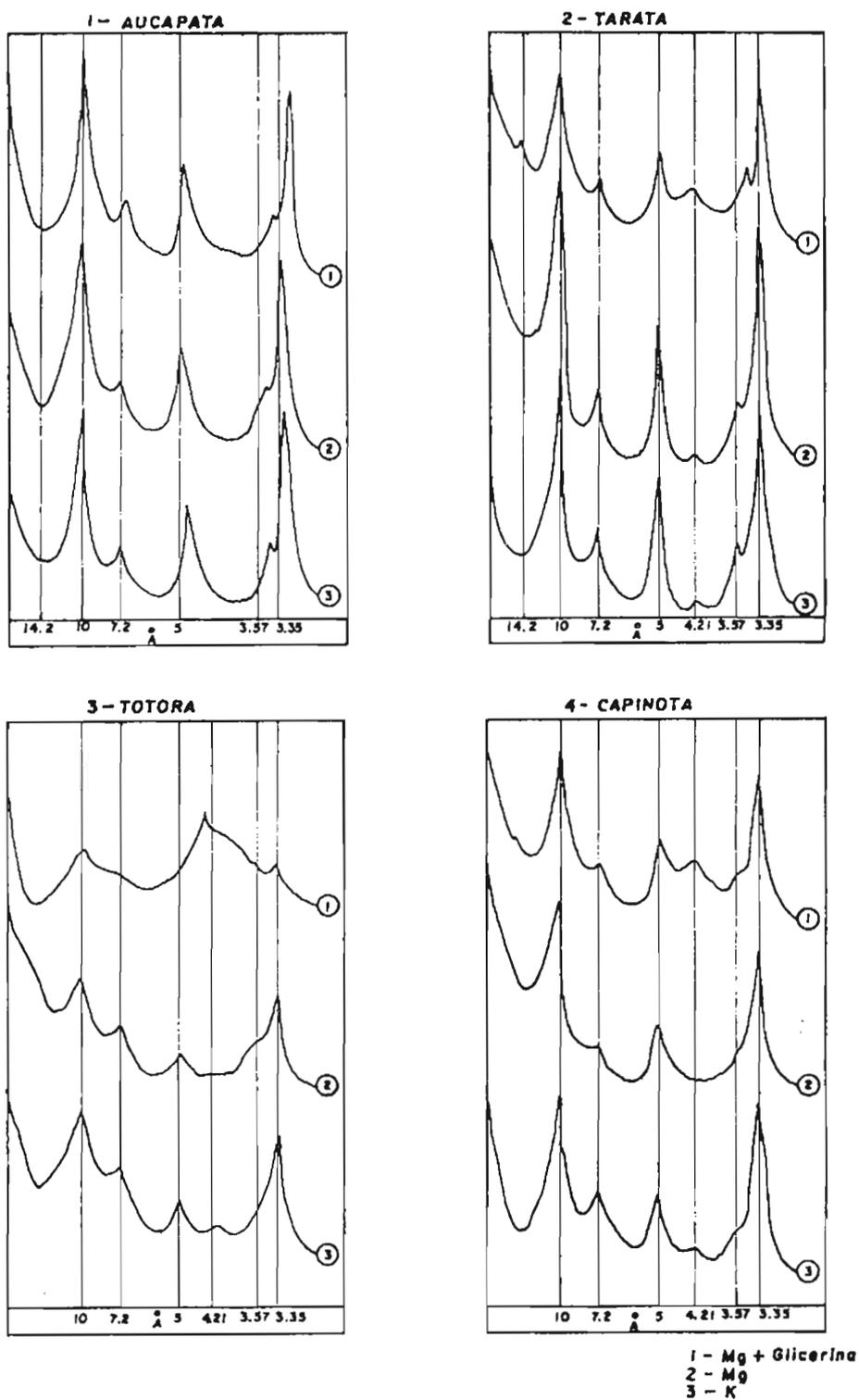


FIGURA 1. Refractometría de arcillas.

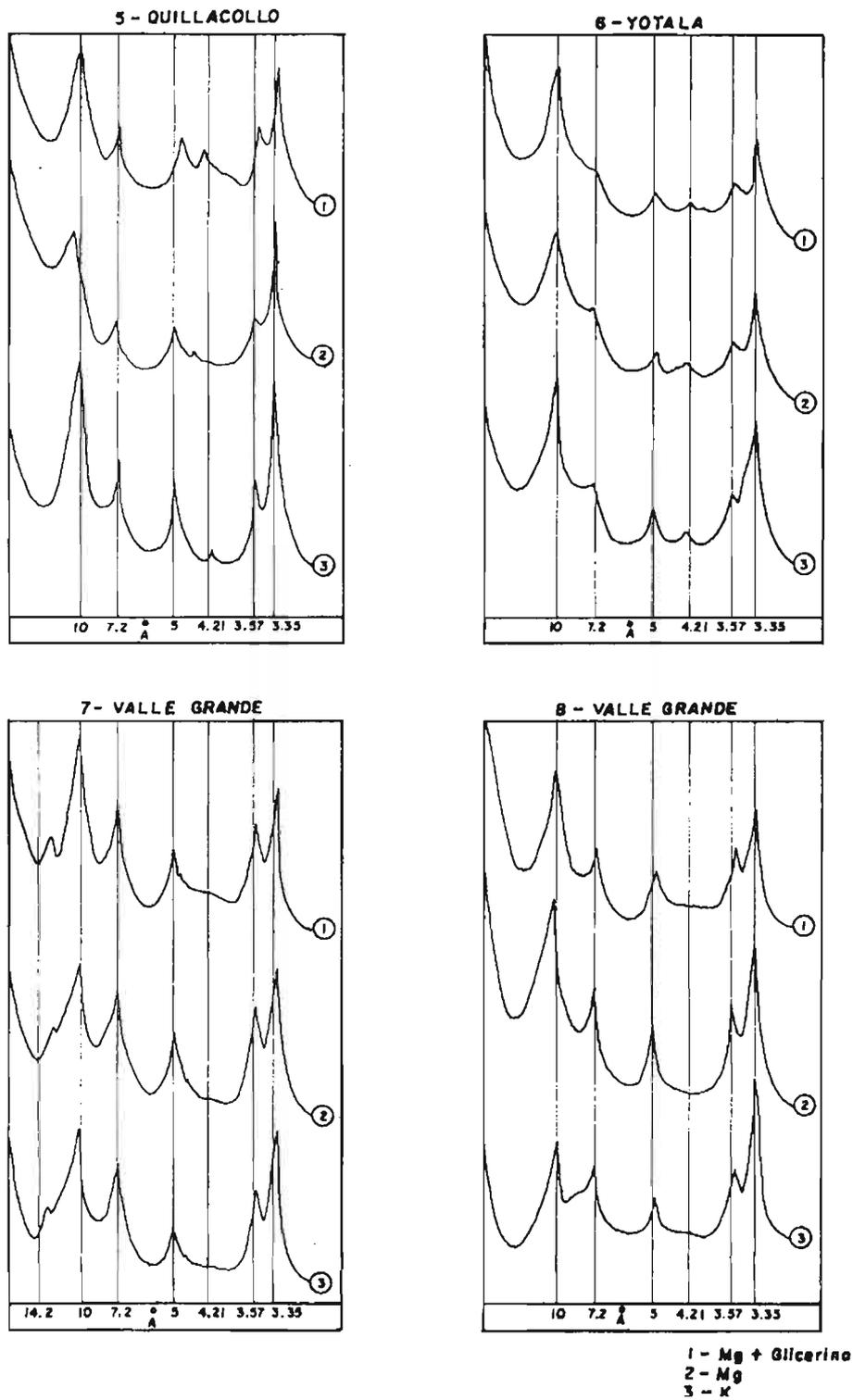


FIGURA 2. Refractometría de arcillas.

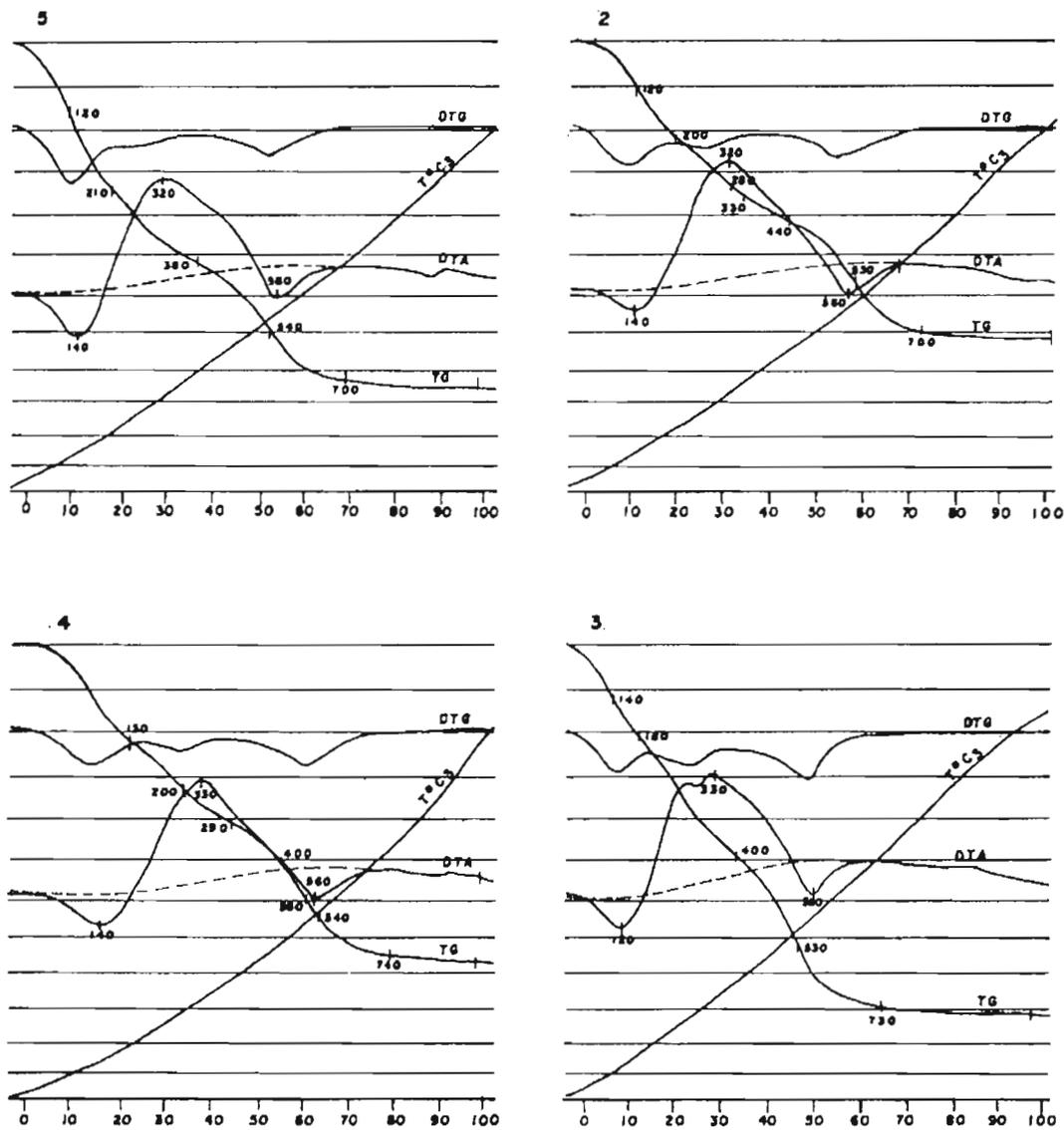


FIGURA 3. Análisis diferencial térmico analítico y termogravimétrico en arcillas.

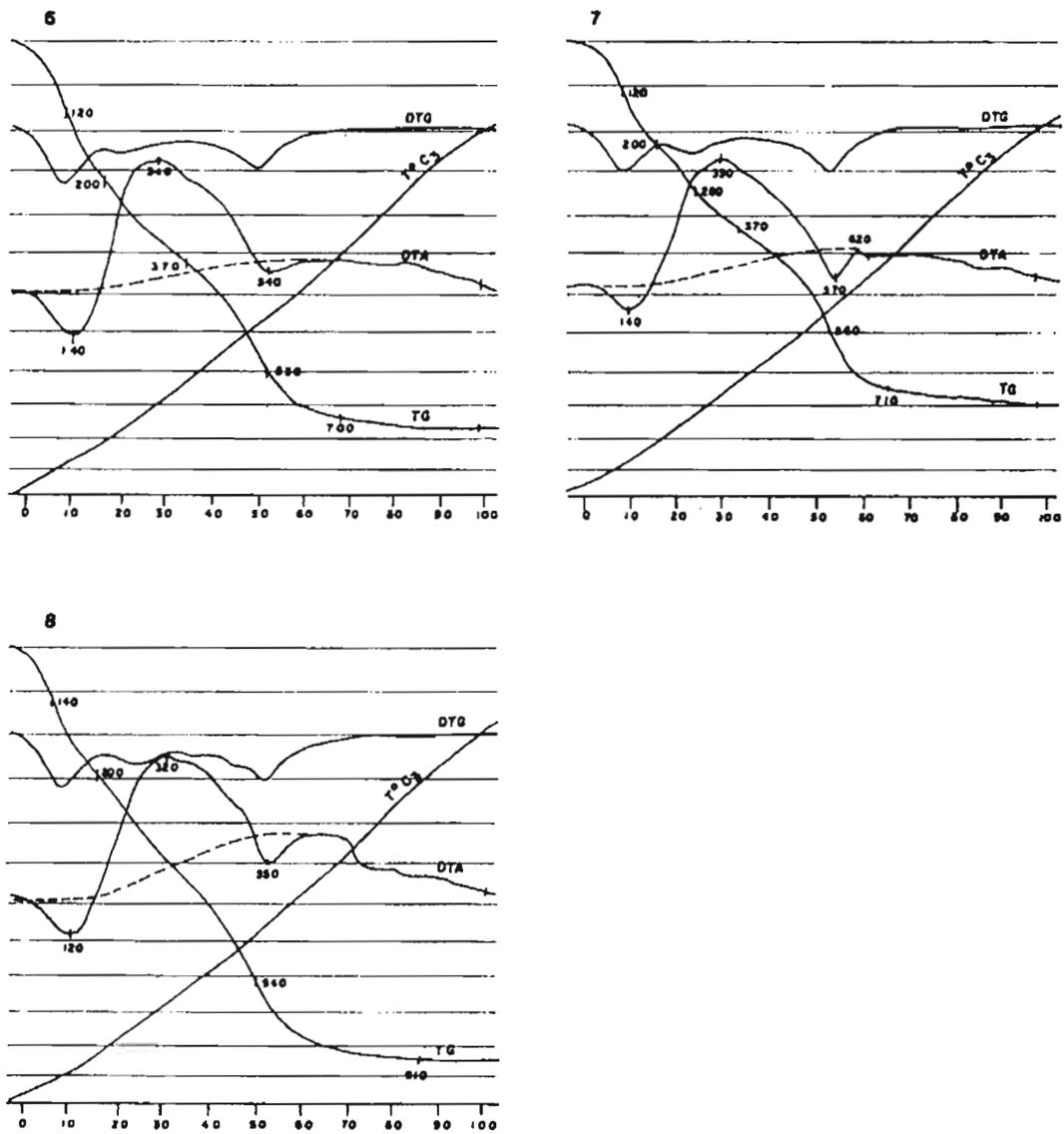


FIGURA 4. Análisis diferencial térmico analítico y termogravimétrico en arcillas.

BIBLIOGRAFIA

Castanos, A., 1973. Algunas consideraciones sobre el estudio de minerales arcillosos. Vol 9 N° 1 , pp 17-29.

Higashi, F. y Blanco M., 1985. Powder difraction DTA and DG data of the common alteration minerals from Bolivian ore deposits. Boletín Informativo IGE-UMSA, N°2.

Gorbunov, N.I. 1957. Poevennyje kolloidy. Moskua.

Grim, R.E., 1953. Clay mineralogy. New York, London.

Olmedo, J. y Paneque, G., 1971. Contenido, distribución y formas del hierro en suelos de Andalucía Occidental. V. Oxidos e Hidroxidos de hierro en la fracción arcilla. Anal. Edafol. Agrobiol , N° 30, pp.665- 680.

Porta, J. , Lopez-Acevedo, M. y Roquero, C., 1994. Edafología para la agricultura y medio ambiente. Ediciones Mundi-Prensa,

Sirovy, V., 1976 . Soil clay fraction composition in relation to some soil properties. Seveth Conference on Clay Mineralogy and petrology , Karlovy Vary- Czechoslovakia, pp. 359-364.

Densidad real en diferentes tipos de suelos de varias provincias de La Paz

Rubén Callisaya Bautista¹

¹ Instituto Boliviano de Ciencia y Tecnología Nuclear. IBTEN. Av. 6 de Agosto N° 2905. Teléfonos 433481-800095. La Paz, Bolivia

RESUMEN

El presente estudio trata de la densidad real del suelo, un parámetro importante para calcular la porosidad total del suelo cuando se conocen los datos de la densidad aparente, obtener la concentración de sólidos suspendidos para la evaluación de la densidad de suspensión y calcular la velocidad de sedimentación de las partículas en los líquidos o gases.

Los suelos presentan variaciones considerables de la densidad, cuyos valores comúnmente están entre 2.60 a 2.75 g.cm⁻³ porque están constituidos de cuarzo, feldespato, silicatos coloides, magnetita, hornblenda y otros. Generalmente para la densidad se toma el valor promedio de 2.65 g.cm⁻³ para relacionar con otros datos de la física de suelos, sin embargo, pueden variar sus valores de acuerdo a los tipos de suelos.

El ensayo tuvo como objetivos determinar la densidad real en diferentes tipos de suelos y establecer las diferencias de la densidad de partículas entre los tipos de suelos.

El trabajo se llevó a cabo en el laboratorio de Física de Suelos del Centro de Investigaciones Nucleares de Viacha, departamento de La Paz. Se utilizaron para el análisis de la densidad 16 muestras de suelo, cada par de muestras corresponde a un tipo de suelo, de tal modo que, se tuvieron ocho tipos de suelos. El diseño experimental que se empleó fue el diseño completamente al azar constituido por ocho tratamientos, con cuatro repeticiones.

Los análisis de la densidad real presentaron los siguientes resultados para cada tipo de suelo: 2.69, 2.67, 2.67, 2.65, 2.64, 2.61, 2.56, 2.56 g.cm⁻³ para los suelos H (YL), E (FYL), A (FA), C (FY), B (F), D (FYA), G (YA) y F (Y) respectivamente.

Con la prueba de Tuckey, se han detectado diferencias estadísticas al comparar los promedios de la densidad real de los diferentes suelos.

INTRODUCCION

La densidad real o densidad de las partículas es una de las propiedades físicas del suelo, esta densidad es la relación de la masa total de los sólidos y el volumen total de ellos. La determinación de la densidad es importante para obtener la porosidad total del suelo cuando se conoce los valores de la densidad aparente, obtener la concentración de sólidos suspendidos para la evaluación de la densidad de suspensión y calcular la velocidad de sedimentación de las partículas en los líquidos o gases.

En los suelos minerales existen variaciones considerables en la densidad real, los valores comúnmente están entre 2.60 a 2.75 g.cm⁻³, debido a que los suelos en su mayoría están constituidos de cuarzo, feldespato y silicatos coloides. En casos excepcionales el valor de 2.75 g.cm⁻³ puede ser superado cuando en el suelo se encuentran minerales pesados como magnetita, granates, zircón, turmalina, epidota y hornblenda.

Generalmente, este parámetro físico no es tomado en cuenta en los estudios del uso y fertilidad del suelo, es decir, habitualmente no se efectúan las determinaciones de la densidad real, asumiendo el valor promedio de 2.65 g.cm⁻³. Sin embargo, comúnmente se realizan las determinaciones de la densidad aparente del suelo. Es importante notar que la densidad de las partículas puede variar en sus valores según el tipo de suelo.

En el presente trabajo se han planteado como objetivos determinar la densidad real en diferentes tipos de suelos y establecer las diferencias de la densidad de partículas entre los tipos de suelos.

Esta investigación se llevó a cabo en el laboratorio de Física de Suelos, que se encuentra ubicado en el Centro de Investigaciones Nucleares de Viacha dependiente del Instituto Boliviano de Ciencia y Tecnología Nuclear (IBTEN).

MATERIALES Y METODOS

En el estudio se han utilizado suelos de diferentes texturas, provenientes de diferentes provincias del departamento de La Paz (Ingavi, Pacajes, Los Andes, Camacho, Iturrealde, Nor Yungas). Se determinó la textura de los suelos (Cuadro 1).

CUADRO 1. Texturas de las diferentes muestras de suelo.

Nº de muestra	Textura	Símbolo
Muestra 1 y 2	Franco arenosa	FA
Muestra 3 y 4	Franco	F
Muestra 5 y 6	Franco arcillosa	FY
Muestra 7 y 8	Franco arcillo arenosa	FYA
Muestra 9 y 10	Franco arcillo limosa	FYL
Muestra 11 y 12	Arcillosa	Y
Muestra 13 y 14	Arcillo arenosa	YA
Muestra 15 y 16	Arcillo limosa	YL

Se tomaron diez y seis muestras, cada par corresponden a un tipo de suelo, se promedió el valor de la densidad real de estas dos muestras para que represente a un determinado tipo de suelo. De esta manera se tuvieron ocho tipos de suelos, los cuales fueron llamados tratamientos y a éstos se aplicó un determinado diseño experimental de bloques completamente al azar con cuatro repeticiones (Cuadro 2).

El modelo matemático para dicho diseño fue el siguiente:

$$Y_{ij} = M + T_i + E_{ij}$$

Donde:

Y_{ij} = Observación

M = Media general del experimento

T_i = Efecto del tratamiento

E_{ij} = Error experimental

En la comparación de los promedios de los tratamientos se aplicó la prueba de Tuckey, a un nivel del 5% de probabilidad.

CUADRO 2. Tratamientos del ensayo.

Textura	Símbolo	Tratamiento
Franco arenosa	FA	A
Franco	F	B
Franco arcillosa	FY	C
Franco arcillo arenosa	FYA	D
Franco arcillo limosa	FYL	E
Arcillosa	Y	F
Arcillo arenosa	YA	G
Arcillo limosa	YL	H

Las muestras de suelo a analizarse luego de su pretratamiento, se molieron en un mortero y se tamizaron por una malla de 2 mm de diámetro.

El método de análisis utilizado para la densidad real, fue el método del picnómetro. En una cápsula limpia se pesaron diez gramos de suelo y se humedecieron con agua destilada, la misma fue colocada en una hornalla eléctrica para calentar y hervir, luego se retiró del fuego. Se trasladó la muestra al picnómetro utilizando el embudo y la pizeta y se añadió agua hasta completar el volumen del picnómetro. Se temperó el picnómetro en un recipiente de aluminio que contenía agua (20°C), luego se tapó el picnómetro. Finalmente se sacó el picnómetro, se pesó y registraron los datos. Este mismo procedimiento se repitió para el picnómetro más agua.

La fórmula utilizada para los cálculos de la densidad real fue la siguiente:

$$D_{real} = \frac{D_{H_2O} \times (P_{p+s} - P_p)}{(P_{p+s} - P_p) - (P_{p+H_2O+s} - P_{p+H_2O})}$$

Donde:

D_{real} = Densidad real ($g \cdot cm^{-3}$)

D_{H_2O} = Densidad del agua ($g \cdot cm^{-3}$)

P_{p+s} = Peso del picnómetro más suelo (g)

P_p = Peso del picnómetro (g)

P_{p+H_2O+s} = Peso del picnómetro más agua más suelo (g)

P_{p+H_2O} = Peso del picnómetro más agua (g)

RESULTADOS

Con los resultados obtenidos de los análisis de la densidad real en diferentes tipos de suelos, se procedió al análisis de varianza (Cuadro 3). Este análisis muestra que entre los tratamientos existe diferencias significativas, lo que significa, que la densidad real de los distintos tipos de suelos es diferente. Para determinar la diferencia estadística, los promedios de la densidad real fueron sometidos a la prueba estadística de Tuckey (Cuadro 4).

CUADRO 3. Análisis de varianza.

FV	GL	SC	CM	Fc	Ftab 5%
Tratamiento	7	0.0738	0.0105	65.6250 **	2.42
Error exptal.	24	0.0039	0.00016		
Total	31	0.0777			

CV = 0.47%

** = Altamente significativo

CUADRO 4. Prueba de Tuckey para la densidad real de distintos tipos de suelos.

Tratamiento	Promedio de densidad real ($g \cdot cm^{-3}$)*
H	2.69 a
E	2.67 a b
A	2.67 a b c
C	2.65 b c
B	2.64 c d
D	2.61 e
G	2.56 f g
F	2.56 g

*Medias unidas por la misma letra son estadísticamente similares.

Según la prueba de Tuckey, los tratamientos H, E, A son similares estadísticamente, siendo H significativo frente a los tratamientos C, B, D, G, F en la primera comparación; en la segunda el tratamiento E es similar a los tratamientos A, C, pero diferente de B, D, G y F. En cambio en el tercer grupo de medias los tratamientos A, C, B presentaron similares promedios, siendo A diferente de los promedios D, G, F. En las demás comparaciones G y F son iguales estadísticamente, resultando diferente los promedios de los demás tratamientos.

Los valores de la densidad real en los diferentes tipos de suelos son variables, porque reflejan las densidades de los minerales más abundantes que los constituyen en los suelos y las rocas.

El promedio de la densidad real del tratamiento H (YL) (Figura 1), alcanzó el mayor valor por que, probablemente, están constituidos por un mayor contenido de minerales especialmente del tipo feldespato plagioclásico, cuya gravedad específica o densidad del mineral alcanza a $2.69 g \cdot cm^{-3}$ (Chilón, 1996).

Buckman y Braddy (1977) señalan que las partículas de arcilla están compuestas de minerales como cuarzo, hematites y gibsita, y también del complejo de silicatos aluminicos en cantidades significativas como la caolinita, illita y montmorillonita.

Los tratamientos E, A (FYL, FA) en el ensayo presentaron un valor de 2.67 g.cm^{-3} , porque probablemente, en estos tipos de suelos se encuentran los minerales como illita, cuarzo, caolinita, clorita, feldespato plagioclásico, cuya gravedad específica promedio es de 2.68 g.cm^{-3} .

En las partículas de limo predominan el mineral cuarzo, también el limo fino puede estar constituido por apreciables cantidades de óxidos de hierro y aluminio, que son otro grupo de minerales secundarios.

Los tratamientos C, B (FY, F), presentan similitud en su densidad real (2.65 , 2.64 g.cm^{-3}), posiblemente estos suelos del ensayo estén compuestos de minerales como cuarzo, caolinita, clorita y feldespato plagioclásico, cuyos promedios de la gravedad específica pueden llegar a un 2.65 g.cm^{-3} .

El valor de la densidad real 2.61 g.cm^{-3} correspondiente al tratamiento D (FYA), probablemente muestra que este suelo del ensayo estaría constituido principalmente de la caolinita a parte de otros minerales, ya que la densidad promedio de este mineral es de 2.61 g.cm^{-3} .

Es necesario mencionar que la arena está compuesta principalmente por cuarzo, pudiendo existir cantidades variables de otros minerales primarios como los feldespatos y las micas. La gibsita, hematites y limonita son minerales que frecuentemente revisten los granos de arena.

Los suelos o tratamientos G, F (YA, Y), tienen un 2.56 g.cm^{-3} de la densidad real, valor que refleja la presencia de los minerales que predominan en los suelos arcillosos y arenosos, como son el cuarzo, hematites, gibsita, caolinita, illita, montmorillonita y principalmente del feldespato ortoclásico cuya densidad es de 2.56 g.cm^{-3} .

Estos valores de la densidad real del presente ensayo deben considerarse como datos generales, puesto que otros factores, principalmente la materia orgánica, tienen influencia importante sobre la densidad de las partículas, así como la zona de procedencia de la muestra. Los mencionados factores pueden disminuir o aumentar el valor de la densidad real.

Los valores obtenidos permiten aseverar que estos datos varían según el tipo de suelo, hasta presentar diferencias significativas a medida que exista una amplitud de estos valores, por lo tanto el promedio de 2.65 g.cm^{-3} no puede asumirse como la densidad real para los diferentes tipos de suelos.

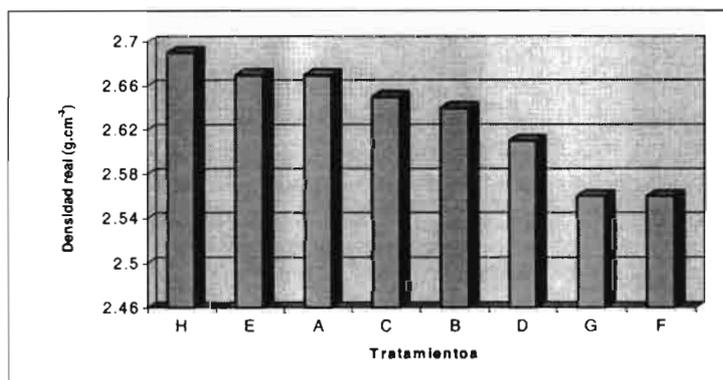


FIGURA 1. Densidad real (g.cm^{-3}) de los diferentes tipos de suelos.

CONCLUSIONES

- La densidad real de los suelos analizados presenta variabilidades según el tipo de suelo y la composición de los minerales, siendo la diferencia estadísticamente significativa entre la densidad 2.69 g.cm^{-3} del suelo H (YL) respecto a la densidad de los suelos C, B, D, G, F (FY, F, FYA, YA, Y) que son de 2.65 , 2.64 , 2.61 , 2.56 , 2.56 g.cm^{-3} . La densidad de partículas 2.69 , 2.67 , 2.67 g.cm^{-3} de los tratamientos o suelos H, E, A (YL, FYL, FA) son similares estadísticamente, según la prueba de Tuckey.

- Los suelos H, E, A (YL, FYL, FA), E, A, C (FYL, FA, FY), A, C, B (FA, FY, F), C, B (FY, F), G y F (YA y Y) presentaron similares valores de la densidad real. Sin embargo, la comparación de estos promedios de la densidad según el tipo de suelo presentó diferencias estadísticas.
- Para obtener datos precisos de la densidad real, en estudios de suelos, es conveniente realizar su análisis, por que la densidad de las partículas varía de acuerdo al tipo de suelo.
- La densidad real es un parámetro que se debe tomar en cuenta, al igual que la densidad aparente, en los análisis de suelos y no solamente asumir el valor promedio de 2.65 g.cm^{-3} , por que éste valor puede afectar en los cálculos de la porosidad total.
- Para obtener valores promedios apreciables de la densidad real se deben efectuar los análisis de un mayor número de muestras en cada tipo de suelo.

BIBLIOGRAFIA

Buckman, H. O. y Brady, C., 1977. Naturaleza y propiedades de los suelos. Barcelona, España, Montaner y Simón, 590 pp.

Chilon, E., 1996. Manual de Edafología (prácticas de campo y laboratorio). CIDAT. La Paz, Bolivia, Facultad de Agronomía, Proyecto UNIR, Universidad Mayor de San Andrés, 290 pp.

Forsythe, W., 1985. Física de suelos. San José, Costa Rica, Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura, 212 pp.

Little, T. y Hills, J., 1981. Métodos estadísticos para la investigación en la agricultura. México DF, Trillas S. A., 270 pp

Lopez, R. J. y Lopez M. J., 1978. El diagnóstico de suelos y plantas. (Métodos de campo y laboratorio). Madrid, España, Mundi Prensa, 337 pp.

Efecto de diferentes dosis de cloruro de sodio en dos variedades de soya

David Hervás¹ y Omar Cruz¹

¹Universidad Evangélica Boliviana (UEB). Casilla 4027. Santa Cruz, Bolivia. email:ueb@bibosi.scz.entelnet.bo

RESUMEN

El presente trabajo fue realizado en marzo de 1999, en el Centro de Investigación Agropecuario (C.I.A.) dependiente de la Universidad Evangélica Boliviana, bajo condiciones de invernadero. El objetivo fue evaluar el efecto de la salinización artificial de un suelo en algunas características de desarrollo y nodulación de dos variedades comerciales de soya. El diseño fue completamente al azar con arreglo factorial 2 x 5 con 3 repeticiones. Se sembraron parcelas con dos variedades de soya (ST-Suprema y Emgopa 308) y cinco dosis de cloruro de sodio (NaCl) (0, 300, 600, 900 y 1200 mg.kg⁻¹). Se determinó el porcentaje de germinación, altura de planta a los 24 y 39 DDS, MSPA, MSR, MST, número de nódulos/planta y peso seco de nódulos/planta. Se observó que las variedades tuvieron un comportamiento diferente para algunas variables estudiadas. Hubo un efecto general de las dosis de sal en los parámetros de crecimiento y nodulación. Bajo condiciones del ensayo, humedad próxima a CC, el comportamiento del testigo y los tratamientos con dosis crecientes hasta 900 mg de NaCl, correspondiente a una CE de 814µS.cm⁻¹, fue similar para ambas variedades. La mayor dosis causó un efecto negativo en todas las variables estudiadas.

INTRODUCCIÓN

La soya (*Glycine max*) es una leguminosa que adquiere mucha importancia por su alto contenido proteico (35 a 45%) y su contenido de aceite (18-25%), además, de ser un cultivo apropiado para rotaciones con cultivos como maíz, arroz y trigo por el aporte de nitrógeno debido a la fijación simbiótica.

En la zona central del departamento de Santa Cruz se encuentran las colonias de Okinawa, cuyos suelos fueron formados por un proceso aluvial, por sucesivas inundaciones del Río Grande, resultando suelos con alto contenido de sales. Debido al desmonte y laboreo intensivo se ha acentuando el proceso de salinización, ocasionando bajas en los rendimientos especialmente en épocas secas (Hitsuda et al., 1996).

De acuerdo a Graetz (1996) los suelos salinos y sódicos se caracterizan por tener concentraciones excesivas de sales solubles de calcio, magnesio y sodio en la capa arable del suelo, incidiendo negativamente en el suelo por la fijación de Na⁺ en el complejo coloidal, ocasionando el deterioro de algunas propiedades físicas del suelo, ya que cuando este ion se encuentra en una proporción alta en los lugares de intercambio, los agregados del suelo se defloculan y se dispersan taponando los poros del suelo disminuyendo la conductividad hidráulica (Fuentes, 1994).

En suelos salinos el crecimiento de las plantas es afectado por la reducción en la absorción de agua debido a un efecto osmótico, ya que al aumentar la concentración de sales en la solución del suelo se origina un aumento en la presión osmótica y como consecuencia las plantas necesitan realizar una mayor succión para absorber agua (Yustes, 1997). Por otro lado, la acción tóxica directa de las sales reduce la absorción de macro y micronutrientes (Graetz, 1996).

Según Porta et al. (1994), el NaCl es la sal más frecuente en suelos salinos. La presencia de esta sal afecta la solubilidad de otras sales que por efecto del ion común disminuye al aumentar la concentración de NaCl. El mismo autor sostiene, que el crecimiento de las plantas en medios salinos se ve afectado desfavorablemente, la germinación demora más tiempo o no tiene lugar, se presenta una reducción en el área foliar, el crecimiento es más lento, la producción de materia seca es menor, se observa necrosis en las hojas, el rendimiento disminuye y si las condiciones son extremas la planta muere antes de completar su ciclo.

En los suelos salinos, además de un aumento en la presión osmótica que produce una disminución en la absorción de agua por las raíces desarrolladas, se debe considerar que la atracción molecular que

la superficie de las partículas del suelo ejercen sobre las moléculas de agua incrementa a medida que el suelo se va secando. De esta manera, los estudios relacionados con humedad y niveles de salinidad en el crecimiento vegetal indican que el desarrollo de las plantas es una función del esfuerzo total de humedad del suelo, independientemente de que dicho esfuerzo provenga de la tensión por salinidad o de la tensión por humedad (Richards, 1980).

De acuerdo con Rowell (1998), la tolerancia de las especies vegetales a las sales es un hecho complejo, ya que, además de la variación entre especies o dentro de una misma especie, se debe tener en cuenta la etapa de desarrollo del cultivo dado que la tolerancia de una planta puede ser baja en su etapa de desarrollo inicial pero puede ser alta cuando ya está bien establecida.

En un estudio de nodulación, fijación de N_2 y crecimiento de guandul en un suelo salinizado artificialmente, Cysneiros et al. (1997) concluyen que a partir de $600 \text{ mg NaCl.kg}^{-1}$ ocurrieron restricciones significativas en el número y masa de los nódulos. De manera similar, Gomes et al. (1997), encontraron que a niveles crecientes de NaCl el número y masa seca de los nódulos de leucaena fueron significativamente afectados.

A pesar de ser un problema que afecta extensas zonas productivas, existen pocos trabajos de investigación que traten el tema, no existiendo alternativas para el productor sojero que den la posibilidad de escoger algunas variedades que podrían comportarse mejor bajo condiciones de suelos salinos.

El presente trabajo tuvo como objetivo estudiar la influencia de cinco dosis de NaCl en algunas características agronómicas de dos variedades comerciales de soya, así como cuantificar el efecto de la concentración de NaCl en la nodulación.

MATERIALES Y METODOS

El trabajo de investigación se llevó a cabo en el Centro de Investigación Agropecuario (C.I.A.) dependiente de la Universidad Evangélica Boliviana en marzo de 1999. Se utilizó una muestra de suelo de la capa superficial (0-20 cm) de un lote con pastura, la misma que fue tamizada por una malla de 4 mm y posteriormente secada al aire. Se utilizaron macetas de cuatro litros de capacidad, en las cuales se colocó 3.5 kg de suelo, para luego ser debidamente acondicionadas en invernadero. Para caracterizar el suelo, se tomó una muestra compuesta y las principales características físicas y químicas fueron realizadas de acuerdo con el método descrito por Cochrane y Barber (1993). Los tratamientos constituyeron un factorial 2×5 , siendo dos variedades y cinco las dosis de NaCl, estos fueron dispuestos en delineamiento enteramente al azar con tres repeticiones. Las variedades comerciales utilizadas fueron la ST- Suprema y la Emgopa 308, mientras que las dosis de sal utilizadas fueron 0, 300, 600, 900 y 1200 mg kg^{-1} de suelo. Para la incorporación de la sal se utilizó 600 ml de agua, en los que se disolvió la sal, para posteriormente regar las muestras y finalmente depositarlas en sus respectivas macetas. En estas condiciones, el suelo fue incubado por diez días con humedad próxima a capacidad de campo a fin de tener una buena distribución de la sal. Previo a la siembra, el suelo nuevamente fue homogeneizado para posteriormente depositar nueve semillas por maceta a una profundidad de 3 cm. A los dieciocho días después de la siembra se realizó el raleo, dejando cinco plantas por maceta. El riego se realizó diariamente a fin de mantener la humedad próxima a capacidad de campo.

A los 15 días después de la siembra se determinó el porcentaje de germinación y a los 24 y 39 días después de la siembra se determinó la altura de planta. Luego fueron recolectados por separado la parte aérea y el sistema radicular, que después de lavar fueron secados en estufa a 65°C , hasta peso constante, para posteriormente determinar el peso seco por planta.

Para determinar el efecto de la sal sobre la nodulación, se procedió a separar de las raíces los nódulos para lavarlos y contarlos para determinar el número de nódulos por planta, siendo para análisis de varianza transformados a $(x)^{1/2}$. Finalmente, los nódulos fueron colocados en estufa a 65°C por 24 horas para después cuantificar el peso seco de nódulos por planta.

RESULTADOS

El análisis de suelos presentó valores de: pH (1:5) 6.1; CE $222 \mu\text{S.cm}^{-1}$; Ca 4.1; Mg 1.2; Na 0.11; K 0.40 y C.I.C.E. $5.9 \text{ cmol}(+).\text{kg}^{-1}$; P 13 mg.kg^{-1} ; M.O. 15 g.kg^{-1} ; N total 1.3 g.kg^{-1} ; arena 430; limo 370 y arcilla 200 g.kg^{-1} .

El análisis de varianza para porcentaje de germinación mostró diferencias significativas entre las combinaciones de variedad y dosis de NaCl utilizadas (Cuadro 1). La comparación de medias indica que la variedad Emgopa 308 se comportó mejor, reportando buena germinación en dosis elevadas de NaCl, mientras que en la variedad ST-Suprema el porcentaje de germinación disminuyó hasta 48% en el tratamiento con 1200 mg NaCl.kg⁻¹ de suelo siendo similar al de 300 y 900 mg de NaCl (Cuadro 2). En relación a la altura de planta (AP), a los 24 y 39 días después de la siembra (DDS), se constató que a los 24 días la variedad Emgopa creció más que la Suprema. Sin embargo, 15 días después la AP fue similar para ambas variedades (Cuadro 2). La AP en ambos casos fue menor que las plantas del testigo que fueron más altas, por la ausencia de NaCl.

Ambas variedades tuvieron similar comportamiento en relación a la Materia Seca de la Parte Aérea (MSPA), Materia Seca Raíz (MSR) y Materia Seca Total (MST). Para estas mismas variables se encontró diferencias altamente significativas ($P < 0,01$) para el factor dosis, siendo que el testigo tuvo la misma producción que los tratamientos con 300, 600 y 900 mg de NaCl. Un aspecto a destacar es que mientras la MSPA disminuyó con las dosis crecientes de NaCl, la MSR aumentó hasta la dosis de 900 mg en relación al testigo para luego disminuir con la dosis mayor. A pesar de no reportar diferencias ($P > 0,05$) en la MSR del testigo y la mayor dosis de NaCl, este último tratamiento causó una disminución del 30% en la biomasa radicular situación que no ocurrió con los tratamientos con 300 y 600 mg de NaCl, ya que estos aumentaron en aproximadamente 79% la biomasa radicular en relación al tratamiento con 1200 mg de NaCl.

CUADRO 1. Cuadrados medios y niveles de significancia para Porcentaje de Germinación (PG), Altura de Planta (AP) a los 24 y 39 Días Después de la Siembra (DDS), Materia Seca Parte Aérea (MSPA), Materia Seca Raíz (MSR), Materia Seca Total (MST), Número de Nódulos/planta y Peso Seco de Nódulos /planta.

Fuente de Variación	GL	Cuadro Medio							
		PG	AP 24(DDS)	AP 39(DDS)	MSPA	MSR	MST	Número nódulo/planta	Peso seco nódulos/planta
Variedad (V)	1	176.39**	85.01**	39.32 ^{ns}	0.02 ^{ns}	0.004 ^{ns}	0.04 ^{ns}	4.50*	899.36 ^{ns}
Dosis (D)	4	473.79**	173.58**	203.93**	0.56**	0.024**	0.73**	10.01**	3033.25**
V x D	4	611.09**	1.01 ^{ns}	13.05 ^{ns}	0.04 ^{ns}	0.003 ^{ns}	0.06 ^{ns}	0.57 ^{ns}	307.81 ^{ns}
Error	20	118.03	7.79	9.70	0.08	0.003	0.08	0.70	317.22
TOTAL	29								
CV (%)		14.36	9.17	7.56	23.63	20.59	18.92	26.18	47.277

*, ** Indica significancia al nivel 0,05 y 0,01 , respectivamente.

En relación a la nodulación, la variedad Emgopa tuvo 14.5 nódulos por planta siendo superior con 47% en relación a ST-Suprema que sólo tuvo 9.9 nódulos por planta. Ambas variedades tuvieron similar peso seco de nódulos por planta ($P > 0,05$) existiendo diferencias ($P < 0,01$) para ambas características al considerar el factor dosis (Cuadro 1).

Al comparar las medias en el cuadro 2, se observa que el número de nódulos por planta disminuyó a medida que se incrementaron las dosis de NaCl, no existiendo diferencias entre el testigo y los tratamientos con dosis de 300 y 600 mg. Similar comportamiento se observó con el peso seco de nódulos por planta reportándose una tendencia a incrementarse cuando se adicionó 300 mg de NaCl.

CUADRO 2. Medias de Porcentaje de Germinación (PG), Altura de Planta (AP) a los 24 y 39 Días Después de la Siembra (DDS), Materia Seca Parte Aérea (MSPA), Materia Seca Raíz (MSR), Materia Seca Total (MST), Nódulos por Planta y Peso Seco Nódulos por planta en dos variedades de soja y dosis crecientes de NaCl.

Dosis NaCl	Suprema	Emgopa	Media	Suprema	Emgopa	Media
mg.kg⁻¹		PG, %			AP (24 DDS), cm	
0	87.4 abc	91.7 a	89.6	36.5	39.0	37.8 a
300	68.8 abc	70.8 abc	69.8	31.6	34.9	33.3 b
600	79.2 abc	79.2 abc	79.2	27.4	31.7	29.6 c
900	56.2 bc	79.2 abc	67.7	25.9	29.9	27.9 c
1200	48.3 c	95.8 a	72.1	22.3	24.9	25.6 d
MEDIA	67.9	83.3		28.7 B	32.1 A	
		AP (39 DDS), cm			MSPA, g	
0	47.5	50.8	49.1 a	1.43	1.59	1.51 a
300	39.7	45.5	42.6 b	1.36	1.53	1.44 a
600	40.3	43.9	42.1 b	1.15	1.31	1.23 ab
900	39.7	38.1	38.9 b	1.08	1.05	1.07 ab
1200	33.1	33.3	33.2 c	0.86	0.65	0.76 b
MEDIA	40.0 A	42.3 A		1.18 A	1.23 A	
		MSR, g			MST, g	
0	0.26	0.27	0.27 ab	1.69	1.87	1.78 a
300	0.32	0.35	0.34 a	1.67	1.88	1.78 a
600	0.29	0.39	0.34 a	1.44	1.70	1.57 a
900	0.31	0.29	0.30 a	1.40	1.33	1.37 ab
1200	0.18	0.19	0.19 b	1.04	0.84	0.94 b
MEDIA	0.27 A	0.30 A		1.45 A	1.52 A	
		Nódulos/pl, (número)^{1/2}			Peso seco Nódulos/pl, mg	
0	4.20	4.21	4.21 a	53.26	42.74	48.00 ab
300	4.12	4.63	4.37 a	61.71	66.71	64.21 a
600	2.95	3.92	3.43 ab	33.67	57.26	45.47 ab
900	1.87	3.55	2.71 b	12.34	35.95	24.15 bc
1200	0.86	1.55	1.20 c	0.03	13.10	6.57 c
MEDIA	2.80 B	3.57 A		32.20 A	43.15 A	

Medias seguidas por la misma letra, minúscula en la columna y mayúscula en la hilera, no difieren entre sí al 5 % por la prueba de Tukey, para cada variable analizada.

CONCLUSIONES

- La variedad de soya Emgopa fue superior a la ST-Suprema en relación a la altura de planta en su etapa inicial, así como, en el número de nódulos por planta.
- Para todas las variables estudiadas se observó un efecto negativo de las dosis de sal, siendo la dosis de 1200 mg de NaCl .kg⁻¹ (CE 1121 $\mu\text{S.cm}^{-1}$) la más detrimental.
- La producción de materia seca de la parte aérea, así como de la raíz, para ambas variedades no fue alterada hasta la dosis de 900 mg de NaCl, valor que correspondió a una CE de 814 $\mu\text{S.cm}^{-1}$ al finalizar el experimento.
- La nodulación en ambas variedades y el peso seco de nódulos fue similar en el testigo (145 $\mu\text{S.cm}^{-1}$), en el suelo con 300 mg de NaCl (341 $\mu\text{S.cm}^{-1}$) y también en el suelo con 600 mg de NaCl .kg⁻¹ (528 $\mu\text{S.cm}^{-1}$).
- Sería apropiado realizar estudios específicos de sales en función de la humedad del suelo, cepas de *Rhizobium spp.* y variedades comerciales de soya a fin de disponer de mejores recomendaciones técnicas para suelos con problemas de salinidad.

BIBLIOGRAFIA

Cochrane, T. y Barber, R., 1993. Análisis de suelos y plantas tropicales. Santa Cruz, CIAT.

Cysneiros, P.J., Gomes, F. y Pereira, N.S., 1997. Nodulação, fixação do N₂ e crescimento do guandu em solo salinizado artificialmente. En XXVI Congresso Brasileiro da Ciência do Solo. Resumos expandidos. Rio de Janeiro, Sociedade Brasileira da Ciência do Solo.

Fuentes, J. L., 1994. El suelo y los fertilizantes. Madrid, Mundi Prensa, 327 pp.

Gomes, F., Cysneiros, P.S. y Pereira, S., 1997. Influência do NaCl na nodulação do N₂ em leucena. En XXVI Congresso Brasileiro da Ciencia do Solo. Resumos expandidos. Rio de Janeiro, Sociedade Brasileira da Ciência do solo, (CD-ROM).

Graetz, H. A., 1996. Suelos y fertilización. México, Trillas, pp 42-45.

Hitsuda, K., Siles, A., Ajhuacho, E y Suarez, M., 1996. Análisis de agua de Río Grande y pozos de la colonia Okinawa. CETABOL - JICA. Santa Cruz, Boletín S-2, 13 pp.

Porta, C.J., López, A.R. y Roquero, C., 1994. Edafología para la agricultura y el medio ambiente. Madrid, Mundi Prensa, 807 pp.

Richards, L.A., 1980. Diagnóstico y rehabilitación de suelos salinos y sódicos. México, Editorial Limusa, 72 pp.

Rowell, D.L., 1996. The management of irrigated saline and sodic soils. En Wild, A. Russell's soil conditions and plant growth. New York, Jhon Wiley y Sons, pp. 927-951.

Yuste, M.P., 1997. Biblioteca de la Agricultura II, Cultivos extensivos. España, pp. 356-358.

Actividad microbiana de un oxisol afectada por la adición de residuos de cosecha

D. Ruiz Alderete¹ y E. Gomide Loures²

1 Centro de Investigación Agrícola Tropical. Santa Cruz, Bolivia. email: rhzciat@bibosi.scz.entelnet.bo.

2 Universidad Federal de Viçosa – UFV. CEP 36571-000. Viçosa (MG), Brasil

RESUMEN

Este trabajo fue desarrollado con el objetivo de evaluar la actividad microbiana del suelo por efecto de incorporación de residuos de soya y maíz. Los residuos fueron cortados en pedazos de 5 y 10 cm y adicionados en dosis de 0, 10, 20, y 30 tn.ha⁻¹ a muestras de un oxisol provenientes del municipio de São Sebastião do Paraíso, M.G. Las mezclas suelo/residuo fueron sometidas a incubación por períodos de 0, 30, 60, y 90 días en condiciones aeróbicas. El efecto de la adición de residuos orgánicos sobre la actividad microbiana del suelo fue determinado según la metodología propuesta por Kuasi (1992). La cantidad de CO₂ liberado como producto final del metabolismo de los microorganismos fue utilizada como índice de la actividad microbiana. En cámaras de incubación, el CO₂ fue atrapado en una solución de NaOH 1 mol.l⁻¹ y titulado con HCl 0.5 mol.l⁻¹ utilizando fenolftaleína como indicador. Se realizaron 15 lecturas a intervalos de 1 (4 días), 2 (26 días), 4 (30 días) y 6 (30 días).

La actividad microbiana varió significativamente con relación al tipo de residuo y a las cantidades en que estos fueron adicionados. En los primeros días ocurrió una alta tasa de producción de CO₂ para después disminuir gradualmente. Se observó una mayor producción de CO₂ hasta la novena lectura. Cuando se adicionó residuo de soya, este presentó una composición más uniforme en comparación con los residuos de maíz, permitiendo un ataque microbiológico inmediato que se inicia en la parte externa del residuo.

La actividad microbiana fue afectada significativamente por las cantidades de residuo adicionadas. La producción de CO₂ no tuvo una relación directamente proporcional a las cantidades adicionadas, observándose menores tasas de producción de CO₂ cuando fueron adicionadas dosis más altas de residuos. El mismo comportamiento fue observado en los dos tipos de residuos. Se verificó que el manejo de los residuos, con relación a las cantidades, podría favorecer a la permanencia de éstos por mayor tiempo en el suelo. Por otro lado, se observó que la adición de cantidades menores a 10 tn.ha⁻¹ podría favorecer a la reducción del carbono de la materia orgánica del suelo.

INTRODUCCION

La degradación de las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo está relacionada con la disminución de los niveles de materia orgánica del suelo. En el sistema convencional de producción de cultivos la reposición de nutrientes y la adición de materiales orgánicos es mínima. La incorporación de restos de cosecha al suelo, ha resultado en un aumento de la materia orgánica y en la mejoría de las características del suelo, tornándolo más eficiente en la conservación del recurso agua y disminuyendo la susceptibilidad al adensamiento y compactación.

La adición de residuos de cosecha puede ser una manera simple, eficaz y económica de mejorar las condiciones del suelo y aumentar su productividad. Sin embargo, el efecto benéfico de los residuos orgánicos sobre las características del suelo depende de la naturaleza del residuo, que a su vez tiene influencia en el tiempo en que éste permanece en el suelo.

Para un uso apropiado de los residuos culturales es necesario tomar en cuenta ciertas consideraciones de manejo. La época de incorporación, el tamaño del material, la naturaleza del residuo y las cantidades a ser incorporadas, son entre otros, factores que tendrán influencia directa en el éxito de la utilización de estos materiales.

Este trabajo tiene como objetivo proporcionar información para un adecuado manejo de los residuos de soya y maíz. Para lograr este objetivo fue evaluado, en condiciones de invernadero, el efecto de la adición de residuos de soya y de maíz, incorporados en dosis crecientes, picados en diferentes tamaños e incubados en diferentes tiempos sobre la actividad microbiana de un oxisol.

MATERIALES Y METODOS

Para evaluar los cambios en la actividad microbiana del suelo por la adición de residuos de soya y de maíz, fue montado un experimento en invernadero, en el que se probaron los factores Tiempo de incubación (Te), Cantidad de residuo (Q), Tamaño del pedazo de residuo (Ta) y el Tipo de residuo (Ti).

Se utilizaron muestras de un oxisol, provenientes de la estación experimental de la EPAMIG, en el municipio de San Sebastián del Paraíso, estado de Minas Gerais, Brasil. Las muestras tomadas de la capa superficial (0-20 cm) fueron tamizadas por malla de 2 mm para su caracterización física y química (Cuadro 1) y por malla 4.7 mm para el ensayo en invernadero.

Los residuos de soya y de maíz fueron recolectados en el Campus de la Universidad Federal de Viçosa. De ambos tipos de residuo, se escogió la parte que podría ofrecer mayor resistencia a la descomposición.

El residuo de maíz fue cortado a 10 cm del nivel del suelo y dos nudos antes de la parte superior de la planta, descartándose los nudos para tener un material más homogéneo. Del residuo de soya, se recolectó la parte más leñosa del tallo, descartándose la parte foliar. Estos materiales fueron cortados en pedazos de 5 y 10 cm y almacenados en un lugar fresco y seco hasta la instalación del ensayo. La caracterización química de los residuos es presentada en el Cuadro 2.

Posteriormente, los residuos en dosis de 0, 10, 20 y 30 tn.ha⁻¹ fueron mezclados con muestras de suelo humedecidas (a 70 % de la capacidad de campo), colocados en bolsas plásticas (cámaras de incubación) y sometidos a 0, 30, 60 y 90 días de incubación aeróbica.

Los tratamientos, dispuestos en un diseño de bloques al azar con tres repeticiones, correspondieron a un arreglo factorial de 4Te x 4Q x 2Ta x 2Ti.

El efecto de la adición de los residuos orgánicos sobre la actividad microbiana del suelo fue determinado según la metodología propuesta por Kwasi (1992). La cantidad de CO₂ liberado como producto final del metabolismo de los microorganismos fue utilizada como índice de la actividad microbiana.

En cada cámara de incubación fue colocado un frasco de boca ancha, conteniendo 30 ml de una solución de NaOH 1mol.l⁻¹. En los primeros cuatro días la solución fue cambiada y titulada diariamente, posteriormente y hasta los 30 días, la solución fue cambiada y titulada cada dos días, de 31 a 60 días, cada cuatro días y de 61 a 90 días, cada 6 días. El CO₂ absorbido en la solución de NaOH 1mol.l⁻¹ fue titulado con HCl 0,5 1mol.l⁻¹, utilizando fenolftaleína como indicador después de la adición de 10 ml de BaCl₂ 1mol.l⁻¹ para precipitar los carbonatos formados. Durante los 90 días de incubación, el sistema fue aireado por 10 minutos para mantener las condiciones aeróbicas.

CUADRO 1. Características químicas del suelo

Determinación	
pH en agua (1:2.5)	5.0
pH en KCl (1:2.5)	4.2
Ca 2+ (cmolc.dm ⁻³)	0.5
Mg2+ (cmolc.dm ⁻³)	0.2
K+ (mg. dm ⁻³)	26.0
Al3+ (cmolc.dm ⁻³)	0.25
P (mg. dm ⁻³)	1.90
SB (cmolc.dm ⁻³)	0.75
CICE (cmolc.dm ⁻³)	1.0
Nitrógeno total (%)	0.1
Carbono orgánico total (%)	1.7

CUADRO 2. Características químicas de los residuos

Determinación	Maíz	Soya
	% con base peso seco	
Fósforo	0.05	0.02
Potasio	1.07	0.34
Calcio	0.07	0.98
Magnesio	0.07	0.20
Mat. Orgánica	81.41	80.96
Nitrógeno	0.32	0.46
Relación C/N	147.22	101.85
Relación C/P	942.20	2342.50

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La actividad microbiana, evaluada mediante la evolución de CO_2 , varió significativamente con relación al tipo de residuo y a las cantidades en que estos fueron adicionados. De modo general, el patrón de pérdida de carbono en la forma de CO_2 se caracterizó por una alta tasa en los primeros días de incubación para después disminuir gradualmente. Este comportamiento fue observado en todos los niveles del factor Q (cantidad de residuo) y en los dos tipos de residuos (Figuras 1 y 2).

Probablemente, en los primeros días de incubación, hubo un ataque microbiano de las sustancias más fácilmente descomponibles, mientras que en la segunda etapa hubo una descomposición gradual de las partes más resistentes del residuo orgánico.

En el proceso de descomposición, sustancias solubles como azúcares, almidón, ácidos orgánicos y proteínas son rápidamente lixiviados de los residuos orgánicos y utilizados por los microorganismos, mientras que la lignina y los compuestos aromáticos presentan una elevada resistencia a la descomposición (Siqueira y Franco, 1988).

Además de las diferencias en el patrón de descomposición de los diversos componentes de los residuos, la disminución en las tasas de descomposición, conforme avanza el tiempo de incubación, puede haber sido causada por la resíntesis de carbono para formar compuestos más resistentes a la descomposición.

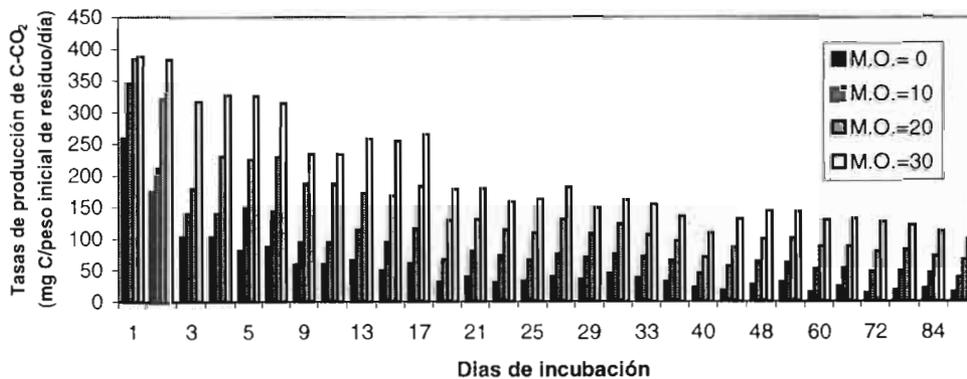


FIGURA 1. Tasas de producción de C-CO₂ con relación al tiempo de incubación de los residuos de soja y de maíz.

Con relación a las cantidades de residuo, la actividad microbiana fue significativamente afectada. Se observa que la producción de C-CO₂ no tuvo una relación directamente proporcional a las cantidades de residuo adicionadas, observándose menores tasas de producción de C-CO₂ cuando fueron adicionadas dosis más altas de residuo. El mismo comportamiento fue observado para los dos tipos de residuo.

En la figura 2 se observa que, con excepción del primer día, hubo una mayor producción de CO_2 hasta la novena lectura, cuando el residuo de soja fue adicionado. El residuo de soja, que presenta una composición más uniforme que el de maíz, permite el inmediato ataque que se inicia en la parte externa del residuo. Por otro lado, en el residuo de maíz, el material de más fácil descomposición se encuentra en la parte interna, recubierto por un material más resistente a la descomposición, que dificulta el acceso de los microorganismos. Después de los primeros nueve días y hasta el final del experimento hubo una mayor producción de C-CO₂ en los tratamientos en que fue adicionado el residuo de maíz. Probablemente, este material orgánico presenta sustancias fácilmente descomponibles en mayor proporción que los residuos de soja.

La reducción de las tasas de producción de C-CO₂ puede ser explicada por la descomposición más rápida del residuo cuando son adicionadas pequeñas cantidades, estando este comportamiento relacionado al mayor contacto suelo-residuo que favorece la actividad microbiana. De esta forma se verifica que el manejo de los residuos con relación a las cantidades podría favorecer a la permanencia de éstos por mayor tiempo en el suelo.

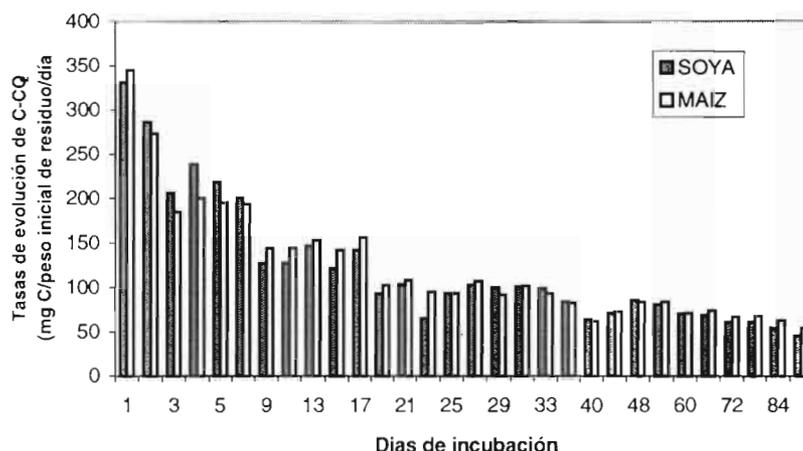


FIGURA 2. Tasa de producción de C-CO₂ por la descomposición de los residuos de soya y de maíz

Una vez que el C-CO₂ producido por la descomposición del material orgánico es utilizado para medir la actividad microbiana, como también para estimar las tasas de pérdida de la materia orgánica, se realizó una comparación entre el carbono producido por la respiración microbiana, C-CO₂ y el carbono perdido por descomposición de los residuos, C-residuos, determinado por la diferencia de peso entre las lecturas durante el periodo de incubación. Fue observada una gran semejanza entre las cantidades de carbono perdido de los residuos y el carbono perdido por respiración en la forma de CO₂ (Cuadro 3). Esto implica que la mayor parte de la pérdida de peso de los residuos está relacionada a las pérdidas de carbohidratos por la respiración microbiana.

Cuando los residuos fueron adicionados en dosis de 10 tn.ha⁻¹, la pérdida de carbono fue mayor en la forma de CO₂. En las dosis mayores se observa un balance positivo, favorable a las pérdidas de carbono de los residuos. Este carbono, probablemente ha contribuido para aumentar el C-TOTAL de la materia orgánica del suelo. Este incremento es de gran importancia en la conservación de la materia orgánica y en la fertilidad del suelo.

Generalmente, en el proceso de descomposición de los residuos orgánicos, el carbono utilizado es convertido a la forma de CO₂, una parte es incorporada en los tejidos microbianos y otra es convertida en sustancias húmicas estables (Stevenson, 1986).

CUADRO 3. Pérdidas de carbono (g) determinadas con datos de C-CO₂ de la respiración microbiana y C-residuo perdido durante la descomposición.

Epoca	Residuo (tn.ha ⁻¹)	Soja			Maíz		
		C-residuo	C-CO ₂	Difer.	C-residuo	C-CO ₂	Difer.
30 días	10	0.64	0.87	-0.23	0.73	0.89	-0.16
	20	1.71	1.34	0.37	2.08	1.44	0.64
	30	2.64	2.01	0.63	3.03	1.97	1.06
60 días	10	1.20	1.32	-0.12	1.30	1.39	-0.09
	20	2.20	2.20	0.00	2.56	2.21	0.35
	30	4.29	3.25	1.04	4.63	3.09	1.54
90 días	10	1.44	1.61	-0.17	1.22	1.73	-0.51
	20	3.12	2.76	0.36	3.00	2.80	0.20
	30	4.75	4.02	0.73	4.99	3.98	1.01

Relacionando las pérdidas de C-residuo y C-CO₂ mediante análisis de regresión lineal (Figura 3), se puede observar que existe una alta correlación entre las dos variables. Se verifica que para cada unidad de carbono perdido por descomposición de los residuos, hubo mayor pérdida de carbono en la forma de CO₂ cuando fue adicionado el residuo de maíz. Probablemente esta diferencia se debe a una

mayor utilización de carbono orgánico nativo del suelo por la microbiota que ataca los residuos de maíz. Estos resultados evidencian que el residuo de maíz podría favorecer a mayores pérdidas de carbono orgánico nativo del suelo, con relación al residuo de soya, cuando son adicionados en dosis menores que 10 tn.ha^{-1} .

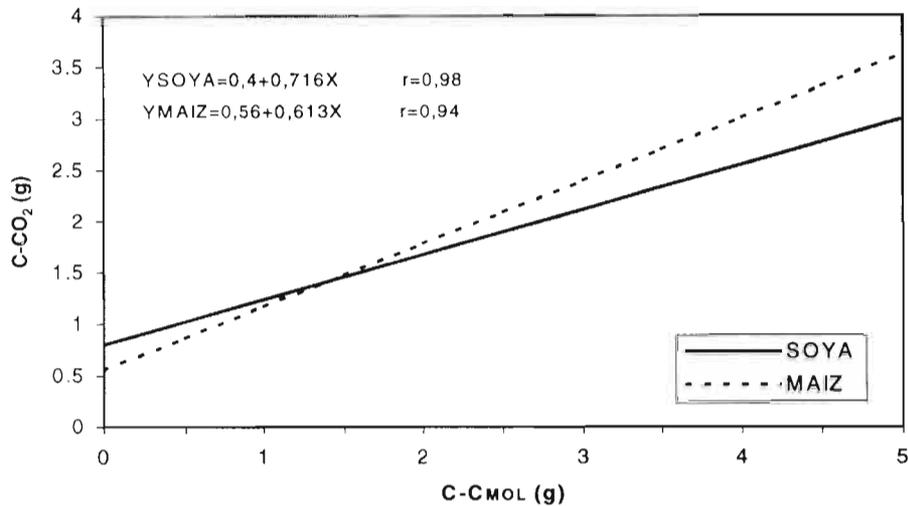


FIGURA 3. Relación entre el C-residuo perdido por descomposición y el C-CO₂ perdido por respiración microbiana de los residuos de soya y de maíz

CONCLUSIONES

- El manejo de residuos orgánicos, en cuanto a cantidades y épocas de incorporación al suelo, se constituye en una herramienta muy importante cuando se quiere mejorar la eficiencia del uso de estos insumos. Existe una relación inversa entre la cantidad de residuo de cosecha que se adiciona al suelo y la velocidad de descomposición. El mismo comportamiento es observado para la relación carbono/nitrógeno del residuo. Este hecho permitiría una prolongada permanencia de los residuos en el suelo, prolongándose a la vez sus efectos sobre las características del suelo.

BIBLIOGRAFIA

Kwasi, O.F., 1992. Decomposition and nitrogen and phosphorous dynamics of cocoa leaf material and the effect Of cocoa leaf litter on the transformations of N and P in cocoa growing soil of Ghana. Reading. University of Reading, Department of Soil Science, 178 pp. (Tese: D.S.).

Siqueira, J.O. y Franco, A.L., 1988. Biotecnología do solo. Principios e perspectivas. São Paulo, MEC/ESAL/FAEPE/ABEAS, 235 pp.

Stevenson, F.J., 1986. Cycles of soil carbon, nitrogen, phosphorous, sulfur, micronutrients. New York, John Wiley and Sons, 380 pp.

Dinámica de descomposición de residuos de soya y de maíz adicionados a un oxisol

D. Ruiz Alderete¹ y E. de Sá Mendonça²

1Centro de Investigación Agrícola Tropical. Santa Cruz, Bolivia. email: rhzciat@bibosi.scz.entelnet.bo.

2 Universidad Federal de Viçosa – UFV. CEP 36571-000 Viçosa (MG), Brasil

RESUMEN

Con el objetivo de proporcionar información para un adecuado manejo de los residuos de soya y de maíz, fue evaluada en condiciones de invernadero la dinámica de descomposición de los residuos de soya y de maíz. Los residuos fueron cortados en pedazos de 5 y 10 cm y adicionados en dosis de 0, 10, 20 y 30 tn.ha⁻¹ a muestras de un oxisol provenientes del municipio de São Sebastião do Paraíso, M.G., Brasil. Las mezclas suelo/residuo fueron sometidas a incubación por períodos de 0, 30, 60 y 90 días en condiciones aeróbicas.

Los residuos de soya y de maíz fueron recolectados en el Campus de la Universidad Federal de Viçosa. De ambos tipos de residuo, se escogió la parte que podría ofrecer mayor resistencia a la descomposición. El residuo de maíz fue cortado a 10 cm del nivel del suelo y dos nudos antes de la parte superior de la planta, descartándose los nudos para tener un material más homogéneo. Del residuo de soya se recolectó la parte más leñosa del tallo, descartándose la parte foliar. Ambos residuos, fueron mezclados con muestras de suelo humedecidas (a 70% de la capacidad de campo), colocados en bolsas plásticas (cámaras de incubación) y sometidos a incubación. En cada época de incubación se tomaron muestras para determinar la cantidad de materia orgánica liviana (MOL) perdida por descomposición (determinada por diferencia de peso), el contenido de carbono orgánico de la MOL residual (determinado por calcinación) y el contenido residual de nitrógeno (método Kjeldhal).

En los primeros 30 días de incubación se observó la mayor tasa de descomposición en los dos tipos de residuo. En este período el residuo de maíz descompuso en mayor proporción que el de soya. Pasados los primeros 30 días, se observó una mayor tasa de descomposición de los residuos de soya. Este resultado es probablemente un reflejo de las diferencias en la naturaleza de los residuos.

Cuando el residuo de maíz fue cortado en pedazos de 5 cm se observó un incremento significativo de la descomposición. Las partículas menores descomponen más rápidamente en razón del incremento del área superficial y de la mayor dispersión en suelo, que incrementa la susceptibilidad al ataque microbiano.

Con relación al efecto de la cantidad de residuos, se observó una drástica disminución en las tasas de descomposición de la MOL cuando las dosis de residuo fueron incrementadas. Este comportamiento se debe a la falta de un ataque microbiano proporcional a las cantidades de residuo adicionales. A lo largo del período de evaluación hubo mayor descomposición en las dosis menores de residuo.

Se observó incremento del N-TOTAL de la MOL, a medida que se incrementó el tiempo de la incubación, este comportamiento está relacionado a la proporción de las pérdidas de carbono con relación a las de nitrógeno. De manera general, el contenido de C-TOTAL de la MOL disminuyó con el tiempo de incubación. La utilización del carbono de la materia orgánica del suelo es una posible causa de la reducción. Las mayores pérdidas de carbono, en comparación con las de nitrógeno, modificaron significativamente la relación C/N de la MOL principalmente cuando se adicionaron dosis pequeñas de residuos orgánicos.

El manejo de residuos en cuanto a tamaño, cantidad y tipo puede incrementar su eficiencia en la recuperación y manejo sostenible de suelos agrícolas.

INTRODUCCION

La degradación de las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo está relacionada a la disminución de los niveles de materia orgánica del suelo. En el sistema convencional de producción de cultivos la reposición de nutrientes y la adición de materiales orgánicos es mínima. La incorporación de restos de cosecha al suelo ha resultado en un aumento de la materia orgánica y en la mejoría de las características del suelo, tornándolo más eficiente en la conservación del recurso agua y disminuyendo la susceptibilidad al adensamiento y compactación.

La adición de residuos de cosecha puede ser una manera simple, eficaz y económica de mejorar las condiciones del suelo y aumentar su productividad. Sin embargo, el efecto benéfico de los residuos

orgánicos sobre las características del suelo depende de la naturaleza del residuo, que a su vez tiene influencia en el tiempo en que éste permanece en el suelo.

Para un uso apropiado de los residuos culturales es necesario tomar en cuenta ciertas consideraciones de manejo. La época de incorporación, el tamaño del material, la naturaleza del residuo y las cantidades a ser incorporadas, son entre otros, factores que tendrán influencia directa en el éxito de la utilización de estos materiales.

Este trabajo tiene como objetivo proporcionar información para un adecuado manejo de los residuos de soya y maíz. Para lograr este objetivo fue evaluada en condiciones de invernadero, la dinámica de descomposición de los residuos de soya y de maíz, incorporados en dosis crecientes, picados en diferentes tamaños e incubados en diferentes tiempos en un suelo de uso agrícola.

MATERIALES Y METODOS

Para evaluar la dinámica de descomposición de los residuos de soya y de maíz, fue montado un experimento en invernadero, en el que se probaron los factores Tiempo de incubación (Te), Cantidad de residuo (Q), Tamaño del pedazo de residuo (Ta) y el Tipo de residuo (Ti).

Se utilizaron muestras de un oxisol, provenientes de la estación experimental de la EPAMIG, en el municipio de San Sebastián del Paraíso, estado de Minas Gerais, Brasil. Las muestras tomadas de la capa superficial (0-20 cm) fueron tamizadas por malla de 2 mm para su caracterización física y química (Cuadro 1) y por malla 4.7 mm para el ensayo en invernadero.

Los residuos de soya y de maíz fueron recolectados en el Campus de la Universidad Federal de Viçosa. De ambos tipos de residuo, se escogió la parte que podría ofrecer mayor resistencia a la descomposición.

El residuo de maíz fue cortado a 10 cm del nivel del suelo y dos nudos antes de la parte superior de la planta, descartándose los nudos para tener un material más homogéneo. Del residuo de soya, se recolectó la parte más leñosa del tallo, descartándose la parte foliar. Estos materiales fueron cortados en pedazos de 5 y 10 cm y almacenados en un lugar fresco y seco hasta la instalación del ensayo. La caracterización química de los residuos es presentada en el cuadro 2.

Posteriormente, los residuos en dosis de 0, 10, 20 y 30 tn.ha⁻¹ fueron mezclados con muestras de suelo humedecidas (a 70 % de la capacidad de campo), colocados en bolsas plásticas (cámaras de incubación) y sometidos a 0, 30, 60 y 90 días de incubación aeróbica.

Los tratamientos, dispuestos en un diseño de bloques al azar con tres repeticiones, correspondieron a un arreglo factorial de 4Te x 4Q x 2Ta x 2Ti.

Los materiales orgánicos adicionados fueron denominados como Materia Orgánica Liviana (MOL). La separación física de la MOL fue realizada según la metodología propuesta por Lassus (1990). En este material se determinó la materia orgánica por calcinación de acuerdo al método de Kiehl (1985). El contenido de carbono orgánico fue determinado por la división de la materia orgánica por el factor 1.724. El contenido de nitrógeno total fue determinado por el método Kjeldhal (Bremner y Mulvaney 1982). El porcentaje de MOL perdido por descomposición fue calculado por la diferencia de peso de la MOL seca a 65°C entre la época cero y el final de cada época de incubación. La relación C/N fue calculada por la división del contenido de carbono orgánico entre el contenido de nitrógeno total.

CUADRO 1. Características químicas del suelo

Determinación	
pH en agua (1:2.5)	5.0
pH en KCl (1:2.5)	4.2
Ca 2+ (cmolc.dm ⁻³)	0.5
Mg2+ (cmolc.dm ⁻³)	0.2
K+ (mg.dm ⁻³)	26.0
Al3+ (cmolc.dm ⁻³)	0.25
P (mg.dm ⁻³)	1.90
SB (cmolc.dm ⁻³)	0.75
CICE (cmolc.dm ⁻³)	1.0
Nitrógeno total (%)	0.1
Carbono orgánico total (%)	1.7

CUADRO 2. Características químicas de los residuos

Determinación	Maíz	Soya
	% con base peso seco	
Fósforo	0.05	0.02
Potasio	1.07	0.34
Calcio	0.07	0.98
Magnesio	0.07	0.20
Materia orgánica	81.41	80.96
Nitrógeno	0.32	0.46
Relación C/N	147.22	101.85
Relación C/P	942.20	2342.50

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La tasa de descomposición de los residuos, evaluada por la diferencia en peso entre uno y otro período de incubación y expresada en porcentaje, varió significativamente con relación a los factores estudiados. El patrón de descomposición de la MOL mostró variación significativa con relación a los tiempos de incubación (Cuadro 3). La mayor tasa de descomposición ocurrió en los primeros 30 días en ambos tipos de residuo. El residuo de maíz presentó una mayor tasa de descomposición en los primeros 30 días, después de este tiempo se observó un mayor porcentaje de descomposición de los residuos de soya. Este comportamiento es probablemente un reflejo de las diferencias en la naturaleza de los residuos.

Inicialmente el residuo de maíz presentó una relación C/N mayor (150) y el residuo de soya (102). Sin embargo, el residuo de maíz puede ser dividido en una parte externa de relación C/N 200 y una parte interna de relación C/N 97. Probablemente, este último componente sufrió una descomposición más rápida que el residuo de soya que tenía una relación C/N mayor. Generalmente, la descomposición de la materia orgánica es mayor en los primeros días en virtud de la presencia de compuestos orgánicos de fácil descomposición.

Cuadro 3. Valores promedios de pérdida de MOL por descomposición, N y C total y relación C/N de la MOL con relación a los factores en estudio

Factor	Niveles del factor	Pérdida de MOL (%)	N-TOTAL de la MOL (%)	C-TOTAL de la MOL (%)	Relación C/N
Tiempo de incubación (días)	0	0.00	0.48	41.40	94.43
	30	16.14	0.51	41.82	91.66
	60	25.55	0.64	39.70	66.08
	90	32.06	0.66	37.76	58.48
Dosis de residuo (tn.ha ⁻¹)	0	7.85	0.70	36.01	53.40
	10	19.75	0.54	41.38	81.65
	20	22.02	0.52	41.83	86.56
	30	24.16	0.53	41.44	88.92
Tamaño del pedazo (cm)	5	18.69	0.57	40.31	77.90
	10	18.18	0.57	40.15	77.41
Tipo de residuo	Soya	18.58	0.59	39.91	73.12
	Maíz	18.30	0.50	40.42	82.14

Con relación a las cantidades de residuo, se observó una drástica disminución en las tasas de descomposición de la MOL cuando las dosis de residuos fueron aumentadas. Este comportamiento se debe a la falta de un ataque microbiano proporcional a las cantidades de residuo adicionadas. La interacción significativa de los factores época de incubación y cantidades de residuo muestra que a lo largo del experimento hubo mayor descomposición en las dosis menores de residuo (Figura 1).

Se observó un incremento del N-TOTAL de la MOL con el aumento del tiempo de incubación (Figura 2). Este comportamiento está relacionado a la proporción de las pérdidas de carbono con relación a las de nitrógeno. Las numerosas especies de microorganismos involucradas en el proceso de descomposición absorben los elementos carbono y nitrógeno en una proporción de treinta partes de carbono para una parte de nitrógeno. De esa manera, después de cada época de muestreo, la concentración de nitrógeno de la MOL residual se presenta superior a la inicial.

Con el aumento en las dosis de residuo, se observó disminución del N-TOTAL de la MOL. Esta caída se debe en parte al menor contenido de N de los residuos de soya y de maíz, que fueron mezclados a la MOL nativa del suelo. Por otro lado, en virtud de la reducción de las tasas de descomposición con relación al incremento de las dosis, la pérdida de carbono de la MOL también fue menor, modificando en menor proporción el contenido de N-TOTAL de la MOL.

De manera general, el contenido de C-TOTAL de la MOL disminuyó con el tiempo de incubación y aumentó con el incremento de las dosis de residuo de soya y de maíz (Figura 3).

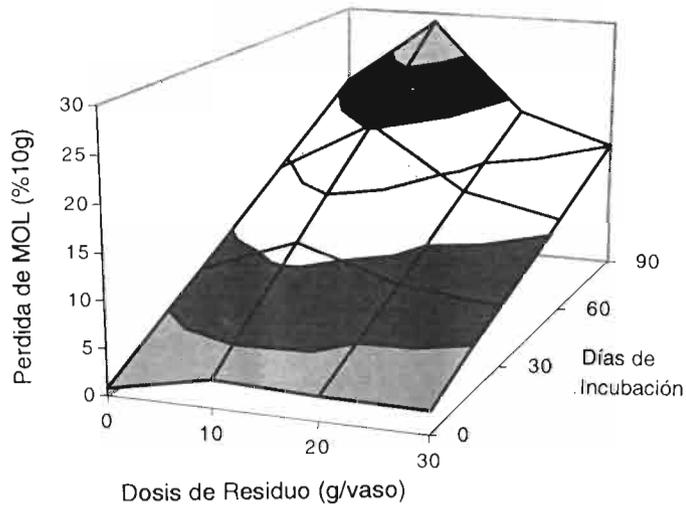


FIGURA 1. Porcentaje de pérdida de Materia Orgánica liviana en función de las épocas de incubación y de las cantidades de residuos adicionados de soya y de maíz.

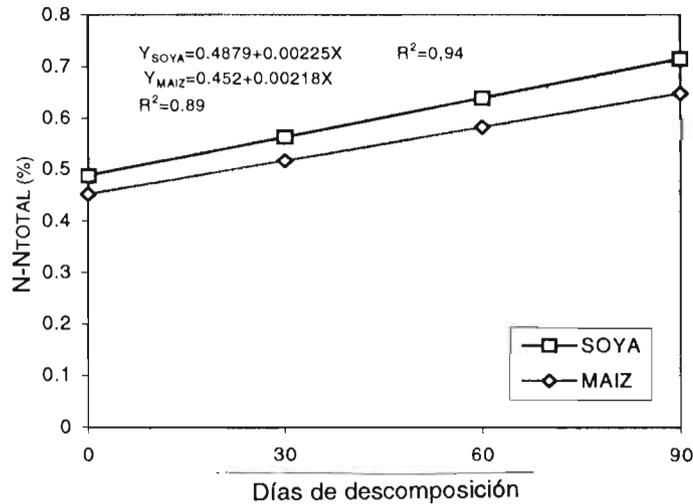


FIGURA 2. Efecto del tiempo de incubación de los residuos de soya y de maíz sobre el contenido de N-TOTAL de la Materia Orgánica Liviana

La utilización del carbono orgánico y posterior transformación a CO₂ y otras formas de carbono de la materia orgánica del suelo son las posibles causas de la reducción. En cuanto al aumento, este debe estar relacionado a la adición de material orgánico de relación C/N mayor (102 y 147 para los residuos de soya y de maíz respectivamente) que la de MOL nativa (72) y a las tasas de descomposición que disminuyeron con el aumento de las dosis de residuo.

Durante el periodo de incubación de los residuos de soya y de maíz, se verificó disminución de la relación C/N de la MOL (Figura 4). Este comportamiento puede ser explicado por el hecho de que a lo largo del ensayo la proporción de carbono mineralizado fue mayor con relación al nitrógeno. Por otro

lado, cuando se incrementaron las dosis de residuo se observó que las tasas de disminución de la relación C/N son menores.

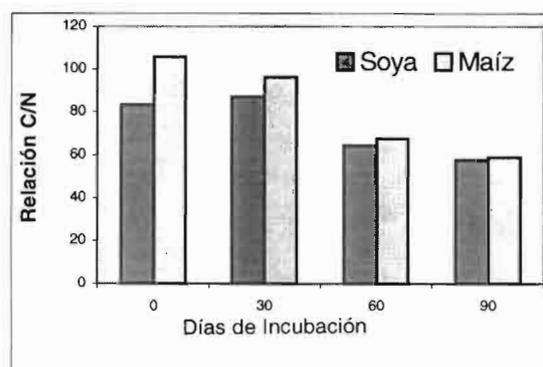
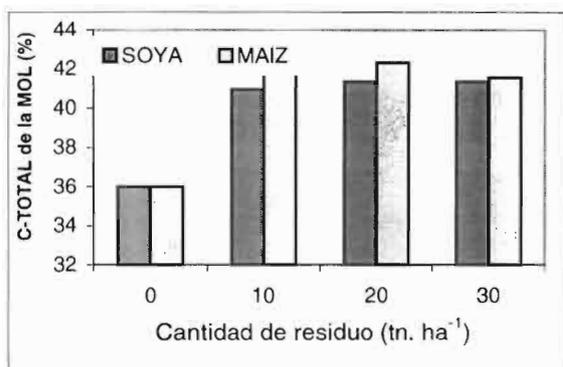


FIGURA 3. Cantidad de C-TOTAL de la MOL en función de la adición de residuos de soya y de maíz

FIGURA 4. Relación C/N de la MOL en función del tiempo de incubación de residuos de soya y de maíz.

CONCLUSIONES

- Mediante el incremento de las cantidades de residuo de cosecha, es posible reducir las tasas de descomposición, prevenir las pérdidas de carbono orgánico nativo del suelo y la inmovilización del nitrógeno inorgánico, que ocurre en los primeros días de la adición de los residuos al suelo.

BIBLIOGRAFÍA

Bremner, J.M. y Mulvaney, C.S., 1982. Nitrogen - Total. En: Page, A.L., ed. Methods of soil analysis. Madison, Wisconsin, American Society of Agronomy. Pt. 2, pp 581-594. (Agronomy,9).

Kiehl, E.J., 1985. Fertilizantes orgánicos. Piracicaba, Agronômica Ceres, 492pp.

Lassus, C., 1990. DE. Composição dos resíduos vegetais em solo manejado com nove sistemas de culturas. R. Bras. Ci. Solo, 14:375-380.

Laboratorios de servicios de análisis. Centro de investigaciones nucleares Viacha (IBTEN)¹

1 Avenida 6 de Agosto N° 2905. La Paz, Bolivia.

INTRODUCCION

Los laboratorios de servicios de análisis se encuentran en la división de química del Centro de Investigaciones Nucleares de Viacha (CIN). El CIN depende del Instituto Boliviano de Ciencia y Tecnología Nuclear (IBTEN), institución que es parte del ministerio de Desarrollo Sostenible y Planificación.

Los laboratorios tienen como principal objetivo la utilización de las técnicas analíticas nucleares y convencionales en el análisis inorgánico de diversos tipos de muestras.

Las técnicas usadas son:

- Análisis por Fluorescencia de Rayos X: Energía de Dispersión y Reflexión Total
- Análisis por Espectroscopía Nuclear Gamma.
- Análisis por Espectroscopía Atómica (Emisión, Absorción y Electrotérmica)
- Análisis por Técnicas Convencionales.

Entre otros objetivos los laboratorios deben:

- Elaborar y desarrollar proyectos de investigación medio ambientales en el ámbito interno.
- Ejecutar proyectos de interés nacional, en cooperación con el OIEA y trabajo mediante convenios con otras Instituciones interesadas.
- Prestar de servicios de análisis a instituciones gubernamentales y/o privadas y personas particulares.
- Elaborar trabajos de investigación con instituciones que tienen un interés similar.
- Apoyar a la elaboración de proyectos universitarios de grado.

SERVICIOS QUE PRESTAN LOS LABORATORIOS DE QUÍMICA DEL CIN

Análisis físico-químico de suelos

- Análisis químico de suelos
- pH en agua (1:5)
- Conductividad eléctrica (1:5) mmhos.cm⁻¹
- pH en cloruro de potasio (1:5)
- Acidez de cambio meq.100 g⁻¹
- Cationes de cambio (Na, K, Mg, Ca) meq.100 g⁻¹
- Capacidad de intercambio catiónico meq.100 g⁻¹
- Porcentaje de saturación %
- Materia orgánica %
- Nitrógeno total %
- Fósforo asimilable ppm P

Análisis físico de suelos

- Textura: arena, arcilla, limo %

Otros análisis químicos

- Análisis de extractos de suelos
- Carbono orgánico %
- pH en cloruro de calcio
- Carbonato total g CaCO₃
- Acidez hidrolítica meq.100 g⁻¹
- Nitrato-n y amonio-n meq.kg⁻¹
- Boro soluble o disponible ppm B
- Elementos pesados (Zn, Mo, Co, S, Se, Fe, Mn, Cd, Hg, Cu) ppm

Otros análisis físicos

- Humedad %
- Curvas de retención de humedad
- Análisis de densidad real, densidad aparente, porosidad
- Capacidad de campo %
- Índice de marchitez permanente

Análisis físico-químico de aguas (aguas naturales, potables, de riego)

- Tipo de análisis
- Aspecto
- Olor
- Color UC
- Turbiedad
- Sólidos Totales, en suspensión, disueltos mg.l^{-1}
- pH
- Conductividad Eléctrica mmhos.cm^{-1}
- Cationes (Sodio, Potasio, Magnesio, Calcio) mg.l^{-1}
- Dureza total % CaCO_3
- Oxígeno disuelto %
- Alcalinidad Total $\text{mg.l}^{-1}\text{CaCO}_3$
- de Bicarbonato $\text{mg.l}^{-1}\text{CaCO}_3$
- de Carbonato $\text{mg.l}^{-1}\text{CaCO}_3$
- de Hidróxidos $\text{mg.l}^{-1}\text{CaCO}_3$
- Acidez Total $\text{mg.l}^{-1}\text{CaCO}_3$
- de Minerales $\text{mg.l}^{-1}\text{CaCO}_3$
- de Anhídrido Carbónico $\text{mg.l}^{-1}\text{CaCO}_3$
- Fosfatos mg.l^{-1}
- Boro mg.l^{-1}
- Amonio mg.l^{-1}
- Hierro Total mg.l^{-1}
- Manganeso mg.l^{-1}
- Sulfatos mg.l^{-1}
- Nitratos, nitritos mg.l^{-1}
- Cloruros mg.l^{-1}
- Elementos pesados (Zn, Sb, As, Pb, Hg, Cu, Ni, Se, Ag, Cr, Co) mg.l^{-1}

Análisis físico-químico de muestras orgánicas (fertilizantes, estiercol, material vegetal, etc.)

Pretratamiento (Secado, Molienda, Tamizado)

- Materia seca %
- Humedad %

Análisis de macronutrientes

- Carbono Orgánico %
- Nitrógeno Total %
- Fósforo Total %
- Potasio Total %

Análisis de micronutrientes

- Calcio mg.l^{-1}
- Hierro mg.l^{-1}
- Magnesio mg.l^{-1}
- Sodio mg.l^{-1}
- Otros elementos pesados (Zn, Cu, Sb, Co, Mn) mg.l^{-1}

Otros análisis

- Aluminio mg.l^{-1}
- Azufre mg.l^{-1}
- Boro mg.l^{-1}
- Carbono total mg.l^{-1}
- Cloro mg.l^{-1}
- Elementos pesados (As, Cr, Hg, Mo, Ni, Pb, Se) mg.l^{-1}

- Fluoruro mg.l⁻¹
- pH (en agua 1:5)
- Conductividad Eléctrica (en agua 1:5) mmhos.cm⁻¹
- Nitrógeno – Amonio mg.l⁻¹
- Nitrógeno – Nitratos mg.l⁻¹
- Proteínas %
- Materia Orgánica %

EQUIPAMIENTO

- Sistema de análisis por Fluorescencia de Rayos X – Energía de Dispersión.
- Sistema de análisis por Fluorescencia de Rayos X – Reflexión Total
- Sistema de análisis por Espectroscopía Nuclear – Gamma.
- Generador de Rayos X SEIFERT ISO-DEBYEFLEX 2002
- Equipo de Absorción Atómica PERKIN ELMER 403
- Equipo de Absorción Atómica PERKIN ELMER AANALIST 100
- Horno de grafito PERKIN ELMER 800
- Automuestreador para horno de grafito PERKIN ELMER AS-71
- Sistema para generación de hidruros PERKIN ELMER FIAS 100
- Flamómetro digital GALLENKAMP.
- Espectrofotómetro MILTON ROY 501 y SPECTRONIC 20
- Espectrofotómetro UV – Visible HELIOS ALFA UNICAM
- Potenciómetro digital ORION 701 A.
- Sistema de purificación de agua BARNSTEAD NANOPURE
- Ultracentrifugadora RETSCH
- Digestor rápido LABCONCO, para análisis de nitrógeno.
- Sistema de análisis de nitrógeno HERAEUS
- Ollas de presión SOILTEST
- Sistema de análisis de textura SOILTEST
- Balanzas Analíticas SARTORIUS.
- Humidímetro digital COLE PARMER
- Destilador de ácidos subboiling KÜRNER
- Cámara de flujo laminar FISCHER
- Mufflas FISHER y SPAME, Estufas de secado HERAEUS
- Analizador NOI-5, para N-15 con sistema de alto vacío.
- Sondas neutrónicas
- Cintilador BECKMAN.

TRABAJOS CON FERTILIZANTES MARCADOS

El IBTEN dispone de la capacidad para trabajar en campo con fertilizantes marcados como N-15 y P-32, sus laboratorios cuentan con el equipo necesario para cuantificar dichos elementos, además cuenta con sondas neutrónicas para la cuantificación de humedad en el campo y a profundidades diversas.

El IBTEN trabajó con fertilizantes marcados (P-32 y N-15) en papa, cebada, quinua con resultados alentadores, pero por falta de recursos no ha podido continuar. En la actualidad se están elaborando contratos de investigación y proyectos con el OIEA a fin de utilizar esos fertilizantes en cultivos andinos y en lo previamente indicado.

ACCIONES DE CONTROL DE LA CALIDAD

Entre las acciones de control de calidad que el laboratorio de análisis lleva adelante están:

- Manual de control de la calidad.
- Empleo de normas y métodos estandarizados internacionalmente reconocidos
- Participación en ejercicios de intercomparación de resultados.
- Uso de estándares adecuados.
- Uso de material de referencia.
- Confidencialidad, auditorías internas, control de no conformidades.

CONCLUSIONES

- El laboratorio mediante el uso de las técnicas analíticas nucleares contribuye a la utilización de la energía nuclear con fines pacíficos, objetivo principal del IBTEN.
- Los servicios de análisis que presta el laboratorio están al alcance de cualquier institución o persona interesada, teniendo la seguridad de un servicio garantizado, con personal experimentado y metodología moderna.
- El laboratorio se encuentra en la capacidad de satisfacer los análisis indicados de manera óptima, el CIN ha prestado y viene prestando su cooperación a la formación de nuevos profesionales mediante la elaboración de proyectos de grado en sus laboratorios de egresados, mediante convenios con las universidades de origen.
- El laboratorio apoya y participará en cualquier actividad que redunde en beneficio de los laboratorios del país, como ser ejercicio de intercomparación de resultados, reuniones para uniformar metodologías y reportes de resultados.



FOTO N° 1. Generador de rayos XY cadena de espectroscopía



FOTO N° 2. Sistema de análisis por FRX – reflexión total



FOTO N° 3. Sistema de análisis por FRX – energía de dispersión.



FOTO N° 4 . Generador de nitrógeno líquido

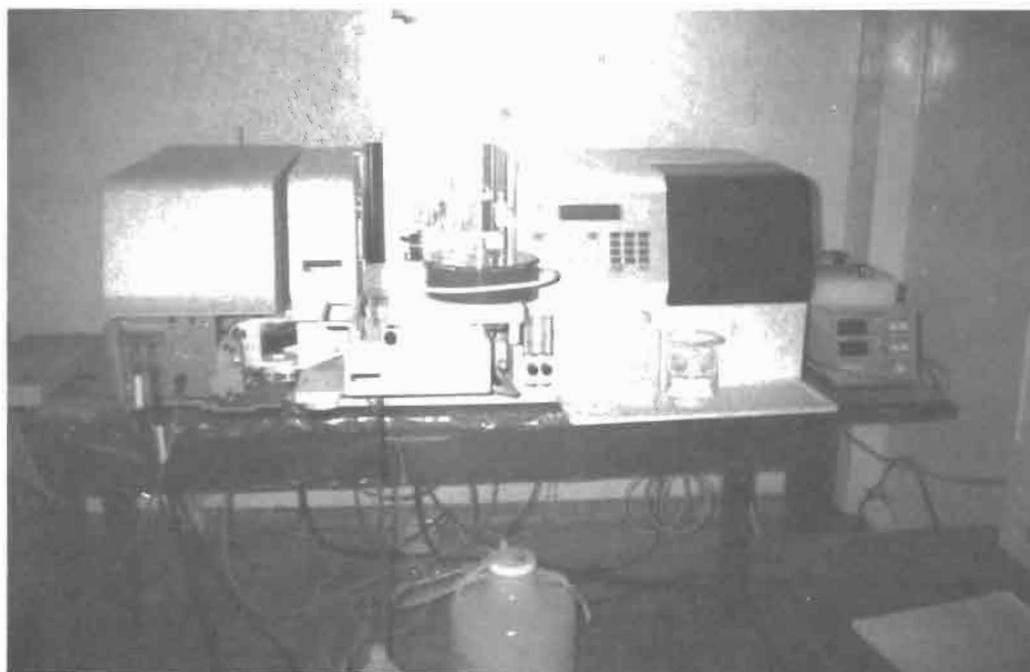


FOTO N° 5. Sistema de absorción atómica y horno de grafito Aanalyst 100



FOTO N° 6. Equipo de absorción atómica Perkin Elmer 403



FOTO N° 7. Sistema de purificación de agua Nanopure.



FOTO N° 8. Estufas secadoras de muestras y agitador mecánico



FOTO N° 9. Ultracentrifugadora Rescht



FOTO N° 10 . Olla de presión



FOTO N° 11 . Vibradoras y agitadores para física de suelos



FOTO N° 12. Flamómetro, medidor O₂ disuelto, centrifugadora ,conductivímetro.

El sistema de clasificar suelos de acuerdo con su fertilidad y su aplicación en el trópico de Cochabamba

José G. Salinas Castro¹

¹ Consultoría Nacional e Internacional en Manejo y Conservación de Suelos. Ramón Rivero E-0879. Casilla 943, Teléfono/ fax (591-4) 253413. Cochabamba, Bolivia. email: jsalinas@bo.net.

RESUMEN

El conocimiento de las capacidades de un suelo (potencial) y los factores internos y externos que las afectan (problemas o limitaciones) ayuda a planificar el futuro que se desea para nuestras tierras, esperando que tengan una mayor productividad y menos problemas de degradación. Las capacidades de los suelos están gobernadas por factores de suelo que pueden ser modificados por la forma como se los maneja.

Para cerrar la brecha entre las subdisciplinas de clasificación y fertilidad de suelos fue desarrollado un Sistema de Clasificar Suelos de acuerdo con su Fertilidad (Fertility Capability Classification System, FCC). Como sistema de clasificación técnica de suelos, FCC está dirigido hacia un uso específico, derivado de sistemas de clasificación natural de suelos, como la Taxonomía de Suelos (Soil Survey Staff, 1975) o la leyenda del Mapa Mundial de Suelos (FAO/UNESCO 1971-1978). Los sistemas naturales de clasificación de suelo dan mayor importancia al subsuelo (el horizonte diagnóstico) que a las características de la capa superior del suelo, debido a su carácter más permanente, mientras que la mayoría de las prácticas de manejo de suelos están relacionadas a la capa arable. El término "capa superior del suelo" se refiere a la capa arable o a los 20 cm superiores del suelo. El término "subsuelo" comprende el intervalo de profundidad entre la capa superior del suelo y el límite de 50 cm debajo de la superficie. Existen actualmente sistemas técnicos de clasificación de suelos para varios fines específicos tales como: la capacidad de uso de los suelos, su aptitud para tanques sépticos, para bosques, para animales salvajes, pastos y para la construcción de carreteras y aeropuertos. El FCC es el primer sistema de clasificación técnico de suelos agrícolas que los agrupa de acuerdo con sus limitaciones en cuanto a la fertilidad. Este sistema usa parámetros cuantitativos de la capa superior del suelo, así como, algunas características del subsuelo directamente vinculadas con el crecimiento y la producción de cultivos. En el sistema FCC se da énfasis a las propiedades del horizonte Ap, debido a su importancia en la fertilidad de suelos. Los suelos en el sistema son clasificados a tres niveles: Tipo, Tipo de Substrato y Modificadores. El tipo está basado en la textura de la capa arable o de los primeros 20 cm del suelo. El tipo de substrato es la textura del subsuelo por debajo de la capa arable hasta 50 cm de profundidad. Los modificadores son propiedades físicas y químicas que afectan el crecimiento de las plantas, la respuesta de los fertilizantes y/o una consecuencia del manejo que se dio al suelo.

Los suelos del trópico de Cochabamba, comúnmente llamado Chapare, son altamente variables, especialmente en sus características relativas a la producción de cultivos. Las características edáficas varían significativamente en distancias cortas y estas variaciones se deben principalmente a las diferencias fisiográficas y material parental. En pocas áreas, suelos con alto contenido de nutrimentos pueden producir elevados rendimientos sin la aplicación inicial de fertilizantes o cal. Mientras que muchos otros suelos son bajos en nutrimentos y alto contenido de aluminio intercambiable que producen bajos rendimientos sin la aplicación de fertilizantes y cal. Muchas áreas son bien drenadas y otras mal drenadas. Muchas otras combinaciones de factores limitantes físicos y químicos existen en los suelos del Chapare. En conclusión, los suelos del Chapare con relación a sus características físicas, químicas, fertilidad, manejo o adaptabilidad de cualquier cultivo no pueden generalizarse. Debido a esta variación y limitaciones surge la necesidad de tener un sistema de clasificación de suelos que identifique las principales limitaciones edáficas para la producción de cultivos y para las recomendaciones del uso de fertilizantes y enmiendas agrícolas.

Aplicando el Sistema de Clasificación de Suelos de acuerdo con su fertilidad, se ha encontrado que la mayoría de los suelos en muchas áreas del Chapare presentan limitaciones en cuanto a la acidez y toxicidad de aluminio, bajas reservas de potasio y saturación de agua debida al mal drenaje. El sistema FCC puede ser usado como una herramienta útil para identificar áreas con suelos adecuados o no para cultivos específicos y para aplicar técnicas de manejo.

INTRODUCCION

Se puede afirmar de una manera general que una gran parte de las tierras en Bolivia ha sido y es utilizada sin considerar inicialmente el tipo de uso más adecuado y cual es el efecto ambiental de los diferentes usos. Muchos tipos de uso de la tierra, agrícolas o no, fueron y son aplicados de manera

empírica, lo que resulta en pobreza y abandono de tierras, degradación ambiental, explotación económicamente ineficiente y pérdida de recursos naturales como suelo y agua. La mejor forma de uso de la tierra depende de la interacción de condiciones económicas, sociales, políticas y culturales, en adición a las características del suelo y su respuesta al uso y manejo.

En la actualidad se comprende que el principal remedio para combatir la degradación de tierras no es la "conservación del suelo" sino "el mejor manejo de las tierras", a lo cual es necesario agregar como prácticas de apoyo las obras convencionales de conservación de suelos. La alteración del equilibrio del énfasis hacia el mejor manejo de tierras trae como consecuencia dos beneficios adicionales como son la estrecha integración de la conservación al sistema agrícola y el fortalecimiento de la relación entre la población rural y sus tierras.

Las tierras, en un sentido económico, tienen muchos atributos como el tamaño de la propiedad agrícola, la disponibilidad o proximidad del agua y de otras tierras agrícolas, las facilidades de transporte y de mercado (FAO, 1976). Las tierras varían en sus características, siendo que esa variación afecta el uso de las tierras, pues para cada tipo de uso existen tierras más o menos aptas física y económicamente, esto es, en cuanto a la productividad y en cuanto al retorno del capital invertido. Siendo la variación de las tierras en gran parte sistemática y provocada por factores conocidos, esta puede ser mapeada, separándose áreas homogéneas. Esas áreas particularizadas pueden tener un comportamiento previsto con algún grado de certeza cuando son sometidas a algún tipo de uso y manejo. Ese grado de certeza depende de la calidad de los datos disponibles y del conocimiento empleado para relacionar las características de la tierra con su respuesta al uso y manejo que se dé.

La evaluación de las tierras es el proceso de avalar la respuesta de ellas cuando son usadas para fines específicos. Este proceso permite que se haga una planificación racional del uso de las tierras, un uso adecuado y sostenible ambientalmente, así como un uso económico de los recursos naturales y humanos. En consecuencia, es necesario contar con un sistema de evaluación de las tierras que utilice parámetros objetivos y que pueda ser aplicado en cualquier escala, desde un reconocimiento general hasta la planificación individual de las propiedades agrícolas, que sea adecuada a las condiciones locales y considere los aspectos socioeconómicos involucrados en cada tipo de uso y manejo de la tierra, así como ser aplicable a la mayoría de las situaciones de disponibilidad de recursos naturales.

El sistema de clasificar suelos de acuerdo con su fertilidad (FCC) puede ser un instrumento valioso para conocer las capacidades de un suelo (potencial) y los factores internos y externos que lo afectan (problemas o limitaciones), conocimiento que ayuda en la planificación del mejor uso y manejo de ese suelo, esperando que tenga una mayor productividad y menos problemas de degradación.

La región tropical del departamento de Cochabamba está ubicada entre los paralelos 16°10' y 17°10' de latitud sur y en los meridianos 64°15' y 65°50' de longitud oeste considerando los puntos extremos (PIDYS, 1989). Esta región ocupa el sector central de Bolivia, correspondiendo en parte a las provincias de Carrasco, Tiraque y Chapare, respectivamente y a lo largo del piedemonte de la faja subandina de la cordillera Oriental (UNDCP, 1993). Limita al sur con la faja subandina de la Cordillera Oriental o Cordillera del Tunari, al oeste con la Cordillera de Mosestenes, al este con el río Ichilo y al norte, con el río Sécore, pero sin un límite definido con el departamento del Beni (PRODES, 1981; UNDCP, 1993).

La región del Chapare tiene un área usualmente referida como 2.49 millones de hectáreas (PIDYS, 1989), pero un estudio completo y detallado no fue realizado hasta el presente. Algunas medidas variables de 2.5 millones. (Alvarado, 1986), 3.4 millones. (UNDCP, 1993), 2.45 millones. (OAS-GOB) y 2.96 millones de hectáreas (Legislación Gubernamental) son registradas también. Tomando un valor promedio de 2.7 millones, esta región sería equivalente al 2% del territorio Boliviano (1'098,581 Km²), cincuenta por ciento del departamento de Cochabamba (55,637 km²) y el 7% de la región amazónica boliviana (360,000 km²).

Con base en diferentes documentos de la legislación boliviana, la región tropical de Cochabamba (2.96 millones hectáreas) está dividida en cinco extensos territorios:

(1) el Parque Nacional Isiboro-Sécore cubriendo cerca de un tercio de esta región (900,000 hectáreas), (2) el Parque Nacional Carrasco con 622,600 hectáreas (21%), (3) el Territorio Yuqui con 115,000 ha. (4%), (4) la Reserva Forestal cubriendo un área de 428,000 ha. (14%) y (5) el Bosque de Uso Múltiple con otro tercio del área (892,600 ha.).

El trópico de Cochabamba pertenece al bosque alto subtropical muy húmedo (BaSmh) (Montes de Oca, 1989). En consecuencia, la región es bastante húmeda y una de las más lluviosas del país. La precipitación pluvial que está influida por efectos orográficos (Morris, 1983), oscila entre los 7000 mm anuales hacia el sudoeste (zona montañosa) y disminuye hacia el este hasta 2000 mm como promedio anual. Los meses de verano (octubre-marzo) son los más lluviosos y los meses de invierno (mayo-septiembre) son los menos lluviosos (Pinto, 1982; Ferrufino, et al, 1992). La evapotranspiración potencial no difiere notoriamente entre las localidades y varía entre 1351 y 1373 mm/año (Tosi, 1983), presentando una tendencia a ser menor en los meses de invierno (Ferrufino, et al., 1992). La temperatura promedio es de 25°C, con un rango promedio anual entre 19°C y 27°C. Sin embargo, durante el verano se registran temperaturas no usuales de 40°C y en los meses de invierno existe una reducción de la temperatura promedio, debido a la influencia de los "surazos" o masas frías que penetran por la parte este de las tierras bajas de Bolivia, desde las pampas argentinas (Tosi, 1983). La región tropical de Cochabamba forma parte de la cuenca hidrográfica del Amazonas y está atravesada por numerosos ríos, destacándose entre ellos el Chapare, Sécore, Chimoré, Sajta e Ichilo; ríos considerados importantes.

Los indígenas originarios del Chapare tienen una clasificación de suelos basada en una lógica de subsistencia y respecto a la naturaleza. Por ejemplo, ellos indican que existen los siguientes suelos:

- Lubujle-ele: Tierra arenosa, buena y sirve para cultivar yuca, arroz, papa de monte, camote, walusa y maíz.
- Bolohs lubujlu: Tierra de arena blanca, regular y sirve para cultivar yuca, arroz, papa de monte, camote, walusa y maíz.
- Tujusha-ele: Tierra dura como greda, no sirve para el cultivo.
- Sepisha-ele: Tierra dura, solo sirve para cultivos de caña de azúcar.
- Lololo-ele: Tierra como barro, no sirve para el cultivo.
- Taba-tab-ele: Tierra roja. Se encuentra cerca a la montaña y sirve para cultivar arroz, maíz, yuca y plátano. (Paz, 1991).

Geológicamente, la formación del trópico de Cochabamba corresponde a los periodos Terciario y Cuaternario, destacándose dos ámbitos fisiográficos: (A) la Faja Subandina y (B) la Llanura Amazónica. La región subandina es una unidad morfoestructural de tipo aluvión cuaternaria con un sedimento parcialmente plegado, mezclado con areniscas terciarias (Cochrane, 1978). En ella es común encontrar rocas terciarias, principalmente a lo largo del piedemonte, formando afloramientos de lomeríos y también formando afloramientos aislados en la llanura (Pareja, et al., 1978; Tosi, 1983).

La llanura del trópico cochabambino, la cual pertenece a la Llanura Amazónica, es la unidad morfoestructural cubierta por sedimentos cuaternarios. Este material sedimentario es encontrado en forma de depósitos aluviales recientes a lo largo de casi todos los ríos principales de esta región (Pareja, et al., 1978). Con excepción de la formación ondulada del Terciario, el área es de origen holocénico (reciente), con una fuerte influencia aluvial que se manifiesta en las terrazas altas y medias, meandros abandonados, depresiones temporales o permanentemente inundadas (Tosi, 1983; Alvarado, 1986). El trópico de Cochabamba presenta una fisiografía dividida en seis regiones: montañas, colinas, piedemonte, terrazas altas, terrazas medias y terrazas bajas, en las cuales se identifican y distribuyen 58 unidades fisiográficas denominadas asociación-consociación (Tosi, 1983).

Desde el punto de vista edafológico, los suelos de la región son de origen aluvial y residual. Los suelos aluviales del pleistoceno ocupan las tierras bajas en la parte norte de la región y de acuerdo a la taxonomía de suelos (Soil Survey Staff, 1975) se clasifican como entisoles e inceptisoles. Los suelos residuales formados "in situ" de rocas calcáreas, areniscas y sedimentos de esquistos de la edad terciaria, se clasifican como inceptisoles, ultisoles y oxisoles, encontrándose en las terrazas altas. En la parte sud del trópico de Cochabamba se encuentran entisoles e inceptisoles (Alvarado, 1986).

En la región tropical, los suelos de las zonas montañosas son poco profundos, bien drenados y de acidez moderada a fuertemente ácidos. Las colinas tienen suelos ligeramente ondulados, una moderada profundidad y están compuestos de arcillas rojas residuales, son ácidos y presentan contenidos moderados de materia orgánica. En los valles aluviales, los suelos son profundos con mayores contenidos de materia orgánica que los suelos de colinas y montañas. En las áreas aluviales, la textura del suelo y su drenaje varían considerablemente entre una zona a otra, dependiendo del origen del material parental y el patrón de sedimentación de los aluviones (Alvarado, 1986).

En la mayoría de los suelos, una de las restricciones más severas para el crecimiento de los cultivos es la alta saturación de aluminio en el complejo de cambio, la cual ocasiona problemas de toxicidad (Ferrufino, et. al., 1992). Sin embargo, algunas zonas tienen suelos con baja saturación de aluminio y alta saturación de bases (Ca, Mg, K). Estos suelos están localizados generalmente en los valles aluviales donde pueden cultivarse con éxito varios cultivos como el banano y plátano (Morris, 1983). Con relación al nutrimento fósforo, la mayoría de los suelos de la región tienen baja capacidad de adsorción. Por lo tanto, su disponibilidad para ser absorbido por el sistema radicular no es limitante. Sin embargo, algunos suelos con altos contenidos de sesquióxidos de aluminio y de hierro como los suelos de las zonas de Paractito y Mariposas, presentan baja disponibilidad de fósforo (Salinas, et al., 1991).

El sistema de clasificar suelos de acuerdo con la fertilidad (FCC)

Este sistema desarrollado con el propósito de cerrar la brecha entre las subdisciplinas de clasificación y fertilidad de suelos (Buol, 1972; Buol et al., 1975). Como sistema de clasificación técnica de suelos, FCC está dirigido hacia un uso específico, derivado de sistemas de clasificación natural de suelos, como la taxonomía de suelos (Soil Survey Staff, 1975), la leyenda del mapa mundial de suelos (FAO-UNESCO, 1971, 1974, 1977). Los sistemas naturales de clasificación de suelos dan más importancia al subsuelo que a las características de la capa superior del suelo, debido a su carácter más permanente, mientras que la mayoría de las prácticas de manejo de suelos están relacionadas a la capa arable.

El sistema de clasificar suelos de acuerdo a su fertilidad (FCC) es el primer sistema de clasificación técnica de suelos que los agrupa acorde con sus limitaciones en cuanto a su fertilidad y de una manera cuantitativa. El término "capa superior del suelo" se refiere a la capa arable o a los 20 cm superiores del suelo. El término "subsuelo" comprende el intervalo de profundidad entre la capa superior del suelo y el límite de 50 cm debajo de la superficie. Este sistema agrupa a suelos que tienen similares características inherentes con relación a su fertilidad. El término fertilidad es usado en este sistema en el sentido de la adaptabilidad de los suelos para su manejo y la producción de cultivos, en vez del sentido común en que fertilidad se refiere a un contenido elevado de nutrimentos en el suelo. Identifica características edáficas que limitan el manejo de los suelos y la producción de cultivos. Los suelos pueden ser agrupados con relación a necesidades similares de manejo, de manera que estos grupos de suelos pueden ser utilizados para aplicar tecnología existente o desarrollar nuevas tecnologías para solucionar limitaciones identificadas. El sistema FCC no proporciona recomendaciones específicas sobre el manejo de la fertilidad, pero sí describe problemas generales de fertilidad que son la causa limitante en la producción de cultivos. El sistema asume que tanto fertilizantes como materiales encalantes serán aplicados como práctica normal de manejo. La identificación de limitaciones edáficas mediante el sistema FCC indica la necesidad de aplicar insumos y prácticas de manejo, normalmente empleados en la producción agrícola comercial.

Las clases en el sistema FCC son indicadores directos del grado de fertilidad o de problemas de manejo que pueden ser aplicados directamente al manejo del suelo. Un sistema de clasificación como la taxonomía de suelos (Soil Survey Staff, 1975), clasifica los suelos de acuerdo a características genéticas, morfológicas y químicas. Las clases taxonómicas no son directamente expresadas en términos de fertilidad de suelos y manejo, en consecuencia requieren de una interpretación adicional para ser usadas en el manejo de los suelos. En el sistema FCC, la clasificación por sí misma proporciona la interpretación y las características del suelo que afectan el uso y manejo del mismo.

Unidades de clasificación del sistema FCC

El sistema FCC está compuesto de tres categorías: (1) Tipo (textura de la capa superior del suelo); (2) Tipo de Substrato (textura del subsuelo) y (3) Modificadores (propiedades físicas y químicas que limitan el manejo y productividad de los suelos). La combinación de las tres categorías forma una Unidad del Sistema FCC.

Las unidades del sistema FCC incluyen símbolos de letras para representar los tipos de suelo y los modificadores. Se utilizan letras mayúsculas para identificar el tipo superficial y subsuelo y letras minúsculas para identificar a los modificadores. Un ejemplo de una unidad de clasificación es "Lak", donde "L" es el tipo de suelo, "a" y "k" son los modificadores.

Símbolos para tipo identifican texturas de la capa arable y del subsuelo. Tipos de la superficie representan la textura de los primeros 20 cm del suelo y tipos del subsuelo representan la textura de 20 a 50 cm de profundidad. Si el tipo superficial y del subsuelo son los mismos, solo se usa un símbolo, pero si la textura es diferente en ambas capas, se usan dos símbolos. Los símbolos para los

modificadores identifican limitaciones para el manejo y productividad de los suelos. Estos modificadores representan condiciones que existen dentro los primeros 50 cm de profundidad del suelo y un suelo puede tener más de un modificador. En el cuadro 1 se dan las definiciones de los tipos, tipos de substrato y modificadores más importantes con relación a los suelos del trópico de Cochabamba (Monteith, 1994; Monteith et al., 1995).

CUADRO 1. Interpretación de los tipos y principales modificadores del Sistema FCC con relación a los suelos del trópico de Cochabamba (Monteith, 1993, 1994, 1995).

Tipo	Interpretación
Superficial y Subsuelo S L C O R	Textura arenosa y franco arenosa (Por definición del Departamento de los Estados Unidos). Textura franca: < 35% de arcilla excepto arena y franco arenosa. Textura arcillosa: > 35% de arcilla. Suelos orgánicos: > 30 % de materia orgánica hasta una profundidad de 50 cm o más. Roca u otra capa dura que impide el desarrollo de raíces.
Modificadores	Interpretación
A H g- g g+ k k+ e	Saturación de aluminio: > 60% en cualquier capa de los primeros 50 cm del suelo. Saturación de aluminio de 10 a 60% en cualquier capa de los primeros 50 cm del suelo. Poco o no moteado gris en los primeros 20 cm y ausencia de matriz moteada gris en los primeros 50 cm del suelo. Moteado común o abundante en los primeros 20 cm o presencia de una matriz moteada gris en los primeros 50 cm o menos del suelo, pero sin llegar a la superficie. Todas las capas en los 50 cm presentan una matriz gris. Bajo contenido de potasio intercambiable en cualquier capa dentro los 50 cm superiores. Definido como sigue: Tipos Franco (L): < 0.24 meq/100g suelo, excepto tipos L con modificadores g-, g, g+: < 0.14 meq.100g ⁻¹ suelo. Tipos Arenosos (S): < 0.14 meq.100g ⁻¹ suelo. Tipos Arcillosos: < 0.34 meq.100g ⁻¹ suelo. Minerales meteorizables < 10% en adición al criterio anterior k. Capacidad de Intercambio Catiónico Efectiva < 4 meq.100g ⁻¹ suelo.

Definiciones:

- Gris : Color de Chroma (Tabla Munsell) 2 o menos.
- Poco moteado: El moteado cubre menos del 2% del horizonte.
- Moteado común: El moteado cubre 2 a 20% del horizonte.
- Mucho moteado: El moteado cubre más del 20% del horizonte.
- Matriz: La mayor parte del horizonte (> 50%)
- CICE: Capacidad de Intercambio Catiónico Efectiva - La suma de cationes intercambiables (Ca, Mg, K, Al).
- Saturación de aluminio: El porcentaje de ECEC que es ocupado por aluminio. Por ejemplo: si un suelo tiene 2 meq/100g Ca, 1 meq Mg, 2 meq K y 5 meq Al, la CICE es 10 meq/100g suelo y la saturación de aluminio es 50% [(Al/CICE) x 100].
- Pendiente: En áreas con pendiente significativa, ésta se muestra entre paréntesis en el Sistema de Clasificación FCC. La pendiente se expresa en porcentaje que representa los metros de cambio en altura por 100 metros de distancia horizontal. Por ejemplo: una pendiente de 20% significa 20 metros por cada 100 metros de distancia horizontal.

Interpretación y manejo de los tipos texturales

L (Suelos Francos): Este tipo textural tiene las menores limitaciones que cualquier otro tipo textural para la producción de cultivos. Tipos texturales L son favorables por su drenaje interno y permeabilidad. Cuando existe excesiva saturación con agua en un tipo textural L, es debido usualmente a una capa freática alta o inundación y no a una lenta permeabilidad. Texturas L son fáciles de cultivar y la germinación de semillas y la emergencia de plántulas no tienen dificultad, así como el fácil crecimiento de las raíces. El contenido de arcilla es usualmente bastante para producir una CICE que puede absorber cationes y prevenir su lixiviación. Tipos texturales L tienen la más alta capacidad de retención de agua disponible que cualquier otro tipo textural. Sin embargo, este tipo textural está sujeto a compactación por tráfico humano o por el uso de implementos de labranza. Por lo tanto, el empleo de prácticas que evitan la compactación tales como el limitado tráfico, la no-labranza durante períodos húmedos y el mantenimiento de coberturas de cultivos deberían ser empleados.

S (Suelos arenosos): Estos suelos están limitados para la producción de cultivos primariamente por su baja CICE y bajo contenido de nutrimentos. La permeabilidad de estos suelos es rápida y el agua se mueve a través éstos suelos rápidamente. Esta rápida permeabilidad también permite la rápida lixiviación de nutrimentos. Existe una rápida pérdida de nutrimentos después de la tumba y quema del bosque o después de la aplicación de fertilizantes. La capacidad de retención de agua disponible es baja en tipos texturales S, pero éste es sólo un problema en períodos secos, los cuales normalmente no son frecuentes en el Chapare. Manejo de prácticas para suelos arenosos incluye el aumento de la materia orgánica para aumentar la CICE y la capacidad de retención de agua. Cultivos adaptados a condiciones de sequía deberían ser seleccionados.

C (Suelos arcillosos): Las propiedades físicas de los suelos arcillosos a menudo crean problemas de manejo. La permeabilidad puede ser lenta y los suelos son a menudo saturados con agua y presentan colores grises, lo cual es un indicativo de períodos de saturación con agua. Sin embargo, suelos arcillosos en posiciones altas del paisaje tienen buena estructura y son bien drenados. La CICE de suelos arcillosos es generalmente más alta que la de suelos con menor contenido de arcilla. Por lo tanto, la pérdida de nutrimentos a través lixiviación es más lenta, pero cantidades mayores de fertilizantes y materiales encalantes son necesarias para cambiar el pH o la saturación de bases de estos suelos. El agricultor debería seleccionar sitios bien drenados con buena estructura o cultivos adaptados para condiciones húmedas y acidez.

Explicación de los modificadores de la clasificación FCC y su interpretación para el manejo de suelos en el trópico de Cochabamba

e: Suelos con baja capacidad de intercambio catiónico efectiva (CICE). CICE es la capacidad de los suelos para absorber positivamente iones cargados (cationes) la cuál incluye calcio, magnesio, potasio y aluminio. Cationes absorbidos son retenidos de tal manera que están disponibles para las plantas, pero no fácilmente perdidos por lixiviación. Las fuentes más grandes de CICE en los suelos son arcillas y material orgánico. Suelos con baja CICE no pueden retener bastantes cationes para producir rendimientos económicos. Fertilizantes aplicados corren el riesgo de perderse por lixiviación.

Manejo: Prácticas de manejo que pueden mejorar la CICE, incluyen la elevación del pH, el aumento del contenido de materia orgánica y la aplicación con mayor frecuencia de fertilizantes en pequeñas cantidades. Elevando el pH puede aumentarse la carga variable de ciertas arcillas y de la materia orgánica. La materia orgánica tiene una alta capacidad de intercambio catiónico y por lo tanto el aumento del contenido de la materia orgánica del suelo puede aumentar significativamente la CICE del suelo. Cultivos de cobertura pueden reducir la pérdida de nutrimentos por lixiviación. Los suelos en las microregiones I y IV tienen relativamente una baja CICE, en un rango de 5 a 15 meq.100g⁻¹ de suelo y la precipitación lluviosa es alta. Por lo tanto, es ventajoso aplicar éstas prácticas de manejo aún cuando un suelo podría no tener efectivamente un modificador 'e'. Esto es especialmente cierto para suelos arenosos y suelos con bajos contenidos de materia orgánica o arcilla.

a y h: Los modificadores a y h están asociados con la toxicidad de aluminio y acidez del suelo. La diferencia entre estos dos modificadores es el grado en que estos problemas y los correspondientes efectos tiene sobre la adaptabilidad del cultivo y el crecimiento de las plantas. El problema de acidez y toxicidad de aluminio es una de las más serias limitaciones para el cultivo de plantas en suelos del Chapare.

Los modificadores a y h, son indicadores de la saturación de aluminio en el suelo (ver la definición previa sobre saturación de aluminio) y que constituye el más serio efecto de acidez en un suelo y es

tóxico para las raíces. El cuadro 2 muestra los porcentajes de saturación de aluminio que varios cultivos pueden tolerar. Sin embargo, reducciones en rendimiento debidas a la toxicidad de aluminio pueden observarse a niveles por debajo de aquellos en que los síntomas de toxicidad ocurren. Otros problemas causados por acidez incluyen reducida disponibilidad de nutrimentos, especialmente calcio y magnesio. Excesiva acidez puede también producir toxicidad de hierro y manganeso y condiciones desfavorables para microorganismos beneficiosos.

Manejo: La mejor solución para la toxicidad de aluminio y otros problemas relacionados el encalado (cal agrícola, dolomita). La publicación de Iriarte y Quiroga, DAI en 1993, tiene una buena discusión sobre materiales encalantes y detalles sobre cantidades y métodos de aplicación. Otros manejos alternativos incluyen selección de cultivos y variedades tolerantes a la acidez o selección de tierras menos ácidas.

CUADRO 2. Tolerancia de algunos cultivos y pasturas tropicales a la saturación de aluminio (Monteith, 1994, Salinas y Sánchez, 1983).

Cultivo	Saturación de aluminio (%)
Arroz	70
Banano	40
Cítricos	50
Frijol	10
Maíz	25
Maracuyá	30
Pimienta	30
Piña	60
Palmito	50
Yuca	75
Soya	10
Pasturas tropicales	
<i>Brachiaria humidicola</i>	90
<i>Andropogón gayanus</i>	80
<i>Brachiaria decumbens</i>	70
<i>Panicum máximum</i>	30
<i>Stylosanthes capitata</i>	90
<i>Stylosanthes guianensis</i>	30
<i>Desmodium ovalifolium</i>	80
<i>Leucaena leucocephala</i>	20

g-, g, g+: Estos modificadores indican saturación con agua en varios grados. La letra g representa el proceso de gleización, en el cual el hierro en el suelo es reducido durante condiciones de saturación con agua. La saturación con agua produce condiciones anaeróbicas, las cuales causan reducción del hierro y que produce un color gris en el suelo. Condiciones anaeróbicas pueden dañar o matar las raíces. La severidad del daño depende del grado de tolerancia de la planta y la duración de la saturación en condiciones anaeróbicas. Algunos cultivos como el arroz son tolerantes a condiciones anaeróbicas. Otros cultivos tales como el maracuyá o la pimienta no pueden tolerar condiciones anaeróbicas. El modificador g- indica saturación por cortos períodos, los cuales usualmente no alcanzan la capa superficial. El modificador g indica saturación a largo plazo en el subsuelo y saturación intermitente en la capa superficial. El modificador g+ indica saturación a largo plazo en todas las capas hasta la superficie. El cuadro 3 ilustra el grado de adaptación o tolerancia de algunos cultivos a la saturación con agua como es indicado por el respectivo modificador.

Manejo: La selección de cultivos adaptados a las condiciones existentes de humedad es el mejor método de manejo. Sistemas de drenaje son necesarios en algunos lugares, pero en muchos de ellos no son prácticos a causa de las condiciones topográficas o no son económicamente factibles y no son recomendados.

CUADRO 3. Grado de adaptación o tolerancia de varios cultivos a la saturación con agua en función del respectivo modificador (Monteith, 1994).

CULTIVO	g-	g	g+
Arroz	1	1	1
Banano	2	3	3
Cítricos	2	3	3
Maíz	2	3	3
Maracuyá	3	3	3
Pimienta	3	3	3
Piña	3	3	3
Palmito	2	3	3

Interpretación:
 1. Adaptado o tolerante
 2. No bien adaptado, pero algunas variedades tolerantes pueden producir bajo un buen manejo
 3. No adaptado

k: Suelos con baja capacidad para suministrar potasio (K). El modificador k indica suelos que necesitan la aplicación de fertilizantes potásicos para suministrar la mayor parte de los requerimientos de K del cultivo en comparación a suelos que suministran una cantidad substancial de potasio de una manera sostenible a través de la mineralización de minerales ricos en potasio. El potasio existe en los suelos en dos formas: (1) en la forma disponible para las plantas o K adsorbido, y (2) potasio en formas insolubles en minerales no disponibles para las plantas. El potasio en formas minerales cambia lentamente a formas disponibles para las plantas a través del proceso de mineralización. El contenido de potasio más común está en los minerales como micas y feldspatos. El proceso de mineralización es lento y generalmente la tasa de liberación de potasio de formas minerales es más lento que la tasa de remoción de potasio a través de las cosechas bajo cultivo intensivo.

Según la definición del modificador k, existen dos criterios que pueden determinar si un suelo debería tener el modificador k, un criterio está sobre la base de la cantidad de K intercambiable en el suelo y el otro criterio sobre la base del contenido de minerales meteorizables. El mapeo del sistema FCC en el Chapare ha mostrado que la gran mayoría de los suelos en esta región tienen el modificador k. Casi todos los suelos llenan los requerimientos de K intercambiable; sin embargo, solamente algunos se ajustan a los criterios para contenido bajo de minerales meteorizables. Todos aquellos suelos que reúnen el criterio de "bajo" en minerales meteorizables también reúnen el criterio de bajo potasio intercambiable. Suelos con bajos niveles de potasio intercambiable pero con algún contenido de potasio, proporcionado por minerales, tienen baja o lenta capacidad para proveer potasio y obtener altos rendimientos de los cultivos, éstos suelos pueden suministrar potasio en formas no disponibles o formas lentamente disponibles. Suelos que tienen minerales no meteorizables no tienen suministro de potasio en ninguna forma y por lo tanto no tienen capacidad para suministrar éste elemento, ni siquiera a tasas lentas. Por lo tanto, suelos con bajos niveles de potasio intercambiable y bajas cantidades de minerales meteorizables son identificados con el modificador k+. Suelos con bajas cantidades de potasio intercambiable pero con más del 10% de minerales meteorizables son identificados con el modificador k.

Manejo: Aplicaciones de fertilizantes potásicos son la mejor respuesta para las deficiencias de potasio indicados por el modificador k. Después de repetidas cosechas en un suelo con un modificador k, el suelo puede desarrollar una deficiencia de potasio. Deficiencia que es aún más probable en cultivos con una alta demanda para K, tales como banano o piña. En éstas áreas se requiere de un monitoreo continuo para detectar deficiencias de potasio. No obstante, los rendimientos pueden disminuir antes que los síntomas de deficiencia aparezcan. Por lo tanto, es aconsejable llevar a cabo análisis de tejido vegetal y de suelos, para luego aplicar fertilizantes potásicos de acuerdo con este análisis. Como mínimo, potasio debería ser aplicado a la tasa de remoción de K por las cosechas del cultivo.

Descripción del uso de las unidades fcc en los suelos del trópico de Cochabamba

Una breve descripción de cada una de las unidades del Sistema FCC usadas en el mapeo de suelos en el trópico de Cochabamba se presenta a continuación (Figura 1). Las descripciones incluyen

características físicas y químicas generales de los suelos, su posición fisiográfica, la localización e inclusiones de diferentes suelos en el mapeo de la unidad. Estas inclusiones son áreas de suelos diferentes a la clasificación de suelos indicada en el mapa de suelos. Estas áreas tienen una superficie menor de 4 km² imposibilitando su mapeo debido a la escala o a la intensidad de observaciones en el campo. Las inclusiones discutidas son las de mayor extensión; aunque existen también otras inclusiones de menor extensión.

Lak : Esta unidad consiste en suelos bien drenados con textura francosa sobre terrazas amplias. Éstas terrazas fueron llanuras de inundación de antiguos ríos, los cuales, depositaron sedimentos derivados de una mezcla de material fluvial procedente de los Andes y de colinas locales. Estos sedimentos han sido sometidos a una considerable mineralización y lixiviación desde su deposición. Éstas terrazas están ahora en las elevaciones más altas debido a cambios en los niveles de base a través de la actividad geológica. Las unidades Lak están generalmente sobre las partes más altas de los paisajes, los cuales no se inundan. La principal limitante es la alta saturación de aluminio para la producción de cultivos en esta unidad. Éstos suelos tienen bajo contenido de potasio intercambiable y pueden requerir aplicaciones más altas de lo normal de fertilizantes potásicos para alcanzar y mantener niveles normales de productividad. Estos suelos son bien drenados internamente. Esta unidad es extensa y ocurre a lo largo de las microregiones I y IV. Unidades individuales pueden contener inclusiones substanciales de suelos menos bien drenados tales como Lg-ak. Estos suelos más húmedos se encuentran en depresiones fisiográficas, como en canales antiguos y meandros. Unas pocas unidades pueden también contener áreas con subsuelos arcillosos (LCak), y unas pocas unidades pueden tener áreas con niveles de saturación de aluminio menores a un 60% (Lhak).

Lak+: Los suelos son semejantes a los suelos Lak, pero tienen menos de un 10% de minerales meteorizables en la fracción arena. Las unidades Lak+ están localizadas cerca de la región accidentada y arenosa (serranía) al sur de las microregiones I y IV y están formadas por un aluvión derivado de estas colinas. El material parental en estas colinas, y por lo tanto suelos derivados de estos materiales, tiene contenidos mucho más bajos de minerales meteorizables que los suelos sobre terrazas localizadas al norte. Suelos con el modificador k+ tienen por lo tanto una baja habilidad para suministrar potasio disponible, como también otros nutrimentos, a los cultivos.

Lg-ak: Esta unidad contiene suelos con textura franca a lo largo de la capa superior de los 50 cm y están saturados con agua por breves períodos de tiempo. La saturación de aluminio es alta (> 60%) y el potasio intercambiable es bajo. Estos suelos están en las mismas terrazas como las unidades Lak, pero se encuentran más alejados hacia el norte donde la elevación y el relieve son generalmente más bajos que en las unidades Lak. El humedecimiento es debido fundamentalmente a una capa freática superficial, pero en muchos lugares, el agua puede ser colectada en la superficie debido a las inundaciones. Esta unidad contiene inclusiones de suelos más húmedos (Lgak), en las áreas más bajas y depresiones. Se encuentran además inclusiones de suelos mejor drenados localizados en áreas ligeramente más altas en el paisaje. Ciertas unidades pueden también contener suelos con texturas más arcillosas tal como LCg-ak.

Lak+ (0 a 40%): Estas unidades se encuentran en colinas bajas al norte de la serranía en las microregiones I y IV alrededor de Chipiriri e Isinuta. El paisaje consiste de colinas bajas y terrazas con cimas planas y laderas en declive. Los suelos son semejantes a los suelos Lak+ descritos previamente. Estas áreas son más arenosas en general que las unidades Lak+ y tienen inclusiones de los tipos texturales S y S', respectivamente.

Lak+ y Sak+ (5 a 90%): Estos suelos tienen desde textura franca a textura arenosa en terrenos con bastante pendiente. La saturación de aluminio es alta y el potasio intercambiable es bajo. Estos suelos son bien a excesivamente bien drenados. Estas unidades se encuentran en colinas abruptas en la serranía de la parte meridional de las microregiones I y IV. El área es muy abrupta y los suelos no son recomendables para su cultivo. El material parental consiste de sedimentos muy viejos mineralizados, los cuales tienen altos contenidos de cuarzo y muy bajo contenido de minerales meteorizables. Los

suelos están bastante lixiviados y contienen bajos niveles de nutrientes. La vegetación natural presenta un desarrollo lento. Los suelos apenas contienen suficientes nutrientes como para producir un cultivo después de tumbiar y quemar la vegetación nativa. Las pendientes son inestables y están sujetas a deslizamientos aún bajo vegetación nativa. Esta unidad es una mezcla de texturas francas y arenosas, las cuales no pueden ser separadas en el mapa. Muchas áreas tienen un abundante grava y guijarros. Pocas áreas presentan por debajo un lecho de roca. Esta área presenta una formación delgada de color rojo, parcialmente consolidada de sedimentos arcillosos, los cuales contienen alrededor de un 5 a 10 % de carbonato de calcio, desde Villa Tunari a Eterazama. Este material está solamente expuesto en algunas áreas donde los arroyos cortan los perfiles profundamente en las colinas y tiene poca influencia en los suelos de esta unidad. Como fue descrito previamente, el modificador k+ indica un contenido muy bajo de minerales meteorizables.

L'ak: Esta unidad contiene suelos con textura franca con 15 a 35% por volumen de cantos rodados (grava y piedra) de 2 mm a 25 cm en diámetro. Estos suelos tienen un alto porcentaje de saturación de aluminio y un bajo contenido de potasio intercambiable. La unidad representa terrazas bajas a medianas, no susceptibles a ser inundadas, pero incluyen áreas en las llanuras inundables de algunos arroyos. Estos suelos son bien drenados. La limitante de éstos suelos es la abundancia de fragmentos que dificultan las labores agrícolas. El material parental es primariamente un viejo aluvión, pero existe alguna influencia de aluviones de arroyos locales y del río Chapare. Esta unidad puede contener áreas sin grava (Lak) y también áreas de suelos no bien drenados (L'g-ak).

Lgk: Esta unidad contiene suelos con textura franca en los primeros 50 cm de profundidad, con un bajo nivel de saturación de aluminio (menos de 10 %) y un bajo contenido de potasio intercambiable. Éstos suelos son saturados con agua por largos períodos o están sujetos a inundaciones de larga duración. La mayor parte de esta unidad está localizada en la planicie inundable del río Veinticuatro. El suelo está formado de sedimentos recientemente depositados por el río Veinticuatro. Estos sedimentos son derivados de rocas provenientes de la cordillera oriental de los Andes, el cual tiene un alto contenido de minerales meteorizables y produce suelos con alto contenido de calcio y magnesio pero bajo en potasio. Las mayores limitantes para su uso son las inundaciones.

Lhk: Esta unidad contiene suelos con texturas francas a lo largo de los primeros 50 cm, los cuales tienen un moderado nivel de saturación de aluminio 10 a 60% y un bajo contenido de potasio intercambiable. La mayor parte de esta unidad está localizada en terrazas asociadas con el río Veinticuatro. Estos suelos son bien drenados y normalmente no están sujetos a inundaciones, aunque algunas áreas pueden ser inundadas por breves períodos durante precipitaciones extremas. Esta unidad contiene inclusiones de suelos húmedos (Lg-hk) a elevaciones más bajas y en depresiones. Áreas de esta unidad, más cercanas al río Veinticuatro, tienden a tener niveles de saturación de aluminio en el rango de los 10-60%, y áreas más distantes al río Veinticuatro tienden a tener niveles más altos. Algunas áreas de esta unidad están localizadas a largo del arroyo Chipiriri en terrazas bajas y planicies anegadizas. Algunas inclusiones pueden tener niveles de saturación de aluminio mayores a 60%. Suelos en unidades individuales dentro de esta área tienen colores más claros y con un contenido más bajo de minerales meteorizables que los suelos de las unidades cerca del río Veinticuatro.

Lg-hk, Lg-hk+: Esta unidad consiste de suelos con textura franca en los primeros 50 cm, con una saturación de aluminio entre 10 y 60%, y con bajo contenido de potasio intercambiable. La unidad Lg-hk+ adicionalmente, tiene un bajo contenido de minerales meteorizables (< 10%). Éstos suelos son moderadamente bien drenados internamente. Áreas individuales de estos suelos están localizadas en las planicies anegadizas y sobre terrazas bajas de los ríos Samusabeti, y Eteramazama (Lg-hk+) y el río Isiboro (Lg-hk), están sujetas a inundaciones de éstos arroyos. Éstos suelos permanecen saturados con agua por largos períodos con moteados de color grisáceo, el drenaje pobre de éstos suelos restringe las actividades agrícolas.

El río Isiboro deposita sedimentos derivados del material parental proveniente de los Andes, los cuales son altos en contenido de minerales meteorizables y tienen un alto contenido de Ca y Mg. Estos suelos tienen una saturación de aluminio en rango entre 10 y 60%. Esta área puede contener inclusiones de suelos más húmedos.

Suelos formados de sedimentos depositados por los ríos Samusabeti y Eteramazama (Lg-hk+) tienen minerales meteorizables mucho más bajos y tienden a tener una saturación de aluminio en el rango de 10 a 60%. El contenido de bases (especialmente calcio) por el arrastre y deposición de sedimentos provenientes de los ríos Samusabeti y Eteramazama, ricos en carbonato de calcio, formación

previamente descrita en la unidad Lak+ y Sak+ (5-90%). El contenido relativo de bases declina y la saturación de aluminio se incrementa a mayor distancia de esta fuente de bases. Esta área contiene inclusiones de suelos más húmedos (Lghk+) y más arenosos (Sg-hk+).

Lgak, Lgak+: Suelos en esta unidad tienen textura franca a lo largo de los 50 cm superiores; tienen una saturación de aluminio mayor a 60% y un bajo contenido de potasio intercambiable. Suelos de la unidad Lgak+, adicionalmente tienen un bajo (<10%) contenido de potasio meteorizable. Suelos de la unidad Lgak ocupan extensas áreas en terrazas bajas y planicies anegadizas en la parte norte de las microregiones I y IV. Estos suelos están formados de antiguos sedimentos semejantes a aquellos que se describen en la Unidad FCC

Lak: Estas son áreas de baja elevación con bajo relieve. Los suelos están saturados con agua por largos períodos de tiempo y el grado de humedecimiento pueden ser atribuible a las inundaciones de los arroyos, a una acumulación local de agua superficial o napa freática superficial. Generalmente estos suelos no son recomendables para la producción de cultivos debido al nivel freático alto.

Algunas inclusiones de suelos mejor drenados (Lg-ak) están presentes en las partes más altas. Estos suelos tienen texturas francas, pero generalmente son más finos texturalmente (tienen más arcilla y menos arena), que los suelos de las unidades Lak y Lg-ak localizadas al sur. Inclusiones con texturas arcillosas (LCgak o Cgak) pueden estar presentes en algunas áreas. Algunas áreas influidas por el río Isiboro y el río Veinticuatro pueden tener niveles de saturación de aluminio menores a 60%.

Suelos de la unidad Lgak+ son similares a los suelos de la unidad Lgak, excepto que ellos adicionalmente tienen un bajo contenido (< 10%) de minerales meteorizables. Estos suelos están localizados cerca de las colinas en el parte meridional de la región consistente de la unidad FCC Lak+ y Sak+ (5-90%). El material parental en éstos suelos proviene de estas colinas y es en consecuencia bajo en minerales meteorizables minerales.

Lghk, Lghk+: Estas unidades FCC consisten de suelos con texturas francosas, saturados con agua por períodos largos imperfectamente drenados. La saturación de aluminio es de 10 a 60% y con bajo contenido de potasio intercambiable. Los suelos en la unidad Lghk+ tienen adicionalmente bajo contenido (< 10%) de minerales meteorizables, que son los minerales que proporcionan potasio. Estas unidades están localizadas en planicies anegadizas y son formadas de sedimentos, recientes y que están sujetas a inundaciones, puede también presentar una napa freática superficial aún cuándo no estén inundados. Suelos de la unidad Lghk están localizados cerca de los ríos Isiboro y Veinticuatro. Debido a que los sedimentos de estos ríos son relativamente ricos en bases (Ca y Mg), los suelos de la unidad Lghk cerca de estos ríos presentan niveles de saturación de aluminio en los rangos de 10 a 60%. Algunas inclusiones de suelos mejor drenados (Lg-hk) pueden estar presentes en los sitios más altos dentro de esta unidad.

Suelos de la unidad Lghk+ están localizados en las planicies inundables de arroyos que arrastran sedimentos de las colinas arenosas de la unidad Lak+, Sak+ (5-90%). Por lo tanto, el material parental de estos suelos presenta bajo contenido de nutrimentos disponibles. La moderada saturación de aluminio (10-60%) es debida a la influencia de la capa delgada de carbonato de calcio contenida en la formación descrita en la unidad Lak+, Sak+ (5-90%). Los suelos en esta unidad tienden a tener niveles de saturación de aluminio en el rango de 10 a 60%. Esta unidad puede contener inclusiones de suelos con texturas arenosas (Sghk+), suelos menos saturados con agua (Lg-hk+) y suelos con niveles de saturación de aluminio más altos (Lgak+).

Lg+ak: Esta unidad consiste de suelos con textura franca que están saturados o cubiertos con agua por largos períodos, tienen alta saturación de aluminio (>60%) y bajo potasio intercambiable. Esta unidad esta localizada sobre terrazas y planicies anegadizas en la parte noroeste. Éstos suelos están formados de antiguos sedimentos semejantes a aquellos que se describe en las unidades Lak y Lgak. Los suelos de la unidad Lg+ak están en áreas con muy baja elevación y relieve. El humedecimiento es atribuible a inundaciones y una napa freática superficial. Estos suelos no son recomendables para la producción de cultivos debido al permanente humedecimiento y además, esta zona en su mayor parte no esta habitada. Algunas inclusiones de suelos mejor drenados (Lgak) están presentes. Esta unidad tiene suelos con textura franca, pero en general las texturas son más finas (tienen más arcilla y menos arena) que los suelos de la unidad Lgak de la parte sud. Inclusiones de suelos con texturas arcillosas (LCg+ak o Cg+ak) pueden estar presentes en algunas áreas. Algunas áreas influidas por el río Veinticuatro pueden tener niveles de saturación de aluminio menores a 60%.

LCak: Esta unidad consiste de suelos con capa superficial de textura franca, el subsuperficial arcilloso con alta saturación de aluminio (>60%) y bajo potasio intercambiable. Estos suelos están sobre

terrazas semejantes a la unidad Lak; sin embargo, los suelos de la unidad LCak son formados de sedimentos más arcillosos. De manera similar a la unidad Lak, la unidad LCak se encuentran en las partes más alta de los paisajes fisiográficos, los cuales no son inundables. Los suelos de la unidad LCak son bien drenados internamente; aunque la capa subsuperficial es arcillosa. Estos suelos tienen buena estructura interna y porosidad, lo cual permite un buen drenaje y aeración. La superficie es generalmente más franco que la subsuperficial y por lo tanto no interfiere generalmente con las operaciones de manejo del suelo. Areas individuales de esta unidad contienen inclusiones esporádicas de suelos con una capa arcillosa superficial (Cak) pero los suelos son de textura franco en toda la profundidad (Lak). Unidades individuales pueden contener inclusiones substanciales de suelos menos bien drenados tales como LCg-ak y LCgak. Estos suelos son más húmedos en depresiones, en antiguos cursos de río y en meandros.

LCg-ak: Esta unidad contiene suelos con una capa superficial franco y una capa subsuperficial arcillosa. Las capas subsuperficiales de éstos suelos son saturadas con agua por períodos cortos de tiempo, tienen una alta saturación de aluminio (>60%) y un bajo contenido de potasio intercambiable. La mayor parte de estos suelos son terrazas con unidades LCak. Unidades LCak ocupan a lo largo de las terrazas las más altas posiciones sobre estos paisajes con la unidad LCg-ak ocupando las posiciones fisiográficas más bajas. Esta unidad contiene inclusiones de suelos más húmedos (LCgak) en las áreas más bajas y en las depresiones. Inclusiones de suelos mejor drenados tales como LCak en áreas ligeramente más altas en el paisaje. Esta unidad puede también contener suelos con tipos texturales más franco tal como Lg-ak.

LCghk: Esta unidad contiene suelos con una capa superficial franca y una capa subsuperficial arcillosa. Los suelos son saturados con agua por largos períodos de tiempo, tienen una saturación de aluminio moderada (10-60%) y un bajo contenido de potasio intercambiable. Esta unidad principalmente esta localizada en las áreas norte de Villa 14 de Septiembre. La unidad LCghk también está en depresiones dentro de las terrazas y en las llanuras anegadizas de pequeños arroyos. Areas individuales pueden estar saturadas por una napa freática superficial o por inundaciones. Incluidas dentro de esta unidad están suelos que tienen horizontes superficiales arcillosos tal como Cghk, suelos con mejor drenaje interno tal como LCg-hk, y suelos con niveles de saturación de aluminio más altos como LCgak.

Sgehk+: Esta unidad consiste de suelos arenosos, los cuales son saturados con agua por períodos largos o a menudo son inundados. Estos suelos tienen baja capacidad de intercambio catiónico efectiva, moderada saturación de aluminio (10 una 60%), bajo contenido de potasio extraíble y bajo contenido (<10%) de minerales meteorizables que proveen potasio. Esta unidad está primariamente localizada en la planicie inundable y sobre terrazas bajas del río Matamojo. Estos suelos están formados por sedimentos arrastrados por el río Matamojo de las colinas arenosas al sur en la unidad Lak+ y Sak+ (5-90%). Estos sedimentos son bajos en nutrientes. La moderada saturación de aluminio (10-60%) es debido a la influencia de la delgada capa de carbonato de calcio existente en la formación descrita en la unidad Lak + y Sak+ (5-90%). El efecto de este suministro de calcio no persiste en largas distancias aguas abajo y la saturación de aluminio en esta unidad será variable. Esta unidad puede contener inclusiones de suelos menos arenosos como Lghk+, suelos menos saturados con agua como Lg-hk+ y suelos con niveles de saturación de aluminio más altos como Lgak+.

El cuadro 4 resume el grado de factibilidad de la producción de algunos importantes cultivos en el trópico de Cochabamba.

CUADRO 4. Grado de factibilidad para la producción de algunos cultivos importantes en el trópico de Cochabamba (Monteith, 1994).

UNIDAD FCC	BANANO	PIÑA	PALMITO	PIMIENTA
Lak, Lak+	2	1	2	2
Lg-ak	2	3	2	3
Lak+ (0 a 40%)	2	2	2	2
Lak+ y Sak+ (5 a 90%)	3	3	3	3
L´ak	2	2	2	2
Lgk	3	3	3	3
Lhk	1	1	1	1
Lg-hk, Lg-hk+	1	3	1	2
Lgak, Lgak+	3	3	3	3
Lghk, Lghk+	3	3	3	3
Lg+ak	3	3	3	3
Lcak	2	1	2	2
LCg-ak	2	3	2	3
LCghk	3	3	3	3
Sgehck+	3	3	3	3
Lgk y S´gk	3	3	3	3
Lhk y Lg-hk	1	2	1	2
Lghk y LCghk+	3	3	3	3

Interpretación de la escala:

- (1) Los cultivos pueden producirse con insumos "normales", algunos insumos requeridos para establecer plantaciones y reemplazar los nutrientes removidos en las cosechas. Debido a que casi todos los suelos tienen el modificador "k", niveles altos de fertilización potásica deberían ser considerados como insumo "normal".
- (2) Un alto nivel de insumos es necesario para producir el cultivo, especialmente durante su establecimiento.
- (3) Niveles bastante altos de insumos son necesarios o el cultivo no es recomendado en estos suelos. El costo de la corrección de las limitaciones puede ser prohibitivo bajo estas situaciones.

CONCLUSIONES

- Existe una amplia variedad de suelos en el Chapare, donde la mayoría de ellos requieren aplicaciones significativas de fertilizantes y enmiendas calcáreas, aún superiores que los requerimientos normales, para la producción económica de cultivos.
- Las más severas limitaciones edáficas para la producción de cultivos son: (1) acidez y toxicidad de aluminio, (2) bajas reservas de potasio y (3) saturación por agua.
- En la mayoría de los casos, los sistemas de producción en el Chapare son sistemas de bajos insumos que resultan en bajos rendimientos, además son sistemas intensivos en mano de obra y en tierra.
- Los propuestos cultivos prioritarios están siendo introducidos con paquetes de tecnología avanzada incluyendo variedades de alto rendimiento, manejo integrado de plagas, altas

densidades de siembra, aplicación de reguladores del crecimiento y otras técnicas sofisticadas de producción agrícola. Sin embargo, la tecnología empleada para el manejo de la fertilidad del suelo y la nutrición de plantas generalmente es el sistema de chaqueo (tumba y quema del bosque).

- Este sistema no es sostenible y requiere que cantidades crecientes de bosque primario y secundario sean desmontados para mantener aún la población presente.
- Muchos suelos en la región del Chapare presentan características físicas favorables. Estos suelos son permeables, bien drenados, tienen una densidad aparente baja y por lo tanto son fáciles de cultivar.
- Todos los problemas de fertilidad pueden ser corregidos con insumos. Aplicando dolomita para corregir la toxicidad de aluminio e incrementar el contenido de calcio y magnesio en los suelos. Potasio y fósforo pueden ser añadidos como fertilizantes y rocas fosfatadas. Uso de cultivos tolerantes al aluminio que pueden ayudar a ahorrar en el control de los problemas relacionados con la acidez y en algunos lugares, reducir la necesidad de la aplicación de dolomita.
- Uso de fertilizantes y dolomita en el Chapare es corrientemente limitado por su disponibilidad y costo. A menudo, los fertilizantes están disponibles en premezclas, las cuales contienen algunos nutrimentos que no satisfacen las dosis requeridas, si la relación no es específicamente la necesitada. En el mediano y largo plazo, alternativas agrícolas no podrán lograrse sin la utilización de fuentes económicas de fertilizantes y dolomita.
- En resumen, los suelos del trópico de Cochabamba son altamente variables, especialmente en características relativas a la producción agropecuaria. Las principales diferencias entre los suelos se deben a la variabilidad en la posición fisiográfica, en la topografía y en el origen del material parental. En pocas áreas existen suelos fértiles y que son productivos sin la aplicación de fertilizantes. Muchos suelos tienen baja fertilidad y problemas de toxicidad de aluminio, donde la producción de cultivos es baja si no se aplican fertilizantes y enmiendas calcáreas. Otras áreas están bien drenadas y otras, no.

BIBLIOGRAFIA

Alvarado, A., 1986. Manejo de suelos en la región del Chapare. En Memorias del Simposio sobre Impacto del Desarrollo en la Ecología del Trópico Boliviano. Santa Cruz, Bolivia, pp.125-141.

Buol, S.W., 1972. fertility capability classification system. En: Agronomic Economic Research on Tropical Soils. Annual Report for 1971. Soil Sci. Department, North Carolina State University, Raleigh, N.C., pp: 45-50.

Buol, S.W., Sánchez, P.A., Cate, R.B, Jr. y Granger, M.A., 1975. Soil fertility capability classification: a technical soil classification system for fertility management. En: E. Bornemiza and A. Alvarado (editors), Soil Management in Tropical America, N.C. State University, Raleigh, N.C., pp. 126-145.

Cochrane, T.T., 1973. El potencial agrícola de las tierras de Bolivia. Un mapa de sistemas de tierras. Ministerio de Agricultura y Ganadería, La Paz, Bolivia.

Cochrane, T.T., et al., 1985. La Tierra en América Tropical. Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), Cali, Colombia, 144 pp.

FAO, 1976. A Framework for land evaluation. Soils Bulletin 32, Rome.

FAO/UNESCO. 1971-1978. Soil Map of the World. 1:5'000.000. Volumes II-X. Paris, UNESCO.

Ferrufino, A., Lenis, J. y Vallejos A., 1992. Algunas características ecológicas de la región del Chapare. IBTA/Chapare, Boletín Técnico No. 26, 9 pp.

Iriarte, R y A. Quiroga. 1993. Uso de cal y dolomita en suelos del Chapare. CORDEP-DAI. Cochabamba, Bolivia.

Monteith, S., 1993. Mapping of Chapare Soils by the FCC. Report for USAID/Bolivia, Cochabamba, Bolivia, 23 p.

Monteith, S., 1994. Soil Mapping and Interpretation for priority crops using the Fertility Capability Classification System (FCC) in Chapare Microregions I and IV. USAID/BOL-DAI, Cochabamba, Bolivia. 30p.

Monteith, S., Quiroga A., y Ayaviri, T., 1995. Mapa de Suelos, Sistema de Clasificación por Capacidad y Fertilidad FCC. Sección A: Microregiones I, III, IV y V; Sección B: Microregiones II y VI; Sección C: Microregión VII. CORDEP, DAI, USAID, Cochabamba, Bolivia.

Montes de Oca, I., 1989. Geografía y Recursos Naturales de Bolivia. Editorial Educacional del Ministerio de Educación y Cultura, La Paz, Bolivia, Segunda Edición, 574p.

Morris, G.L., 1983. Climate an fluvial morphology in the Chapare region. Report for USAID/Bolivia, La Paz, Bolivia, 32 p.

OAS-GOB. (Organization of American States and Bolivian Government), 1980. Proyecto Chapare: Estudio para el Desarrollo Integrado. Informe Final. La Paz, Bolivia.

Pareja, L.J. et al., 1978. Mapa Ecológico de Bolivia - Memoria Explicativa. Servicio Geológico de Bolivia - YPFB. La Paz, Bolivia, 27 p.

Paz, S., 1991. Hombres de río, hombres de camino. Cochabamba, Bolivia.

PIDYS (Plan Integral de Desarrollo y Sustitución), 1987. Resumen. Ministerio de Agricultura y Asuntos Campesinos, La Paz, Bolivia, 67 p.

Pinto, E., 1982. Estudio pluviométrico del Departamento de Cochabamba. Tesis Ing. Agr. Univ. Mayor de San Simón, Cochabamba, Bolivia.

PRODES, 1981. Diagnóstico del Proyecto de Desarrollo del Chapare-Yungas. Cochabamba, Bolivia.

Salinas, J.G., Alvarado, A., y Ferrufino, A., 1991. Phosphorus cycling in tropical pastures. En: H. Tiessen, et. al. (eds.). Phosphorus Cycles in Terrestrial and Aquatic Ecosystems. SCOPE, Maracay, Venezuela, pp. 229-242.

Sánchez, P.A. y J.G. Salinas. 1983. Suelos Acidos - Estrategias para el manejo con bajos insumos en América Tropical. Sociedad Colombiana de la Ciencia del Suelo, Bogotá, Colombia, 93 pp.

Soil Survey Staff. 1975. Soil Taxonomy: A Basic System of Soil Classification for Making and Interpreting Soil Surveys. U.S. Department Agric. Handbook, 436, USDA, Washington. D.C.

Tosi, J.A. Jr. 1983. Análisis ecológico y capacidad de uso de la tierra en el área del Proyecto Chapare. USAID, La Paz, Bolivia, 48 p.

UNDCP, 1993. Diagnóstico Socioeconómico de la Base Social. Cochabamba, Bolivia, Vol. I, 112p.

Manejo y conservación de suelos

Evaluación de abonos orgánicos en el cultivo de dos variedades de papa

René Terán Céspedes¹ y Rubén Callisaya Bautista¹

1 Grupo de Asesoramiento Multidisciplinario en Medio Ambiente y Agroecología, GAMMA. Calle Colombia 529. La Paz, Bolivia.

RESUMEN

La papa (*Solanum tuberosum* L.) es uno de los cultivos de mayor importancia en Bolivia por su valor alimenticio y por que constituye la base de la economía de los agricultores. El rendimiento de este cultivo es considerado como bajo debido a factores como los climáticos, tubérculo-semilla y los suelos que en su generalidad son pobres en los principales nutrientes, con excepción de potasio en algunas zonas. Se ha demostrado que con una adecuada dosis de abonos orgánicos, se incrementan los rendimientos. Sin embargo, el uso de otros bioabonos (biosol, biofoska, ecoterra) no fueron estudiados frecuentemente en el cultivo, por lo cual en el presente trabajo se aplicaron los mencionados bioabonos para evaluarlos en este cultivo.

El presente estudio planteó como objetivo la evaluación comparativa de la aplicación de abonos orgánicos en el cultivo de la papa, para ello se realizó el análisis comparativo del rendimiento de la papa con cuatro tipos de abonos orgánicos (guano de ovino, biosol, biofoska y ecoterra), se evaluó la respuesta de dos variedades de papa a los tipos de abonos en estudio y se realizó el análisis económico de las cuatro fuentes de abonos orgánicos.

El ensayo se estableció en la microcuenca del valle de Achocalla, ubicada en la provincia Murillo, departamento de La Paz. Se evaluaron dos variedades de papa: Waych'a paceña y Sani imilla, con cuatro fuentes de abonos orgánicos que son el guano de ovino (G), biosol (B), biofoska (K) y ecoterra (E), con los siguientes niveles: 5.0, 4.0, 2.5 y 3.5 tn.ha⁻¹ respectivamente.

Este experimento se condujo bajo un diseño de bloques al azar, en arreglo de parcelas divididas con cuatro bloques o repeticiones, donde las parcelas principales fueron constituidas por las variedades de papa y las subparcelas por los tratamientos de diferentes abonos orgánicos.

Se obtuvieron los siguientes rendimientos en la variedad Waych'a paceña: 22.04, 19.74, 18.26 y 17.59 tn.ha⁻¹ para los tratamientos G, K, E y B; y en la variedad Sani imilla: 21.88, 21.82, 21.64 y 20.53 tn.ha⁻¹ para B, E, K y G. Respecto al rendimiento promedio de las variedades, la Sani imilla presentó el rendimiento de 21.46 y la Waych'a paceña 19.41 tn.ha⁻¹.

Ambas variedades de papa presentaron los mayores porcentajes de tubérculos de las clases segunda, primera, tercera y en último lugar la cuarta clase que son los tubérculos pequeños.

Según los análisis económicos efectuados, en la variedad Waych'a paceña bajo cuatro abonos orgánicos no se obtienen retorno marginal y en la variedad Sani imilla el tratamiento biofoska presentó el 34% de la tasa de retorno marginal.

INTRODUCCION

La papa (*Solanum tuberosum* L.) es uno de los cultivos de mayor importancia en Bolivia, es un artículo principal en la alimentación de la población, constituyendo la base de la economía de los agricultores de la zona andina de nuestro territorio, además, su importancia se debe a que concentra un mayor esfuerzo productivo, por el área cultivada, por su valor de la producción, es decir, este tubérculo constituye una buena fuente de ingresos económicos para el agricultor.

El rendimiento de la papa en el departamento de La Paz alcanza un promedio de 4.96 tn.ha⁻¹ (MACA, 1996), considerado bajo, factores como los climáticos (sequías, heladas), deficiente calidad del tubérculo-semilla y suelos, en general, pobres en los principales nutrientes, con excepción de potasio en algunas zonas afectan el rendimiento.

En todas las zonas productoras de papa el agricultor tradicionalmente utilizó, y en una mayoría sigue utilizando, abonos orgánicos (guanos o estiércoles) por que aportan materia orgánica al suelo. Se ha demostrado que con una adecuada dosis de abonos orgánicos se incrementan los rendimientos de papa. En este cultivo se han efectuado trabajos relacionados con la fertilización química, química-orgánica y orgánica para elevar los rendimientos, las cuales han dado respuestas favorables. Sin embargo, el uso de otros bioabonos como el biosol, biofoska, no fueron estudiados frecuentemente en

este cultivo, en el presente trabajo se aplicaron los mencionados bioabonos para evaluar la respuesta del cultivo de la papa.

El estudio hizo la evaluación comparativa de la aplicación de abonos orgánicos en el cultivo de la papa, para cumplir con este objetivo, se realizó el análisis comparativo del rendimiento de papa con cuatro tipos de abonos orgánicos (guano de ovino, biosol, biofoska y ecoterra), se evaluó la respuesta de dos variedades de papa a los tipos de abonos en estudio y se realizó el análisis económico de las cuatro fuentes de abonos orgánicos.

MATERIALES Y METODOS

El experimento fue realizado en la microcuenca del valle de Achocalla, en la comunidad de Mullakani de la provincia Murillo, a 30 km de la ciudad de La Paz, geográficamente está situada entre los 16°34' de latitud sur y a los 68°01' de longitud oeste y a una altura de 3700 msnm.

Se utilizaron dos variedades de papa: Waych'a paceña (*Solanum tuberosum* ssp. andigenum) y Sani imilla (*Solanum tuberosum* ssp. andigena)

En el ensayo, la fuente de materia orgánica fueron cuatro abonos orgánicos: guano de ovino (producto de la digestión) y tres bioabonos, Biosol, Biofoska y Ecoterra (productos de la digestión anaerobia o biodigestión), cuyos contenidos de algunos parámetros químicos se presentan en el cuadro 1.

CUADRO 1. Composición de los abonos orgánicos

Abono	pH	N(%)	P (%)	K (%)
Guano de ovino	8.5	1.69	0.49	4.19
Biosol	8.0	1.50	0.50	2.50
Biofoska	8.0	1.42	1.07	0.702
Ecoterra	6.0	1.63	0.375	1.056

Fuente: CEINCA (1995)

El experimento estuvo constituido por cuatro tratamientos de abono orgánico para cada variedad de papa (Cuadro 2).

CUADRO 2. Esquema de tratamientos orgánicos

Variedades de papa	Tratamiento	Clase de abono	Nivel de abono recomendados
Waych'a paceña (WP) y Sani imilla (SI)	G	Guano de ovino	5.0 tn.ha ⁻¹
	B	Biosol	4.0 tn.ha ⁻¹
	K	Biofoska	2.5 tn.ha ⁻¹
	E	Ecoterra	3.5 tn.ha ⁻¹

Se utilizó el diseño de bloques al azar en arreglo de parcelas divididas con cuatro bloques o repeticiones. Las parcelas principales fueron constituidas por las variedades de papa y las subparcelas por los tratamientos de diferentes abonos orgánicos. Los promedios de los resultados fueron comparados por la prueba de Duncan a un nivel de probabilidad del 5%.

El terreno se roturó con tracción animal (yunta), posteriormente se efectuó una cruzado para el buen mullido del terreno. La siembra se realizó el 20 de noviembre de 1995 con yunta, utilizando tubérculo-semilla certificada y registrada para las variedades Waych'a paceña y Sani imilla, a distancias de 0.60 m entre surcos a una profundidad de 0.30 m. En el fondo de los surcos se aplicaron los distintos abono orgánico a chorro continuo y manualmente.

Se realizó un solo aporque manual a los 49 días después de la siembra. Se hicieron dos deshierbes en forma manual, las hierbas se desarrollaron de manera regular. Para prevenir o combatir el ataque de plagas o enfermedades se aplicaron insecticidas orgánicos como químicos y fungicidas orgánicos (Cuadro 3).

CUADRO 3. Productos aplicados en las medidas fitosanitarias.

Insecticida o fungicida	Dosis	Fecha de aplicación
Manzanilla	40 g + 1 cuchara jabón x 20 l H ₂ O x ensayo	16-01-96
Cola de caballo	1.25 kg x 25 l H ₂ O x ensayo	19-01-96
Cola de caballo	1.25 kg x 25 l H ₂ O x ensayo	22-01-96
Itapallo	2.30 kg x 23 l H ₂ O x ensayo	25-01-96
Alsystin	8 g x 10 l H ₂ O x ensayo	26-02-96
Alsystin	24 g x 30 l H ₂ O x ensayo	05-03-96

Las dos variedades de papa se cosecharon el 30-03-96, cosechando sólo los dos surcos centrales para eliminar el efecto de la bordura, inmediatamente se clasificaron los tubérculos en cuatro categorías: primera, segunda, tercera y cuarta (mayor a 5.5, 4.5-5.5, 3.5-4.5 y menor a 3.5 cm de diámetro).

Se evaluaron las siguientes variables: porcentaje de emergencia, altura de plantas, índice de área foliar, número de tubérculos por planta, rendimiento.

A objeto de comparar la ventaja económica de los tratamientos en estudio, en las variedades de papa se realizó el análisis económico utilizando la metodología de Perrin et al. (1979), quienes enfatizan en los presupuestos parciales, pero también se consideró como indicador económico el análisis marginal de dominancia.

RESULTADOS Y DISCUSION

Las temperaturas máxima, mínima y media durante el ciclo vegetativo del cultivo fueron adecuadas para el desarrollo del cultivo y no se registraron heladas en los cinco meses que duró el ensayo. La precipitación total que se registró durante todo el desarrollo del cultivo fue de 458.70 mm (Datos registrados por Laura, 1999).

Características del suelo del ensayo

El suelo del ensayo, presentó una textura franco arcillosa, con un pH moderadamente alcalino sin problemas de salinidad. El contenido de calcio, magnesio y sodio es moderado, en tanto que el de potasio es alto. Estos suelos presentan baja capacidad de intercambio catiónico con una alta saturación de bases. Por otra parte, el contenido de fósforo en estos suelos es alto, el de materia orgánica y de nitrógeno es medio.

Porcentaje de emergencia

Los porcentajes de emergencia se presentan en el cuadro 4. El tratamiento biofoska mostró ligera superioridad del porcentaje de emergencia, seguido de los tratamientos guano, biosol y ecoterra en la variedad Waych'a paceña. Sin embargo, estos porcentajes no son diferentes estadísticamente.

En la variedad Sani imilla, los mayores porcentajes de emergencia se presentaron en los tratamientos con biofoska y ecoterra, con incrementos mínimos sobre los tratamientos biosol y guano. En ambas variedades es notoria la uniformidad del porcentaje entre los tratamientos por el uso de tubérculo-semilla de categoría certificada y registrada para las variedades Waych'a paceña y Sani imilla, así como por la regular distribución de las precipitaciones, dado que la humedad es importante para una buena emergencia en los tubérculos de papa. En esta primera fase del cultivo, no se pueden apreciar la influencia significativa de los tres abonos frente al guano, porque los efectos pueden ser más notorios en las fases que siguen a la emergencia.

Respecto al promedio general de emergencia de las variedades, Sani imilla presentó incremento con relación a la variedad Waych'a paceña con 98.63 y 90.23% respectivamente, estos valores no presentan amplias diferencias, se puede observar que las dos variedades presentaron buena emergencia. Wiersema (1987), señala que la emergencia de los tubérculos está influenciada por el tamaño como la edad fisiológica del tubérculo-semilla, por las características varietales y una buena emergencia se produce cuando el suelo está húmedo y sin terrones.

CUADRO 4. Porcentaje de emergencia a los 32 DDS

Tratamientos	Porcentaje de emergencia	
	Waych'a paceña	Sani imilla
G	93.74	96.09
B	85.15	98.43
K	98.43	100.00
E	83.59	100.00

DDS = Días después de la siembra

Altura de planta

El promedio general de la variable altura de planta presentó los siguientes valores: 83.30, 83.24, 80.03 y 79.29 cm para los tratamientos biofoska, biosol, guano y ecoterra (Figura 1) los mismos promedios son similares estadísticamente, se puede observar que el tratamiento biofoska mostró ligera superioridad al tratamiento ecoterra por que el biofoska estimula el metabolismo de las plantas, mejorando la absorción y utilización de elementos nutritivos.

Similar tendencia se puede apreciar en la variedad Waych'a paceña, siendo la altura promedio de planta de los tratamientos biofoska, guano, biosol y ecoterra las siguientes: 72.26, 68.00, 67.91 y 63.15 cm (Figura1). En la variedad Sani imilla los tratamientos biosol, ecoterra y biofoska incrementaron la altura en relación al guano con 98.57, 95.44, 94.35 y 92.06 cm respectivamente.

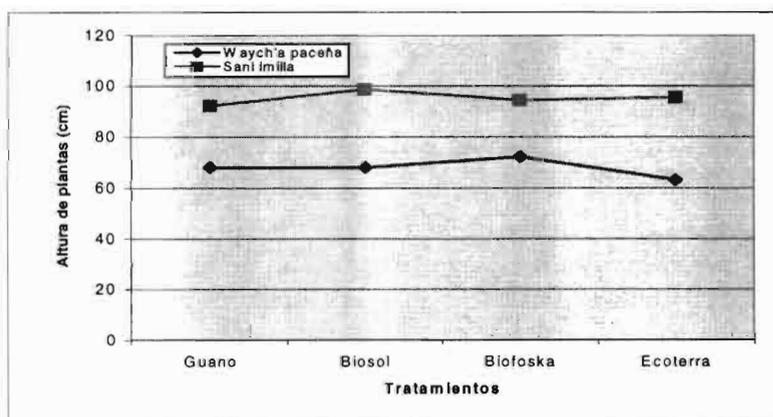


FIGURA 1. Altura de plantas en variedades de papa con tratamientos orgánicos.

De acuerdo a los datos de altura, se puede observar que el tratamiento guano fue superado numéricamente pero no es estadísticamente significativo, como el tratamiento biofoska en la variedad Waych'a paceña, y los tres bioabonos en Sani imilla, porque probablemente las plantas asimilaron rápidamente los nutrientes disponibles de los bioabonos.

Respecto al promedio general de altura de planta en las variedades, la variedad Sani imilla presentó la mayor altura, este promedio es significativo en comparación al promedio de la variedad Waych'a paceña, de acuerdo a la prueba de Duncan (Cuadro 5).

CUADRO 5. Prueba de Duncan de la altura de plantas en las variedades de papa

Variedad	Altura de plantas (cm)*
Sani imilla	95.10 a
Waych'a paceña	67.83 b

*Letras diferentes representan diferencias significativas

Esta diferencia de altura presentada por las variedades de papa no puede atribuirse a la influencia directa de los tres abonos orgánicos para el desarrollo de una mayor altura, puesto que la altura de plantas varía por el hábito de crecimiento que tiene cada variedad y se puede observar que las plantas de la variedad Sani imilla son de mayor tamaño, en cambio, las de Waych'a paceña de menor altura con abundante follaje.

Índice de área foliar

El tratamiento guano de la variedad Waych'a pacaña presentó un incremento en el índice de área foliar de 2.11, luego se encuentran los valores en los tratamientos de biofoska, biosol y ecoterra de 1.98, 1.90 y 1.83 (Figura 2), estas medias pueden ser consideradas como similares y se puede observar que en esta variedad existe una tendencia a disminuir el índice de área foliar al adicionar los tres tipos de abonos.

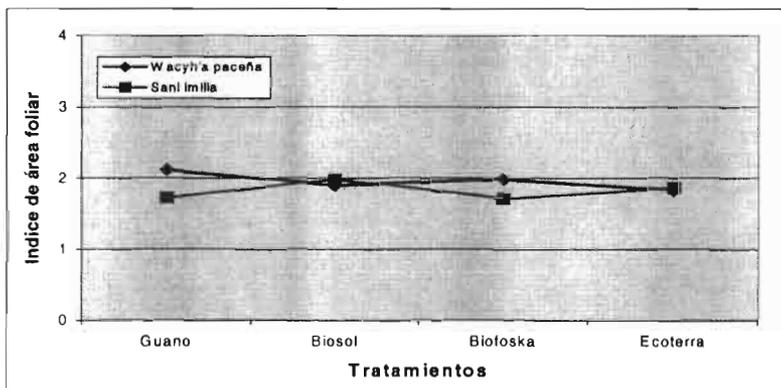


FIGURA 2. Índice de área foliar en variedades de papa con tratamientos orgánicos.

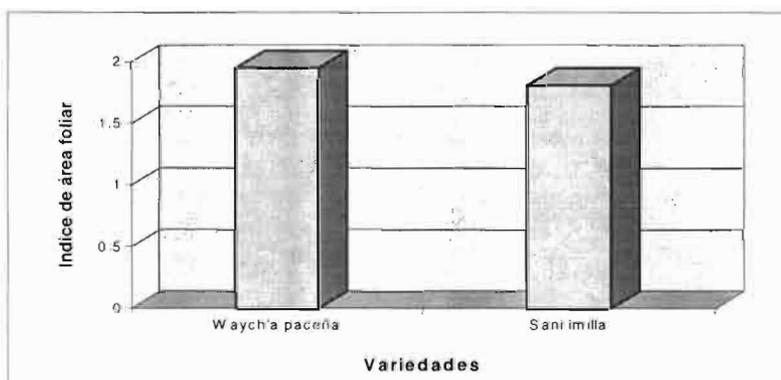


FIGURA 3. Índice de área foliar en las variedades.

El coeficiente de correlación entre el índice de área foliar y rendimiento de la variedad Waych'a pacaña presentó el valor de 0.46, ajustándose mejor para esta relación el de tipo polinomial de tercer orden, lo cual permite argüir que no existe una relación entre ambos factores.

En la variedad Sani imilla el índice de área foliar de los tratamientos biosol, ecoterra (1.98, 1.86) superaron levemente al tratamiento guano (1.72) y finalmente se encuentra el tratamiento biofoska con 1.71, estos valores también son similares estadísticamente. De ambas variedades se puede deducir que los tres abonos influyeron de igual manera que el guano en el índice de área foliar.

En esta variedad Sani, el valor de correlación del índice de área foliar y el rendimiento fue de 0.44, cuya relación que se ajusta es el polinomio de tercer orden, asumiéndose que tampoco existe una relación directa entre ambos factores.

Con relación al promedio general del índice de área foliar, las variedades Waych'a pacaña y Sani imilla presentaron valores de 1.95 y 1.81 del índice respectivamente, porque la variedad Waych'a pacaña produjo más follaje que la variedad Sani imilla (Figura 3). En general, el ensayo presentó un promedio del índice de área foliar de 1.88 en lugar de 3 a 5 que son valores que normalmente se obtienen en el cultivo de papa (Arze, 1977), es decir, que por cada hectárea de terreno de cultivo existen 3 a 5 hectáreas de hojas de planta cultivada.

Número de tubérculos por planta

En la figura 4, se presentan los números de tubérculos por planta para cada una de las variedades de papa. Los tratamientos guano, biosol, biofoska, ecoterra presentaron valores de 19.85, 19.29, 18.87 y 16.41 tubérculos por planta en la variedad Waych'a paceña, y se observa que los tres abonos tienen la tendencia a disminuir en el número de tubérculos respecto al tratamiento guano.

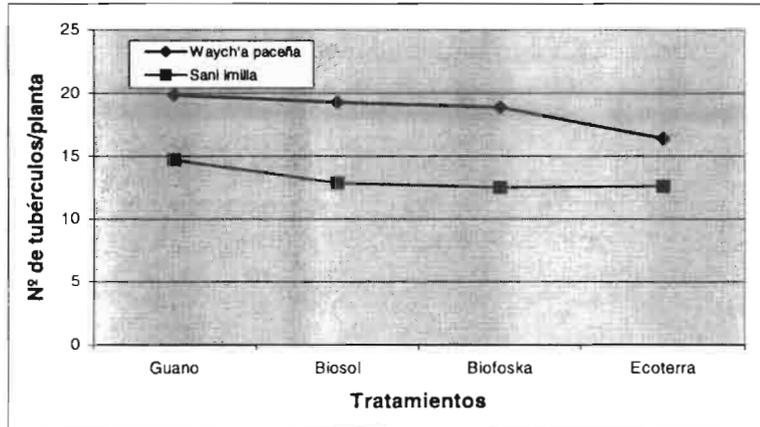


FIGURA 4. Número de tubérculos por planta en variedades de papa con tratamientos orgánicos.

El resultado de correlación $r = 0.66$ del número de tubérculos y el rendimiento en la variedad Waych'a paceña (Figura 5), permite sostener que existe una relación polinomial de tercer orden entre los dos factores mencionados.

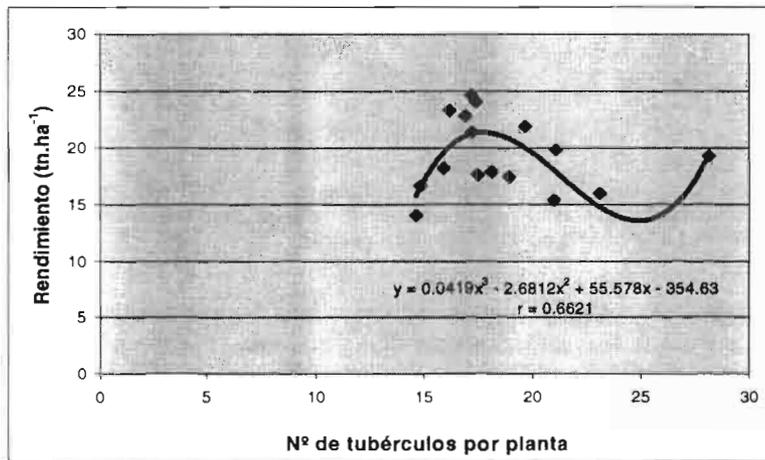


FIGURA 5. Correlación entre el número de tubérculos por planta y el rendimiento (tn.ha^{-1}) en la variedad Waych'a paceña.

En la variedad Sani imilla se puede advertir un comportamiento similar a la anterior variedad, donde el tratamiento guano (14.70 tubérculos) superó levemente a los tratamientos biosol, ecoterra y biofoska (12.86, 12.61 y 12.51 tubérculos), aunque en las dos variedades el número de tubérculos presentados por los tratamientos son similares estadísticamente.

Efectuada la correlación entre el número de tubérculos y rendimiento, en esta variedad el coeficiente fue de 0.54, lo cual permite asumir que existe una relación polinomial de segundo orden entre los factores mencionados (Figura 6).

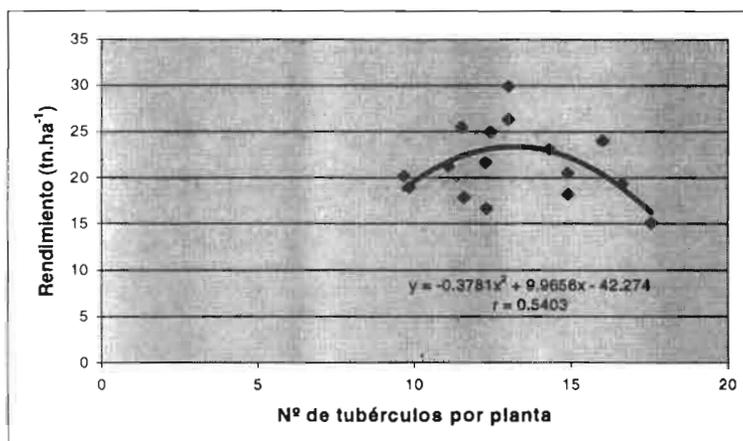


FIGURA 6. Correlación entre el número de tubérculos por planta y el rendimiento ($\text{tn}\cdot\text{ha}^{-1}$) en la variedad Sani imilla.

Por otra parte, se puede señalar que el número de tubérculos, que produce la planta papa, está afectado por la densidad de tallos, dependiendo a su vez de la competencia entre los tallos por los factores de crecimiento como ser los nutrientes, el agua, la luz (Wiersema, 1987), y a su vez el número y tamaño de tubérculos depende entre otros factores de la variedad de papa. Los resultados muestran que la variedad Waych'a paceña presentó el mayor número de tubérculos de 18.60, y la Sani imilla 13.18 tubérculos por planta, dichos promedios son diferentes significativamente de acuerdo a la prueba de Duncan (Cuadro 6).

CUADRO 6. Prueba de Duncan del número de tubérculos por planta en las variedades de papa.

Variedad	Nº tubérculos por planta*
Waych'a paceña	18.60 a
Sani imilla	13.18 b

*Letras diferentes representan diferencias significativas

De acuerdo a Evans (1983), la cantidad de tubérculos formados varía con el cultivar, disminuye en cierto grado con el número de tallos por tubérculos-semilla, pero resulta poco influida por la cantidad de tallos por unidad de superficie de suelo. Al aumentar la densidad de tallos existe una disminución en el tamaño medio de los tubérculos.

Rendimiento

El promedio general del rendimiento del cultivo de la papa con cuatro abonos orgánicos son los siguientes: 21.28, 20.69, 20.04 y 19.73 $\text{tn}\cdot\text{ha}^{-1}$ para los tratamientos guano, biofoska, ecoterra y biosol. Estos rendimientos son similares estadísticamente y se puede apreciar que los tres abonos están por debajo del rendimiento del guano.

Analizando el rendimiento de la papa por variedad con la aplicación de abonos orgánicos (Figura 7) se observa que los tratamientos guano, biofoska, ecoterra y biosol presentaron rendimientos de 22.04, 19.74, 18.26 y 17.59 $\text{tn}\cdot\text{ha}^{-1}$ respectivamente para la variedad Waych'a paceña, de los cuales los tres tratamientos presentaron valores menores al tratamiento guano, siendo significativo estadísticamente el tratamiento guano frente al biosol. Esto permite deducir que los tratamientos biosol, biofoska y ecoterra en la Waych'a paceña no elevaron los rendimientos respecto al guano.

En la variedad Sani imilla los tratamientos biosol, ecoterra, biofoska (21.88, 21.82, 21.64 $\text{tn}\cdot\text{ha}^{-1}$), incrementaron mínimamente los rendimientos de papa con relación al guano, cuyo rendimiento fue de 20.53 $\text{tn}\cdot\text{ha}^{-1}$, los mencionados rendimientos son similares estadísticamente.

Los resultados en ambas variedades permiten aseverar que los abonos biosol, biofoska y ecoterra no afectaron en el rendimiento significativamente, por cuanto las cantidades aplicadas al suelo son menores que el guano, y a su vez, menor a los niveles que generalmente se emplean en el cultivo de la papa. También se puede señalar que las recomendaciones de los bioabonos, dadas por CEINCA

(1995), muestran aparentemente un nivel bajo en la aplicación de los tres abonos y que probablemente se podría tener mejor respuesta con mayores niveles, es decir, con mayores dosis pueden incrementarse significativamente los rendimientos con relación al guano. Sin embargo, la respuesta de un cultivo no solamente puede atribuirse a un factor, sino que intervienen diferentes factores que condicionan los rendimientos, en este caso son el clima, régimen hídrico, preparación del suelo, labores culturales y otros.

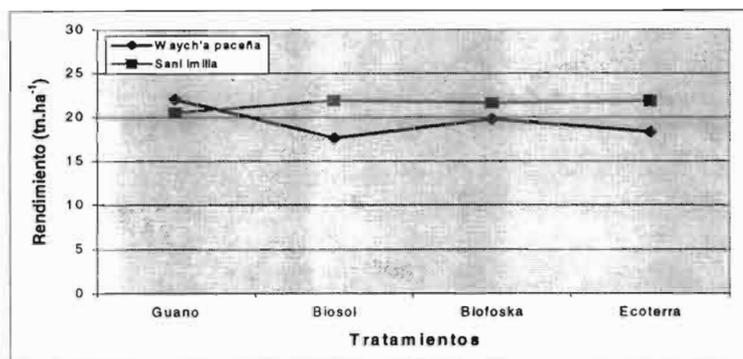


FIGURA 7. Rendimiento de variedades de papa con tratamientos orgánicos.

Al respecto Vacaflor et al. (1992), al efectuar una evaluación de la aplicación de bioabonos en el cultivo de la papa, emplearon niveles alto, medio y bajo (15, 10 y 5 tn.ha⁻¹) e indican que el rendimiento se eleva con el bioabono en su nivel bajo y medio. Los mismos autores concluyen que aplicando el bioabono en un nivel bajo en la variedad de papa Revolución y Malcacho se logra incrementar el rendimiento en 72 y 41% frente al testigo (0-0-0).

Con relación al rendimiento de ambas variedades de papa, Sani imilla presentó 21.46 tn.ha⁻¹ y la Waych'a pacaña un 19.41 tn.ha⁻¹ (Figura 8), los mismos son similares estadísticamente, podemos concluir que las variedades de papa en estudio respondieron de forma similar a la aplicación de diferentes abonos orgánicos.

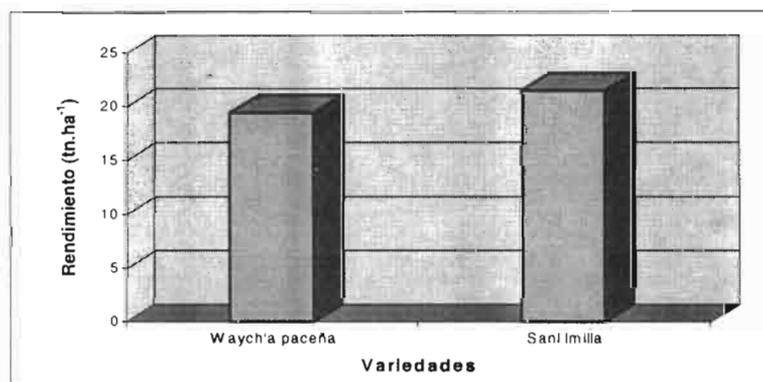


FIGURA 8. Rendimiento promedio en las variedades de papa.

Clasificación de tubérculos

En general, se puede aseverar que ambas variedades de papa presentaron los mayores porcentajes de tubérculos de segunda, primera y tercera y en último lugar se ubicó la cuarta clase, de tubérculos pequeños (Cuadro 7).

CUADRO 7. Clasificación de tubérculos de papa por tamaño.

Variedad	1 ^a clase		2 ^a clase		3 ^a clase		4 ^a clase	
	tn.ha ⁻¹	%						
Waych'a pacaña	4.06	20.91	6.19	32.89	5.13	26.43	4.03	20.76
Sani imilla	6.94	32.34	7.18	33.46	4.86	22.64	2.48	11.55

Análisis económico

El análisis económico se evaluó por el método de Perrin et al. (1979), quienes enfatizan el término de presupuesto parcial.

El beneficio total fue elaborado a través de los rendimientos promedios de las variedades de papa, asumiendo una pérdida del 10% en la cosecha, y tomando en cuenta los precios vigentes que se tenían en el momento de realizar el análisis. Los precios de los tubérculos de papa fueron Waych'a pacaña 95 Bs.qq⁻¹ y Sani imilla 99 Bs.qq⁻¹.

Según el análisis económico efectuado para cada una de las variedades de papa, en la variedad Waych'a pacaña con los abonos biofoska, ecoterra y biosol, no se obtienen retorno marginal y en la Sani imilla con el tratamiento biofoska se obtuvo el 34% de retorno.

CONCLUSIONES

- En general, las variedades de papa presentaron buena emergencia. En la variedad Waych'a pacaña solamente el tratamiento biofoska tuvo un leve efecto favorable en relación al guano, en cambio, en Sani imilla los tratamientos biofoska, ecoterra y biosol superaron al porcentaje de emergencia del guano. La misma tendencia se observó en las variedades de papa respecto a la altura de plantas.
- El número de tubérculos por planta no incrementó significativamente al adicionar los abonos biosol, biofoska y ecoterra frente al guano en las dos variedades de papa, sólo se observó significancia estadística entre el promedio general del número de tubérculos de Waych'a pacaña y Sani imilla con 18.60 y 13.18 tubérculos respectivamente.
- Existe una correlación significativa entre el número de tubérculos por planta y el rendimiento, en las variedades Waych'a pacaña y Sani imilla.
- Los tratamientos guano, biofoska, ecoterra, biosol presentaron rendimientos de 22.04, 19.74, 18.26 y 17.59 tn.ha⁻¹ en la variedad Waych'a pacaña y se puede observar que en esta variedad los tres abonos no causaron incrementos en el rendimiento con relación al guano. Sin embargo, en Sani imilla los tratamientos biosol, ecoterra, biofoska incrementaron levemente los rendimientos respecto al guano, cuyos rendimientos son de 21.88, 21.82, 21.64 y 20.53 tn.ha⁻¹, similares estadísticamente. La variedad Sani imilla presentó el promedio general de rendimiento de 21.46 tn.ha⁻¹, que es estadísticamente similar al rendimiento de Waych'a pacaña, que fue de 19.41 tn.ha⁻¹.
- Los valores de los rendimientos obtenidos en este trabajo, no significan que en el cultivo de papa no puedan emplearse los abonos biosol, biofoska, ecoterra, cuyos rendimientos son similares o son levemente superiores al tratamiento guano, pero sin presentar diferencias estadísticas; probablemente el efecto no se manifestó por las dosis bajas que se utilizaron en el ensayo y con mayores dosis se pueden incrementar los rendimientos. Se demuestra que con el guano se logran incrementar los rendimientos en el cultivo de la papa.
- En la evaluación de abonos orgánicos se pudo evidenciar que las respuestas a la aplicación no dependen únicamente del tipo de abono, sino que esto forma parte de otros factores como el clima, labores culturales, tipo de suelo, los cuales son factores que influyen de diferente forma en la manifestación de los abonos.
- La aplicación de insecticida o fungicida orgánico tuvo respuesta favorable en las medidas fitosanitarias del cultivo, a su vez complementado con algún producto químico específico, se logró disminuir considerablemente la proliferación de plagas o enfermedades.
- En las variedades de papa en estudio, la aplicación de los abonos (biosol, biofoska y ecoterra) no afectó la duración del ciclo vegetativo del cultivo.

- Respecto al tamaño de tubérculos, se observó que la variedad Waych'a paceña presentó el 31.89, 26.43, 20.91 y 20.76% de tubérculos en las clases segunda, tercera, primera y cuarta. Los valores de 33.46, 32.34, 22.64 y 11.55% de tubérculos de las clases segunda, primera, tercera y cuarta corresponden a la variedad Sani imilla. Ambas variedades de papa presentaron el mayor porcentaje de tubérculos comerciales y en último lugar se ubicaron los tubérculos pequeños.
- El análisis económico para el promedio general del rendimiento de ambas variedades con diferentes abonos orgánicos, no presenta ninguna tasa de retorno marginal. Según los análisis económicos de cada variedad de papa, la Waych'a paceña tampoco muestra retorno marginal para los diferentes tratamientos y la variedad Sani imilla presentó un retorno del 34% con el tratamiento biofoska.

BIBLIOGRAFIA

Arze Borda, J A., 1977. Factores que afectan a la producción agrícola. En curso Cultivos Andinos. Programa Andes Altos/IICA. La Paz, Bolivia, IICA, Zona Andina. Informes de conferencias, cursos y reuniones N° 117, B-6.

Augstburger, F., 1989. Abonos orgánicos en el cultivo de la papa en la zona Andina de Bolivia. Cochabamba, Bolivia. AGRUCO, Universidad Mayor de San Simón. Serie técnica N° 19, 14 pp.

Evans, L.T., 1983. Fisiología de los cultivos. Traducido por Hector Gonzáles I. Buenos Aires, Argentina, Hemisferio Sur S. A., pp 245-274.

Laura, J., 1999. Aplicación de abonos orgánicos en rotación de hortalizas y su efecto en el suelo en la microcuenca de Achocalla. La Paz, Bolivia, Tesis grado, Universidad Mayor de San Andrés, Facultad de Agronomía, pp 47.

Ministerio de Asuntos Campesinos y Agropecuarios, 1996. Departamento de Estadísticas Sectoriales MACA-SNAG, ENA-INE. La Paz, Bolivia, pp 12, 92.

Perrin, R., Winkelmann, D., Moscardi, E. y Anderson, J., 1979. Formulación de recomendaciones a partir de datos agronómicos. Un manual metodológico de evaluación económica. Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo, Folleto de información N° 27, México D. F., 55 pp.

Vacaflor, G., Arce, M. y Mariscal, E. 1992. Influencia de la aplicación de abono químico, estiércol y biobono en dos variedades de papa (*Solanum tuberosum* y *S. andigenum*). En II Reunión Nacional de la Papa. PROSEMPA, (CNS-MCTH), IBTA-PROINPA. Cochabamba, Bolivia, Universidad Autónoma Tomás Frías, Facultad de Agronomía (UATF), Potosí, Bolivia.

Villarroel, J. , 1990. Inventario de la producción de abonos orgánicos en Bolivia. En Seminario Nacional sobre fertilidad de suelos y uso de fertilizantes en Bolivia. Santa Cruz, Bolivia, Organización de la Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, Proyecto de fertilizantes (GCPF/BOL/018/NET), pp 75-83.

Wiersema, S., 1987. Efecto de la densidad de tallos en la producción de papa. Lima, Perú, Centro Internacional de la Papa, Boletín de información técnica N° 1, 16 pp.

Variación de los parámetros de infiltración en el riego por surcos a lo largo del ciclo de desarrollo del frijol (*Vigna unguiculata* L. Walp)

René Chipana R.¹ y Francisco de Souza²

1. Facultad Agronomía. Universidad Mayor de San Andrés. Casilla 11789. La Paz, Bolivia.

2. UFC, CE-Brasil

RESUMEN

En este trabajo se determinó la variación de las características de infiltración del suelo durante el ciclo de riegos del frijol (*Vigna unguiculata* L. Walp). Las pruebas fueron realizadas en el perímetro irrigado de Morada Nova, CE, Brasil, en un suelo franco limoso y surcos con longitud de 110 metros. Los parámetros de infiltración de la ecuación de Kostiakov-Lewis fueron determinados durante los cuatro riegos después de la siembra, empleándose el método de los dos puntos. Para ello se determinaron los caudales de entrada y salida, los tiempos de avance y la sección transversal al flujo. Los resultados alcanzados indican que la capacidad de infiltración del suelo es mayor durante el primer riego, a partir de ese momento tiende a disminuir hasta el tercer riego. Se concluye por tanto que el diseño de sistemas de riego por surcos debe ser elaborado para los primeros riegos y riegos subsecuentes, siendo estos últimos representados por el tercer riego.

INTRODUCCION

Uno de los mayores problemas en el diseño del riego por superficie es la dificultad en caracterizar la infiltración en el suelo, tornando crítica la determinación del caudal de aducción y el tiempo de riego. De ahí que fueron desarrollados varios modelos para optimizar el diseño del riego por surcos, sin embargo, muchos de ellos asumen que las características de infiltración permanecen constantes, siendo que en realidad la tasa de infiltración varía tanto en el espacio como en el tiempo, lo que se refleja en la eficiencia del sistema. De esta manera, el objetivo de este trabajo fue determinar el grado de variación de las características de infiltración del suelo a lo largo de la estación del cultivo en un área irrigada por surcos.

Booher (1974), Walker y Skogerboe (1987) y Bautista y Wallander (1993), indican que un diseño óptimo y manejo adecuado de los sistemas de riego por superficie requiere el conocimiento detallado de las características de infiltración del suelo. Sin embargo, la complejidad del fenómeno de infiltración dificulta la obtención de una función de infiltración representativa durante el período de cultivo (Frizzone, 1993; Bautista y Wallander, 1993).

La importancia de caracterizar la infiltración del suelo reside fundamentalmente en el hecho de que este influye en el caudal de entrada y en el tiempo de riego (Walker, 1989; Childs et al., 1993).

La mayoría de los modelos matemáticos para la simulación del riego requieren que las características de infiltración del suelo sean cuantificadas (Turbak y Morel-Seytoux, 1989). En la utilización de esos modelos, cuando se asume que la ecuación característica de la tasa de infiltración no es variable, el tiempo de avance normalmente es sobrestimado (Turbak y Morel-Seytoux, 1989). Strelkoff y Souza (1984), Bautista y Wallander (1993) mostraron que la tasa de infiltración es función del perímetro mojado, la cual varía a lo largo del ciclo del cultivo.

Childs et al. (1993), cuando trabajaron con suelos de diferentes texturas sometidas a diferentes tiempos de riego y comparando los parámetros de infiltración de los riegos ejecutados antes y después de la siembra, verificaron que el efecto del suelo es preponderante en la variación de estos parámetros, reflejándose en el desempeño de los sistemas de riego.

MATERIALES Y METODOS

La investigación fue realizada en el perímetro irrigado de Morada Nova, CE, Brasil. El cultivo explotado fue el "frijol de cuerda" (*Vigna unguiculata* L. Walp), dentro un área de 144 metros de largo por 75 metros de ancho, cuyo suelo presentaba una textura predominantemente franco limosa. Los surcos tuvieron una longitud de 110 metros con una pendiente del 0.3%, con un metro de distancia entre surcos o líneas. Dentro una misma línea se emplazaron dos plantas cada 0.35 metros.

Se escogieron al azar tres surcos adyacentes, donde los dos surcos laterales sirvieron como "amortiguadores" y las mediciones se realizaron en el surco central. Los caudales de entrada y salida se computaron mediante aforadores Parshall de 1" de garganta, previamente calibrados. Asimismo, para la determinación de la fase de avance, se marcaron los surcos con estacas distanciadas a cada 10 metros. El área de la sección transversal del surco fue determinada a la entrada de este mediante un perfilómetro, antes y después del riego.

Para caracterizar la infiltración del suelo, se empleó el modelo de KOSTIAKOV-LEWIS, representado por:

$$Z_r = K \cdot T_r^a + f_o \cdot T_r \quad (01)$$

donde, Z_r , es la lámina requerida, que es igual al producto de la lámina neta, Z_n , por la distancia entre surcos, w_f , (m^3 de agua. m^{-1} de lámina); a , es el parámetro de infiltración (adimensional); k , parámetro de infiltración ($m^3 \cdot m^{-1} \cdot \text{min}^{-a}$); T_r , es el tiempo de oportunidad (min) y f_o , es la velocidad de infiltración básica ($m^3 \cdot \text{min}^{-1} \cdot m^{-1}$).

Los parámetros de la ecuación de infiltración de Kostiakov-Lewis fueron determinados para los cuatro riegos después de la siembra. Para ello se empleó el método de los dos puntos propuesto por Elliot Y Walker (1982), el cual se fundamenta en el principio de la conservación de la masa (balance de volumen).

La ecuación general de balance de volumen cuando es aplicada a la fase de avance a un segmento del surco comprendido entre dos puntos (mitad de la longitud del surco y longitud total) puede ser representada por:

$$Q_s \cdot T = \sigma_y \cdot A_o \cdot L + \sigma_z \cdot k \cdot T^a \cdot L + f_o \cdot T \cdot L / (1+r) \quad (02)$$

siendo Q_s , el caudal de entrada ($m^3 \cdot \text{min}^{-1}$); A_o , área de la sección transversal al flujo (m^2); T , tiempo considerado desde el inicio del riego (min); L , longitud considerada del surco (m); σ_y , factor de almacenamiento superficial (0,77); σ_z , factor de almacenamiento subsuperficial, definido por:

$$\sigma_z = \frac{a+r(1-a)+1}{(1+a)(1+r)} \quad (03)$$

siendo que, r , representa el exponente empírico de la ecuación de avance:

$$L = pT^r \quad (04)$$

donde L , es la distancia alcanzada por el frente de agua (metros) en T minutos, p , y r , son parámetros empíricos.

Por lo tanto, como un primer paso para determinar los parámetros empíricos de la ecuación de infiltración se calcula r de la ecuación de avance, mediante:

$$r = \frac{\log(L/0,5L)}{\log(T_L/T_{0,5L})} \quad (05)$$

donde L y $0,5L$ son las longitudes total y media respectivamente y T_L y $T_{0,5L}$ son los tiempos de avance para L y $0,5L$ respectivamente. Como segundo paso se determina el área de la sección transversal empleando la ecuación de Manning:

$$Q_s = A_o \cdot R^{0,67} \cdot S_o^{0,5} / n \quad (06)$$

siendo que R, es el radio hidráulico en metros; So, es la pendiente en m/m y n el coeficiente de rugosidad de Manning, que generalmente asume un valor de 0,04. A partir de la anterior ecuación se encuentra que:

$$A_o = C1 \left(\frac{Q_s \cdot n}{60 \cdot S_o} \right)^{C2} \quad (07)$$

donde C1 y C2 son parámetros empíricos que dependen de la forma del surco.

Para resolver la ecuación (07) primero se asume una función potencia entre la lámina, Y, y el ancho del surco, T:

$$T = a1 \cdot Y^{a2} \quad (08)$$

por lo tanto:

$$a2 = \frac{\log(T_T/T_{0,5})}{\log(Y_T/Y_{0,5})} \quad (09)$$

y

$$a1 = T_T / (Y_T^{a2}) \quad (10)$$

donde T_T y Y_T son el ancho máximo del surco (en la zona del tirante de agua) y la lámina máxima de agua, y T_{0,5} y Y_{0,5} los valores intermedios. A partir de los anteriores datos se obtiene:

$$\sigma1 = a1 / (a2 + a1) \quad (11)$$

$$\sigma2 = a2 + 1 \quad (12)$$

Por otra parte, el perímetro mojado, P, se determina tanto para todo el surco, P_T, como para la mitad, P_{0,5}, a través de las siguientes relaciones:

$$P_{0,5} \mid \frac{n/2}{n/2} = \sum_{i=0}^{n/2} \{2[(Y_i - Y_{i-1})^2 + [0,5(T_i - T_{i-1})^2]^{0,5}]\} \quad (13)$$

$$P_T \mid \frac{n}{n} = \sum_{i=0}^n \{2[(Y_i - Y_{i-1})^2 + [0,5(T_i - T_{i-1})^2]^{0,5}]\} \quad (14)$$

$$\gamma2 = \frac{\log(P_T/P_{0,5})}{\log(Y_T/Y_{0,5})} \quad (15)$$

$$\gamma1 = P_T / (Y_T^{\gamma2}) \quad (16)$$

por lo tanto:

$$C2 = 3\sigma2 / (5\sigma2 - 2\gamma2) \quad (17)$$

$$C1 = \sigma1 \left(\frac{\gamma1^{0,67}}{\sigma1^{1,67}} \right)^{C2} \quad (18)$$

para la determinación de a, también se emplea la técnica de los dos puntos a partir de la ecuación (02):

$$Q_s.T = \sigma_y.A_o.L + \sigma_z.k.T^a.L + f_o.T.L/(1+r)$$

$$Q_s.T_{0,5} = \sigma_y.A_o.L_{0,5} + \sigma_z.k.T_{0,5}^a.L_{0,5} + f_o.T_{0,5}.L_{0,5}/(1+r) \quad (19)$$

$$a = \frac{\ln (V_L/V_{L0,5})}{\ln (T_T/T_{0,5})} \quad (20)$$

donde V_L y $V_{L0,5}$, son el volumen almacenado en la superficie de toda la longitud del surco y en la mitad, respectivamente.

$$V_L = Q_s.T/L - \sigma_y.A_o - f_o.T/(1+r) \quad (21)$$

$$V_{L0,5} = Q_s.T_{0,5}/L_{0,5} - \sigma_y.A_o - f_o.T_{0,5}/(1+r) \quad (22)$$

el parámetro k se obtiene a partir de:

$$k = V_L/(\sigma_z.T^a) \quad (23)$$

la velocidad de infiltración básica, f_o , se computa mediante:

$$f_o = (Q_s - Q_{se})/L \quad (24)$$

f_o , está en unidades de volumen por unidad de longitud y tiempo; Q_s , es el caudal de entrada y Q_{se} el caudal de salida estabilizado durante el riego.

RESULTADOS Y DISCUSION

Los resultados alcanzados durante los cuatro riegos y empleados en la obtención de los parámetros de infiltración son presentados en el cuadro 1. En el cuadro 2 están consignados los valores de los parámetros de infiltración obtenidos mediante el balance de volumen. Asimismo, las figuras 1 y 2 muestran las tendencias de variación de la velocidad de infiltración e infiltración acumulada para los cuatro eventos de riego.

CUADRO 1. Caudal, área y tiempo de avance para las diferentes pruebas de campo.

Evento de Riego	Caudal ($m^3 \cdot min^{-1}$)		Área (m^2)	Tiempo de avance (min)	
	Entrada	Salida*		para 0,5L	para L
Primer	0.051384	0.016912	0.006913	34	125
Segundo	0.051384	0.022949	0.007559	25	73
Tercer	0.060358	0.039145	0.007573	23	61
Cuarto	0.055157	0.034801	0.006980	14	45

* Caudal de salida estabilizado

CUADRO 2. Parámetros de la ecuación de infiltración.

Evento de Riego	a	K ($m^3 \cdot m^{-1} \cdot min^{-a}$)	f_o ($m^3 \cdot m^{-1} \cdot min^{-1}$)
Primer	0.264626	0.008969	0.000313
Segundo	0.197579	0.008279	0.000258
Tercer	0.216148	0.010018	0.000193
Cuarto	0.454216	0.002767	0.000185

Observando el cuadro 2, se verifica que la velocidad básica de infiltración del suelo tiende a reducirse con el incremento del número de riegos a lo largo del ciclo del cultivo. Esto se debió al ordenamiento y acomodación de las partículas del suelo, producto de una paulatina sedimentación, alterando la estructura de este, reduciéndose por tanto la macroporosidad y produciendo un encostramiento de baja conductividad hidráulica en la superficie del suelo.

La presencia de esta costra puede ser comprobada durante la fase de avance que presenta una tendencia decreciente con el incremento del número de riegos.

La curva de velocidad de infiltración alcanzó su pico durante el primer riego. Esta tendencia también fue registrada para el segundo riego.

En el tercer riego, debido a un deshierbe previamente realizado, la velocidad de infiltración en los primeros instantes también fue elevada. Sin embargo, posteriormente disminuyó drásticamente, este comportamiento ocurrió por la remoción del estrato superficial del suelo, que hizo que el agua en los primeros instantes se infiltre rápidamente. No obstante, como el estrato inmediatamente inferior se mantuvo "inalterado", esta tendió a reducirse.

Con relación al cultivo, no se pudo determinar con precisión su efecto sobre la variación de las características de infiltración del suelo.

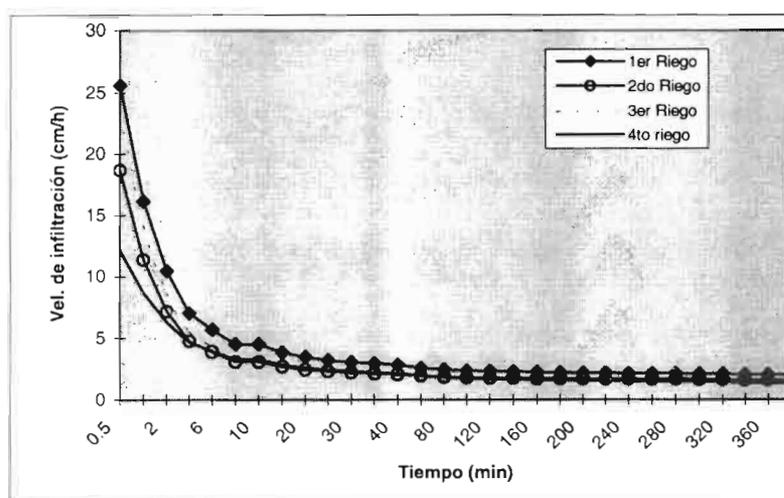


FIGURA 1. Velocidad de infiltración de los diferentes eventos de riego.

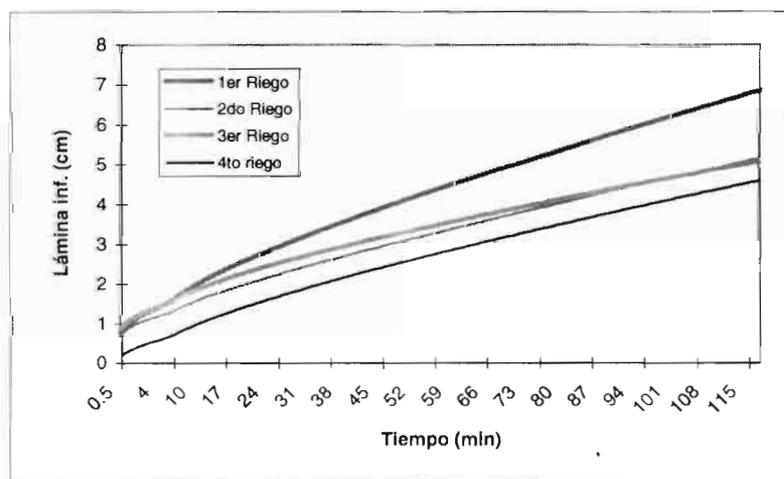


FIGURA 2. Infiltración acumulada de los diferentes eventos de riego.

CONCLUSIONES

- Por el análisis de los resultados se puede concluir que la infiltración varía de un evento de riego a otro, principalmente cuando se comparan los primeros riegos, disminuyendo hasta el tercero. A partir de ahí, se constataron pocas modificaciones. Por lo tanto, cuando se proyecta sistemas de riego por surcos, se debe diseñar para las condiciones de primeros y para las de los subsecuentes riegos, siendo que la tercera o cuarta representa a las últimas.

BIBLIOGRAFIA

Bautista, E. y Wallander, W., 1993. Identification of furrow intake parameters from advance times and rates. Journal of irrigation and drainage, Division Engineering, Vol 119, 2 : 295-311.

Booher, J. L., 1974. Surface irrigation. Food and Agriculture Organization of United Nations (FAO), 160 pp.

Childs, J. L., Wallander, W. y Hopmans, W., 1993. Spatial and seasonal variation of furrow infiltration Journal of irrigation and drainage, Division Engineering, Vol 119, 2: 74-90.

Elliot, R. y Walker W., 1982. Field evaluation of furrow infiltration and advance functions. Trans. Asae, Vol.24, 2: 396-400.

Frizzone, J. A, 1993. Irrigação por superficie. Esalq/Usp. Sao Paulo, Serie Didáctica N° 005: 183pp.

Strelkoff, T. y Souza, F., 1984. Modeling effect of depth on furrow infiltration. Journal of irrigation and drainage, Division Engineering, Vol. 110, 4:375-387.

Turbak, S. y Morel-Seytoug, 1988. Analytical solutions for surface irrigation. I: Constant infiltration rate. Journal of irrigation and drainage, Division Engineering, Vol. 114, 1:31-47.

Turbak, S. y Morel-Seytoug., 1988. Analytical solutions for surface irrigation. II: Variable infiltration rate. Journal of irrigation and drainage, Division Engineering, Vol. 114, 1:48-59.

Walker, W. R., 1989. Guidelines for designing and evaluating surface irrigation systems. Roma, FAO, 137pp.

Walker, W. R. y Skogerboe, G. V. , 1987. Surface Irrigation - Theory and Practice. New Jersey, Prentice Hall, 386pp.

Aprovechamiento de la roca fosfórica como fertilizante simple

Oscar Soliz Vasquez¹

1 Universidad Autónoma Tomás Frías. Facultad de Ciencias Puras. Carrera de Ciencias Químicas. Potosí, Bolivia.

RESUMEN

El fósforo es un elemento indispensable para los vegetales, por lo tanto, es necesaria la aplicación de fertilizantes fosforados ya sean naturales o sintéticos. El presente trabajo tiene como objetivo buscar formas de aprovechamiento de la roca fosfórica, de Buey Tambo (Potosí), como fertilizantes que se puede aplicar de manera directa.

Los resultados obtenidos indican que mediante la acidulación con ácido sulfúrico de la roca fosfórica, se puede obtener fertilizante que presenta alta solubilidad en el suelo.

Para realizar la acidulación con ácido sulfúrico, se tiene una roca fosfórica con un contenido promedio de 19.1 % de P_2O_5 , para aumentar la solubilidad se ha acidulado en mineral sin concentrar y concentrado con flotación, aumentando la solubilidad en el primer caso de 1.66 % hasta 23.2 %.

En la acidulación en muestras concentradas por flotación se obtiene un producto líquido con un contenido de 72.7 % de P_2O_5 el fosfato monocálcico.

Se obtiene un fertilizante sólido de aplicación directa mediante acidulación a reacción lenta en minerales sin concentrar, pero al mismo tiempo, se puede obtener un fertilizante de fosfato monocálcico por la posterior cristalización en minerales concentrados por flotación.

INTRODUCCION

La materia prima para la producción de fósforo y sus compuestos es la roca fosfórica, que son formaciones mineralógicas de fosfatos que contienen mezclas de fluorapatita [$Ca_5(PO_4)_3F$], clorapatita [$Ca_5(PO_4)_3Cl$] e hidroxiapatita [$Ca_5(PO_4)_3OH$], se encuentran en muchas rocas eruptivas como granos microscópicos finos, junto con silicato, arcillas, materia orgánica, óxido de hierro, aluminio y otros compuestos. La roca fosfórica según haya sido la forma de deposición, contiene de 18 a 81% de fosfato tricálcico [$Ca_3(PO_4)_2$] (Ortuño, 1976).

Estos depósitos existen en alrededor de 31 países, siendo el 80 % de producción de EE.UU., Rusia y Marruecos; en 1994 se ha producido a nivel mundial aproximadamente 136 millones de toneladas métricas, siendo el mayor yacimiento del mundo de este mineral Rusia (Península de Cola) (Mining Annual Review, 1995).

En América existen pocas industrias dedicadas a la producción de fertilizantes fosforados a partir de roca fosfórica debido, principalmente, a que los depósitos existentes no son de gran magnitud. Sin embargo, podemos citar a la Compañía Minera General Rodolfo Sierra S.A. y Cosmos Online que son las principales empresas de producción de fertilizantes fosforados a partir de roca fosfórica en México, que en 1994 procesaron 541,776 toneladas métricas de este material. La empresa Minera Pacífico S.A. (Perú), de enero a noviembre de 1997 ha producido 28,076 toneladas de fertilizantes (Producción Agrícola, 1997). La planta Arafertil, conformada por una asociación del gobierno de Brasil, La Serrana Mining Company y varios inversores privados procesa apatita de ley promedio de 15% de P_2O_5 y produce 600,000 toneladas anuales de concentrados con una ley de 37% de P_2O_5 , que son comercializadas a las plantas químicas establecidas dentro del país para su uso en la producción de una variedad de productos fertilizantes (Laboratorio de Preparaciones Minerales, 1995).

En Bolivia, existen varios estudios geológicos realizados de diferentes depósitos, donde se identifican dieciseis zonas de mineral de fosfato, la mayoría de ellos localizados en la Cordillera Oriental (Gonzales, 1983). El único depósito conocido a detalle es el de Capinota (Cochabamba), en base a estudios realizados a través de un convenio entre el IIMM y ENAF se efectuaron trabajos de investigación para el beneficio de roca fosfatada. Así mismo, se hicieron avances sobre el tratamiento

de la roca fosfórica por el proceso de flotación y la acidulación parcial con ácido sulfúrico (Ríos y Escalera, 1983).

En el departamento de Potosí existen depósitos de fosfatos, es así que Camacho (1978) realizó trabajos preliminares de prospección de roca fosfórica en una área de aproximadamente 220 km², al este de la localidad de Betanzos, provincia Saavedra, determinando varias zonas de interés. La zona más importante es la de Buey Tambo que presenta tenores promedios en P₂O₅ de 15.2%, que aún no ha sido estudiada con detenimiento y profundidad para su aprovechamiento. Este depósito se extiende longitudinalmente de norte a sur y paralelamente de oeste a este, alcanzando espesores hasta de 0.9 m con un rumbo norte 30°, buzamiento que oscila entre 42° y 51° al oeste, con un estudio de canaletas y zanjas.

En la actualidad toda la tecnología de los fertilizantes fosfatados descansa sobre la necesidad de solubilizar la estructura insoluble de la roca fosfórica, materia prima para obtener compuestos de los que sea movilizable el ion fosfato (PO₄⁻³), por el agua o por los ácidos débiles. Los compuestos solubles en agua serían de acción inmediata y los solubles en ácidos débiles de acción diferida (Ortuño, 1976).

Comportamiento de los fosfatos en el suelo

La apatita se utiliza en la industria de abonos, que se comercializa como superfosfato:



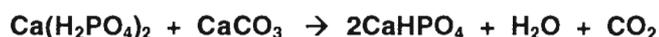
El abono o fertilizante fosforado puede clasificarse en tres grupos: los orgánicos o estiércol, los fosfatos minerales naturales y los fosfatos minerales industrializados, que actúan a través del suelo siendo un medio activo, desde los puntos de vista químico, físico y biológico.

El fósforo como elemento principal de la planta, es un nutriente de suma importancia para el desarrollo de raíces, que tiende a presentarse en formas escasamente asimilables por los cultivos. En el suelo, el fósforo es muy poco móvil y no se repone naturalmente una vez extraído del mismo a través de las cosechas; se incorpora al vegetal por medio de la absorción radicular de las cantidades existentes en el suelo, que cosecha tras cosecha llegan a agotarse, por lo que es imprescindible reponer, resultando ser el factor limitante más importante para la producción de cosechas en algunos suelos (Epshtein, 1978).

Muchos autores han observado que la materia orgánica aumenta la aprovechabilidad del fósforo del suelo y de la roca fosfórica que se agrega como fertilizante; esto parece que se debe a ciertas sustancias orgánicas (hidroxi-ácidos orgánicos), que forman moléculas complejas estables con hierro y aluminio, liberando el fósforo. Además que el efecto benéfico de la materia orgánica para mantener asequible el fósforo para el uso de las plantas, se debe fundamentalmente a la formación de fosfatos orgánicos que son fijados con menor fuerza que los fosfatos inorgánicos y a la mineralización de la materia orgánica que contiene fósforo, por parte de las bacterias, con el posterior desprendimiento de este para el uso de las plantas. (Bradley y Sieling; Struthers y Sieling en Gutierrez, 1980)

Una planta asimila el fósforo en varias formas de ion fosfato (PO₄⁻³), principalmente como [Ca₃(PO₄)₂], [Ca(H₂PO₄)₂], CaHPO₄, (NH₄)₂HPO₄ y NH₄H₂PO₄.

Según Teuscher y Adler (1965), "En la nutrición de los vegetales, los fosfatos de calcio son de mayor importancia. Podría pensarse que aplicando superfosfato se acidificaría el suelo pero no es así, porque en presencia de iones calcio que existe en cualquier suelo, el fosfato monocálcico es convertido inmediatamente en fosfato dicálcico neutro", como se demuestra en la conversión del monofosfato en presencia del calcio:



Si existe un alto contenido de CO₂ en la atmósfera del suelo, se forma bicarbonato de calcio que en presencia del fosfato monocálcico reacciona:



Ortuño (1976) afirma que, "La roca fosfórica natural, ni aún molida a límites de finura, se puede utilizar como fertilizante directo, su estructura compleja la hace muy insoluble en el agua y en los jugos de las

raíces, por lo que las plantas no pueden asimilar el fósforo de esta forma. Solo en terrenos muy ácidos se ha obtenido algún resultado, incluso añadiendo azufre a la roca pulverizada, donde este es oxidado por las bacterias del terreno a ácido sulfúrico (H_2SO_4) que ataca a la roca, obteniendo roca fosfórica soluble”.

Sin embargo, Rodríguez (1989) en estudios sobre la aplicación de la roca fosfórica en cultivos de maíz en “El Vallecito” (Santa Cruz, Bolivia), advierte que existe poca diferencia entre la aplicación de la roca fosfórica y el superfosfato triple (46% de P_2O_5 , 46% de N, y 60% de K_2O), siendo posible sustituir los fertilizantes químicos por rocas fosfóricas en los suelos estudiados de la región.

El presente trabajo de investigación busca:

- Cualificar los depósitos fosfáticos de la localidad de Buey Tambo, provincia Cornelio Saavedra (Potosí), para su aprovechamiento como fertilizante.
- Estudiar diferentes formas de acidulación de la roca fosfórica con H_2SO_4 , para obtener un fertilizante de uso directo.
- Determinar el tratamiento de concentración por flotación más adecuado que debe seguir la roca fosfórica para elevar el contenido de P_2O_5 .

MATERIALES Y METODOS

Entre los métodos de investigación, se utiliza el método experimental, complementado por la observación del comportamiento químico y físico del mineral, análisis-síntesis de las muestras y un estudio documental, bibliográfico relacionado a rocas fosfóricas.

El método experimental como base de la investigación siguió los siguientes pasos:

- Determinar el contenido de P_2O_5 en muestras de roca fosfórica de los depósitos de fosfatos de Buey Tambo, a diferente granulometría.
- Realizar la concentración, en muestras de Buey Tambo, por flotación de espuma.
- Del resultado más alto en contenido de P_2O_5 de la concentración, proceder a la acidulación parcial con H_2SO_4 en base a las variables más importantes.
- Acidulación parcial de tres formas para aumentar la solubilidad.
- Procedimiento experimental y resultados.

Muestreo de menas de roca fosfórica

En el muestreo de roca fosfórica de la zona se tomaron varias muestras a diferentes distancias en forma aleatoria, las muestras fueron transportadas teniendo en cuenta todos los cuidados necesarios para evitar alteraciones (Díaz y Hunter, 1978) y fueron sometidas al secado a temperatura ambiente, fragmentación, tamización y cuarteado.

Análisis químico

Los resultados se pueden ver en los cuadros 1 y 2.

CUADRO 1. Análisis químico de roca fosfórica de Buey Tambo en cinco tamaños de grano menores de 0.4 mm.

Elementos	Tamaño de grano (mm)				
	0.4-0.315	0.315-0.25	0.25-0.20	0.20-0.125	0.125-0.10
Humedad (%)	0.41	0.44	0.39	0.39	0.41
Materia orgánica (%)	1.62	1.43	1.70	1.83	1.83
P_2O_5 (%)	19.35	19.36	22.83	18.66	14.73
SiO_2 ,ins. (%)	20.96	21.78	23.73	24.68	27.54
CaO (%)	30.80	30.90	31.80	30.60	26.40
MgO (%)	0.70	0.72	0.67	0.73	0.74
Fe_2O_3 (%)	4.47	4.69	4.84	5.27	4.42
CO_2 (%)	2.46	2.47	1.83	1.18	1.16

CUADRO 2. Análisis químico de muestra de roca fosfórica de Buey Tambo en cinco tamaños de granos menores de 0.15 mm.

Elementos	Tamaño de grano (mm)				
	0.15 – 0.125	0.125 - 0.10	0.10 - 0.08	0.08 - 0.05	< 0.05
Humedad (%)	0.38	0.36	0.41	0.39	0.38
Materia orgánica (%)	1.58	1.74	1.75	1.78	2.00
P ₂ O ₅ (%)	20.13	20.55	20.56	18.70	16.40
SiO ₂ ,ins. (%)	22.65	24.45	24.72	26.21	28.51
CaO (%)	26.90	29.00	31.70	31.30	29.30
MgO (%)	0.64	0.75	0.74	0.80	0.81
Fe ₂ O ₃ (%)	4.65	4.82	4.98	5.01	5.10
CO ₂ (%)	2.40	2.12	1.58	1.78	1.31

La distribución de los minerales principales, como la fluorapatita y cuarzo en la roca fosfórica, según el análisis químico realizado, varía de un tamaño de grano a otro existiendo una diferencia en los contenidos de P₂O₅ y SiO₂, debido principalmente al grado de liberación que posee la roca fosfórica de sus componentes.

El grado de liberación es un índice que cuantifica el fenómeno de liberación y que depende de la distribución granulométrica producida. En general, si el grano está compuesto de dos minerales mayoritarios como la roca fosfórica no se pueden separar totalmente. Se debe fragmentar el grano del mineral y de los muchos granos finos así obtenidos, algunos serán de apatita y otros de cuarzo, por lo tanto, se dice que los componentes del grano han sido liberados parcialmente y distribuidos en sus diferentes tamaños.

Análisis mineralógico

El análisis mineralógico se realizó en Spectrolab UTO (Oruro) y el Instituto de Investigaciones Geológicas, UMSA (La Paz). Los resultados de este análisis indican que contiene en forma mayoritaria: fluorapatita, syn [Ca₅F(PO₄)₃] y cuarzo low SiO₂.

Como minerales en menor proporción se tiene: arcilla (illita); hidroxiapatita, syn [Ca₅(PO₄)₃(OH)]; diaboileite, syn [Pb₂CuCl₂(OH)₄]; natrocalcita [NaCu₂(SO₄)₂OH.H₂O]; carbonato-fluorapatita [Ca₁₀(PO₄)₅CO₃F]; sodiummeta-autunita Na₂(UO₂)(PO₄)₂.8H₂O; gabrielsonita [PbFe(AsO₄)(OH)]; meixnerita [Mg₆Al₂(OH)₁₈.4H₂O] y otros.

Concentración del mineral por flotación

La flotación actualmente es el método más importante para la concentración de rocas fosfóricas (Cassola y Speck, 1988). Para realizar la flotación de la apatita existen dos alternativas:

1. Flotación directa de la apatita con ácidos grasos, deprimiendo la ganga.
2. Flotación indirecta de la ganga con aminas, deprimiendo la apatita.

Los reactivos característicos para la flotación son los colectores primarios, porque estos entregan a la superficie mineral, el efecto de hidrofobación imprescindible para la adhesión de las burbujas de gas y la disminución en la hidratación de la superficie. La molécula del colector debe poseer un grupo que pueda causar este efecto, este grupo debe dirigirse después de la adsorción a la fase acuosa, es decir, el grano de mineral a flotar tiene que ser recubierto por lo menos parcialmente de un film hidrófobo.

La flotación directa o aniónica de fosfatos utiliza colectores aniónicos, generalmente ácidos grasos, estos tienen afinidad por los metales alcalinos térreos, que explica su adsorción a las superficies de la apatita. El concentrado obtenido algunas veces es sometido a una etapa de limpieza con colectores catiónicos para la flotación de silicatos remanentes. Es frecuente el uso de colectores secundarios no iónicos polares y no polares diferente al colector primario (queroseno, fuel oil, etc.), además de un agente dispersante, como el silicato de sodio (Na₂SiO₃), para depresar los silicatos y mejorar los resultados (Magalhaes y otros, 1988).

La flotación aniónica se ha planificado para un mineral que contiene fluorapatita y cuarzo, de acuerdo al diseño experimental atribuidos a Plackett y Burman, que son diseños factoriales fraccionarias de dos niveles, utilizados para estudiar K = N-1 variables en N ensayos. En la planificación del diseño se considera una matriz de doce pruebas y once variables de muchas que pueden existir, de las cuales siete son reales y cuatro ficticias (Cuadro 3).

CUADRO 3. Diseño experimental para la flotación de la roca fosfórica de Buey Tambo.

Nº	Variabes	Código	Nivel menor	Nivel mayor
1	pH de la turbia	A	5.0	11.0
2	Dilución	B	15%	25%
3	Granulometría	C	0.125-0.1mm	0.4-0.315mm
4	(Ficticia)	(D)	---	---
5	Concentración colector primario	E	0.5g.Kg ⁻¹	2.0 g.Kg ⁻¹
6	(Ficticia)	(F)	---	---
7	Concentración colector secundario	G	0.0 g.Kg ⁻¹	2.0 g.Kg ⁻¹
8	Tiempo de acondicionamiento	H	1 minuto	5 minutos
9	Concentración agente depresor	I	0.0 g.Kg ⁻¹	2.0 g.Kg ⁻¹
10	(Ficticia)	(J)	---	---
11	(Ficticia)	(K)	---	---

CUADRO 4. Resultados de la determinación de variables en la flotación.

Prueba	Ma (g)	Tamaño de grano (mm)	Mc (g)	Rm (%)	Cc (%)	R (%)
P - 8	87.5	0.125 - 0.10	49.37709	56.4	24.32	92.5
P - 12	52.5	0.4 - 0.315	2.40063	4.6	17.13	4.2
P - 7	87.5	0.4 - 0.315	4.15181	4.7	14.41	5.1
P - 5	87.5	0.4 - 0.315	3.98486	4.5	16.76	9.5
P - 1	87.5	0.125 - 0.10	40.87282	46.7	22.29	69.5
P - 10	52.5	0.125 - 0.10	33.15289	63.1	21.79	92.8
P - 3	52.5	0.125 - 0.10	21.04155	40.1	19.35	50.5
P - 4	52.5	0.4 - 0.315	2.32791	4.4	13.41	5.1
P - 11	87.5	0.125 - 0.10	41.67703	47.6	22.69	72.3
P - 6	52.5	0.4 - 0.315	2.74869	5.2	16.82	11.6
P - 2	87.5	0.4 - 0.315	5.94115	6.8	16.17	5.6
P - 9	52.5	0.125 - 0.10	25.31842	48.2	20.44	67.6

El rendimiento en masa se calcula con la siguiente relación:

$$R_m = (M_c / M_a) * 100$$

Donde: R_m = Rendimiento en masa; M_c = Masa del concentrado; M_a = Masa de alimentación.

La recuperación (R), por definición, es la parte del valor útil del mineral obtenido en el concentrado, expresada en porcentaje, según la siguiente relación:

$$R = ((C_c / C_a) * (C_a - C_b / C_c - C_b)) * 100$$

Donde: R = Recuperación; C_a = Concentración de alimentación; C_b = Concentración del residuo o colas; C_c = Concentración del producto flotante o concentrado.

Con los resultados obtenidos de la concentración del mineral, se procede a efectuar el análisis estadístico para determinar las variables más importantes (Cuadro 5).

Cuadro 5. Análisis estadístico de los resultados obtenidos en la flotación.

Nº	P ₂ O ₅ (%)	Variable	Efecto	T-test	Probabilidad	Confianza
1	24.32	A	2.107	3.355	0.041	95.9
2	17.13	B	1.283	2.043	0.115	88.5
3	14.41	C	-6.030	9.603	0.001	99.9
4	16.76	(D)	-0.643	1.024	0.367	63.3
5	22.29	E	0.907	1.444	0.226	77.4
6	21.79	(F)	-0.143	0.228	0.832	----
7	19.35	G	0.263	0.419	0.615	----
8	13.41	H	-0.460	0.733	0.505	----
9	22.69	I	-0.387	0.616	0.573	----
10	16.82	(J)	-0.917	1.460	0.221	77.9
11	16.17	(K)	0.55	0.876	0.433	56.7

De los resultados obtenidos, podemos resumir que las variables más importantes son: tamaño de grano, pH de la turbia y la dilución de la turbia. Luego, se procede a la flotación para optimizar cada variable, manteniendo el resto de las variables constante en niveles bajos y debido al bajo rendimiento se disminuye el tamaño de grano a < 0.15 mm.

Para esta fase de la flotación, las siguientes variables se mantuvieron constantes: tiempo de acondicionamiento de un minuto, concentración del colector primario 1.0 g.kg⁻¹, concentración del colector secundario 0.5 g.kg⁻¹ y concentración del depresor 0.5 g.kg⁻¹. Los resultados se muestran en los cuadros 6, 7 y 8.

CUADRO 6. Influencia del tamaño de grano en la flotación de la roca fosfórica; pH 8 y relación sól./líq. del 20%.

Nº	Tamaño de grano (mm)	Ma (g)	Ca (P ₂ O ₅ %)	Mc (g)	Cc (P ₂ O ₅ %)	Rm (%)	R (%)
1	0.15-0.125	70.0	20.13	8.5165	24.3	12.2	33.2
2	0.125-0.10	70.0	20.55	30.5792	26.3	43.7	62.3
3	0.10-0.08	70.0	20.56	34.6788	29.6	49.5	75.1
4	0.08-0.05	70.0	18.70	36.5445	25.3	52.2	75.0
5	< 0.05	70.0	16.40	37.4186	22.3	53.5	77.3

CUADRO 7. Influencia del pH en la flotación de la roca fosfórica, en tamaño de grano <0.05 mm y relación sólido/líquido del 20%.

Nº	pH	Ma (g)	Ca (P ₂ O ₅ %)	Mc (g)	Cc (P ₂ O ₅ %)	Rm (%)	R (%)
6	5.0	70.0	16.40	20.7834	21.3	29.7	50.0
7	6.5	70.0	16.40	25.5383	21.7	36.5	57.3
5	8.0	70.0	16.40	37.4186	22.3	53.5	77.3
8	9.5	70.0	16.40	38.1386	25.0	54.5	79.5
9	11.0	70.0	16.40	40.9123	23.0	58.4	78.0

CUADRO 8. Influencia de la relación sól./líq., en la flotación de roca fosfórica; tamaño de grano <0.05mm y pH 9.5.

Nº Prueba	Relación sól./líq.	Ma (g)	Cc (P ₂ O ₅ %)	Mc (g)	Cc (P ₂ O ₅ %)	Rm (%)	R (%)
10	15.0	52.5	16.4	38.5405	18.4	73.4	79.2
8	20.0	70.0	16.4	38.1386	25.0	54.5	79.5
11	25.0	82.5	16.4	50.8418	22.1	61.6	79.3

Por consiguiente en el cuadro 9, se presenta los resultados de las pruebas realizadas en base a los mejores resultados; logrando elevar el P₂O₅ de 20.56% hasta 30.4%.

CUADRO 9. Resultados obtenidos en la flotación de la roca fosfórica, en tamaño de grano de 0.10-0.08mm y la relación de sólido/líquido del 20%.

Nº Prueba	pH	Ma (g)	Ca (%)	Mc (g)	Cc (%)	Rm (%)	R (%)
13	5.0	70.0	20.56	33.5671	29.1	48.0	72.1
14	6.5	70.0	20.56	34.2503	29.3	48.9	73.8
3	8.0	70.0	20.56	34.6788	29.6	49.5	75.1
12	9.5	70.0	20.56	37.4998	30.4	53.6	82.4
15	11.0	70.0	20.56	35.1713	29.9	50.2	76.7

Proceso de acidulación de la roca fosfórica con H_2SO_4

Los fertilizantes pueden ser de acción lenta o acción rápida; los primeros son insolubles en agua y casi siempre difíciles de asimilar por las plantas, los segundos son los más adecuados porque son utilizados de inmediato por las plantas. Para obtener fertilizantes de acción rápida se debe aumentar la solubilidad mediante la reacción del $[Ca_3(PO_4)_2]$ con H_2SO_4 , esta operación se ha procedido a realizar de dos formas:

Degradación de la roca fosfórica, por reacción lenta con H_2SO_4

En este método se ha tratado la roca fosfórica (<0.05mm) con diferente concentración de H_2SO_4 , (menor y mayor a lo establecido por estequiometría de la reacción), durante 24 horas a temperatura ambiente y una relación de sólido-líquido de 1:1, para aumentar la solubilidad de la roca fosfórica. Para lo cual se ha realizado pruebas de solubilidad para tener un parámetro de comparación. La solubilidad después de la reacción lenta de acidulación y la distribución de P_2O_5 en la fase líquida del producto obtenido, se tiene en las figuras 1 y 2.

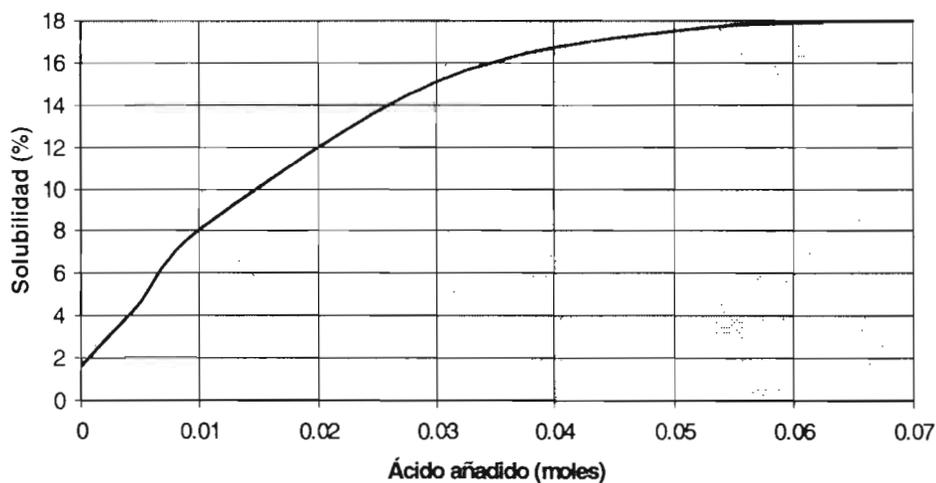


FIGURA 1. Influencia de la concentración de H_2SO_4 , en la solubilidad de la roca fosfórica después de la reacción lenta.

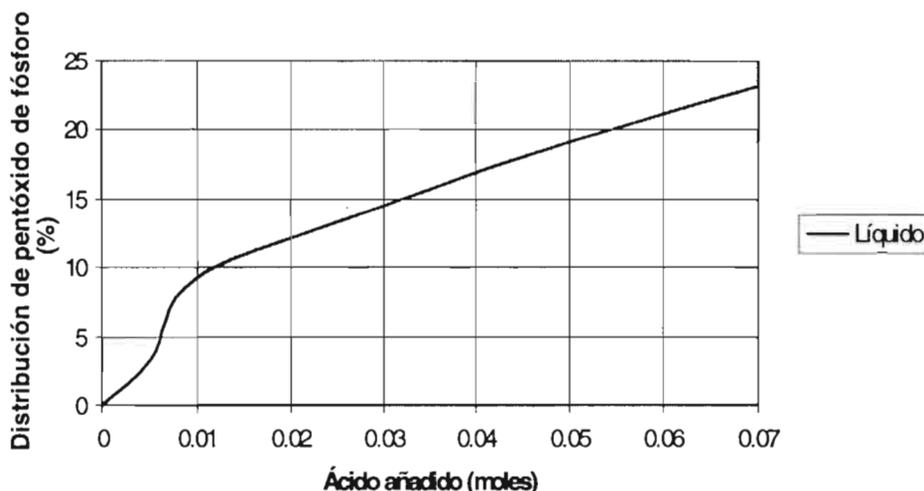


FIGURA 2. Influencia de la concentración de H_2SO_4 , en la distribución de P_2O_5 en la fase líquida después de la reacción lenta.

La eficiencia de solubilidad de la roca fosfórica acidulada con H_2SO_4 a reacción lenta, esta estrechamente relacionada con la concentración de ácido añadido al sistema, según la reacción:



donde realizando los cálculos estequiométricos podemos indicar que para 10 g de roca fosfórica con un contenido de 16.4% de P_2O_5 , se requiere 0.027 moles de H_2SO_4 .

La solubilidad del producto se presenta en constante aumento (Figura 1) y está relacionada con la concentración de ácido añadido al sistema. La capacidad de solubilidad se presenta baja, en concentraciones menores de ácido porque cuando existe deficiencia de ácido se produce el fosfato dicálcico que no es soluble en agua; en exceso se produce el fosfato monocálcico y a medida que aumenta la concentración de ácido se produce también el ácido fosfórico que son totalmente solubles en agua; aumentando al mismo tiempo la distribución de P_2O_5 en la muestra soluble y por lo tanto la solubilidad.

El tratamiento de la reacción lenta del mineral con ácido ha sido una reacción muy eficiente, pudiendo afirmar que de todos los resultados experimentales realizados, para obtener un fertilizante de uso directo sólido y con una solubilidad que responda a los requerimientos de las plantas vegetales, es necesario realizar una acidulación lenta con una cantidad inferior a 0.05 moles de H_2SO_4 . Concentraciones superiores de ácido, dificultan el secado de la muestra por el exceso de ácido agregado y aumento de pH que puede afectar en la acidez y un efecto contaminante del suelo y el intercambio de cationes.

La adición de ácidos o de materiales que los originan, hace descender el pH del suelo, sin embargo, la variación de pH suele ser relativamente pequeña en comparación con la cantidad de ácido o base administrada, ya que la mayoría de los suelos se hallan bien tamponados. La capacidad de intercambio catiónico es el principal mecanismo de que dispone el suelo para la neutralización de estas adiciones.

Acidulación de roca fosfórica enriquecido por flotación en un tamaño de grano

En estas pruebas se procedió a la acidulación con el producto de más alto contenido de P_2O_5 , donde se ha hecho reaccionar H_2SO_4 , con la muestra enriquecida por flotación de la prueba P-8-1 que tiene un contenido de 30.4% de P_2O_5 ; teniendo como variables principales: concentración del ácido, temperatura de reacción y tiempo de reacción, manteniendo constante porcentaje de sólidos 10%, tamaño de grano de 0.10-0.08 mm.

Las soluciones obtenidas por filtración, donde se encuentran según la bibliografía, el fosfato

monocálcico soluble, incluso el H₃PO₄ soluble y el residuo sólido que queda en el papel filtro, se realizan los análisis químicos respectivos de P₂O₅.

La reacción de producción de superfosfato simple está gobernada por la ecuación:

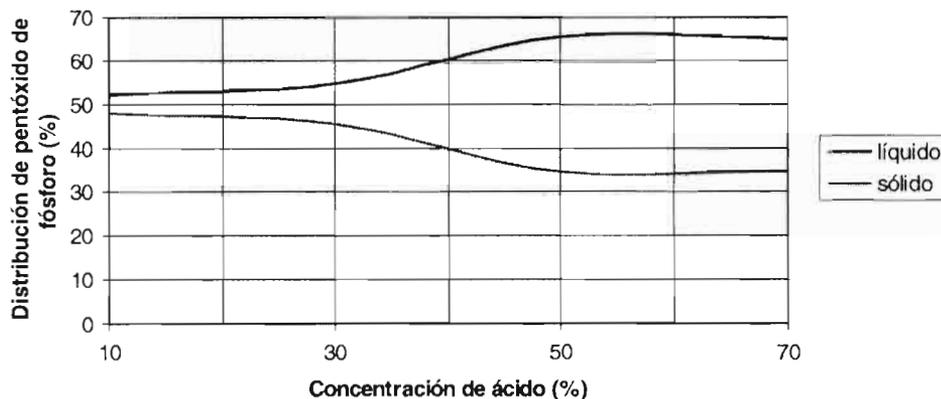


FIGURA 3. Efecto de la concentración de H₂SO₄, en la distribución de P₂O₅ en la fase líquida y sólida, de la acidulación en roca fosfórica concentrada, temperatura 12°C y tiempo de reacción 60 minutos.

a) Efecto de la concentración del ácido

La figura 3 nos muestra una curva de distribución del P₂O₅, donde en la fase líquida, se obtiene un aumento de la distribución del P₂O₅ a medida que aumenta la concentración de ácido, hasta un máximo a una concentración de 50% de ácido, para luego disminuir levemente en tanto la fase sólida ocurre lo contrario.

De los resultados se puede observar que por este método se obtiene el fosfato en la fase líquida, donde el producto más adecuado para la obtención de superfosfato simple es a una concentración de 50% de ácido. Esto se debe a que el ataque es más efectivo y la formación de CaSO₄ se puede separar como residuo en el sólido:



Pero al mismo tiempo se puede verificar la reacción donde se forma el H₃PO₄ que es soluble en agua, por lo tanto distribuida en la fase líquida, según la siguiente reacción:



Con ácidos diluidos se obtiene fosfato en la fase líquida, pero con un contenido menor de P₂O₅, que puede atribuirse a la formación del fosfato dicálcico poco soluble en agua, por medio de la siguiente reacción:



La influencia de otros compuestos en la reacción con el H₂SO₄ no se deja notar debido posiblemente a las bajas concentraciones que se encuentran en el mineral enriquecido.

b) Efecto de la temperatura de reacción

Se realizaron experimentos en un rango de 12 a 70°C como variable principal, manteniendo constante la concentración de H₂SO₄ y tiempo de reacción (figura 4).

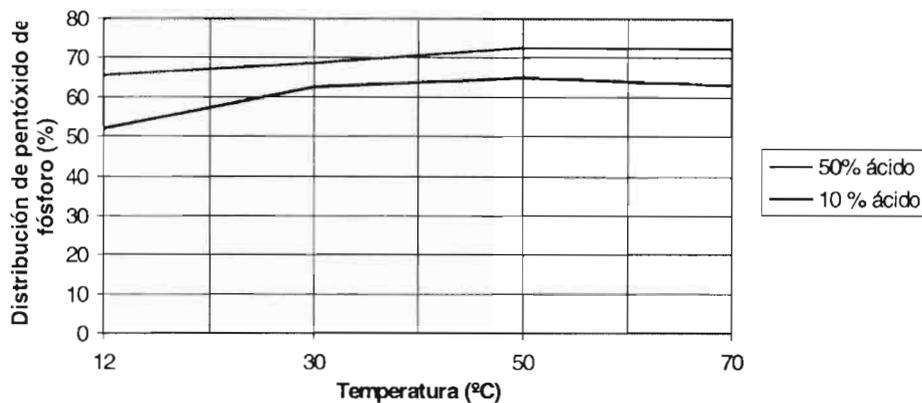


FIGURA 4. Efecto de la temperatura en la distribución de P₂O₅, en la fase líquida de la acidulación en roca fosfórica concentrada, concentración de ácido 10, 50% y tiempo de reacción 60 minutos.

En la figura se puede observar la distribución de P₂O₅ en la fase líquida, donde existe un aumento de P₂O₅ a mayor temperatura, este hecho es repetido en las dos concentraciones de ácido. Así mismo a partir de la temperatura de 30°C es favorable para la disolución en forma mayoritaria de la roca fosfórica, produciendo un contenido de P₂O₅ elevado.

A temperaturas mayores de 30°C. favorece la reacción, al mismo tiempo se va evaporando el agua de la solución ácida, produciendo una concentración del H₂SO₄, por lo que es posible que se produzca la siguiente reacción:



es decir que el aumento de temperatura y el tiempo de reacción favorece a la formación de ácido fosfórico, disminuyendo el contenido de P₂O₅ en la fase sólida.

El cambio de temperatura de un sistema químico, afecta el valor de la constante del equilibrio. Un sistema reversible esta en equilibrio si la temperatura permanece constante, pero el aumento de la temperatura aumenta la velocidad de solubilización, así como la velocidad de cristalización.

La constante del producto de solubilidad del Ca₃(PO₄)₂ a 25°C, es de 1.0x10⁻²⁵ y se ha determinado que la solubilidad es de 1.216x10⁻⁴ g/100ml. A medida que la temperatura se eleva, consecuentemente los valores de la Kps son mayores, aumentando la solubilidad.

c) Efecto del tiempo de reacción

En esta serie de experimentos se varia el tiempo de reacción de 15 a 120 minutos, el resto de las condiciones de operación se mantiene constante. La figura 5 muestra que la velocidad de reacción es rápida en los primeros 30 minutos debido a la formación del fosfato monocálcico, pero luego disminuye esta velocidad posiblemente por la producción de otras reacciones paralelas o en serie que se presenta por la complejidad del mineral, disminuyendo la formación del CaH₄(PO₄)₂, formándose otros compuestos.

La velocidad de una reacción depende de la concentración de los componentes que participan en ella, ya que estas concentraciones varían a medida que transcurre la reacción. Bajo condiciones apropiadas una sustancia puede transformarse en otra que constituye diferente especie química. Con la cinética química se puede estudiar la velocidad de reacción, considerando todos los factores que influyen sobre ella y explicar la causa de la magnitud de esa velocidad de reacción.

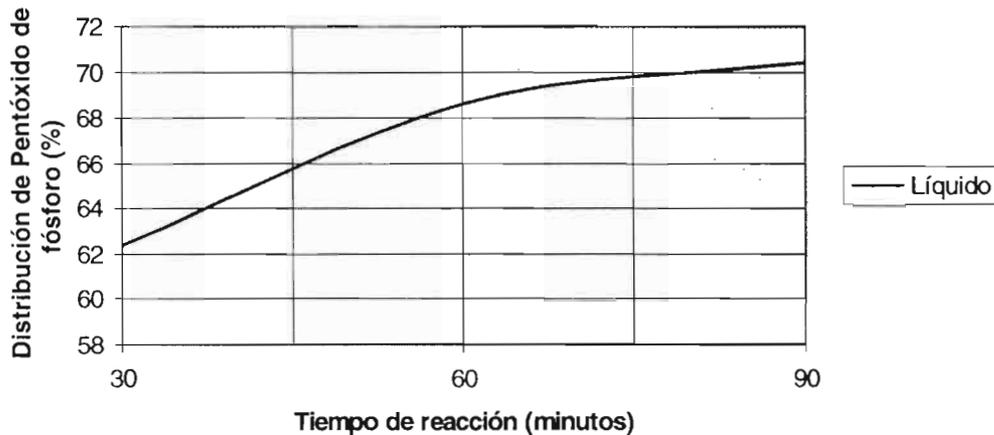


FIGURA 5. Efecto del tiempo de reacción en la distribución de P_2O_5 , en la fase líquida de la acidulación de roca fosfórica concentrada, concentración de <ácido 50% y temperatura $301^\circ C$.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- De acuerdo a las características químicas de la roca fosfórica de Buey Tambo, se ha podido observar que se puede aumentar la solubilidad por concentración y acidulación.
- Los contenidos de fosfatos, varían de acuerdo al tamaño de grano, con un valor promedio de 41.7% de $Ca_3(PO_4)_2$ o de 19.1% de P_2O_5 , con un margen de error de 1%.
- El contenido de P_2O_5 más elevado se encuentra en un tamaño de grano de 0.25-0.2 mm, con un contenido de 22.83%.
- La roca fosfórica de Buey Tambo es un mineral que contiene la fluorapatita y cuarzo
- Para realizar la flotación aniónica se obtiene los mejores resultados a un pH de 9.5, tamaño de grano de 0.1-0.08 mm, y una relación del 20%, obteniendo un contenido de 30.4% de P_2O_5 , y una recuperación del 82.4%.
- La concentración por flotación, produce concentrados de P_2O_5 aceptables, pero tiene algunos problemas de recuperación, principalmente en fracciones gruesas debido a su peso específico y la falta de selectividad del colector primario.
- En el proceso de acidulación por el método de degradación de la roca fosfórica por reacción lenta con H_2SO_4 , se obtiene un producto sólido de aplicación directa, donde aumenta la solubilidad de acuerdo a la concentración del ácido que se ha hecho reaccionar. Obteniendo un valor máximo de solubilidad del 18.% y un contenido de 3.9% de P_2O_5 , en una reacción de 10g de muestra con 0.07 moles de ácido. También se puede indicar que a concentraciones superiores a 0.07 moles de ácido, no es recomendable realizar la reacción porque presenta la dificultad del secado, debido al exceso de ácido presentando un pH bastante bajo.
- La acidulación de una roca fosfórica enriquecida por flotación, se debe realizar para obtener el fosfato monocálcico ($CaH_4(PO_4)_2$); porque el producto en la fase líquida contiene un 72.7% P_2O_5 .
- En resumen se puede decir que para obtener un fertilizante de uso directo y que sirva para aprovechar como fertilizantes fosforados, se puede realizar mediante degradación de la apatita a $CaH_4(PO_4)_2$ amasando 10g de muestra con 0.05 moles de ácido como máximo, una dilución 1:1, tiempo de reacción 24 horas.
- Para obtener un fertilizante que por cristalización se tenga el $CaH_4(PO_4)_2$, es recomendable realizar la reacción de acidulación con una concentración de H_2SO_4 del 50%, temperatura superior a los $30^\circ C$ y un tiempo de reacción superior a 60 minutos.

Es necesario mencionar como recomendación que permita profundizar el estudio:

- Realizar un estudio geológico más profundo, para conocer el potencial real existente.
- La concentración por el proceso de flotación de la roca fosfórica se ha efectuado con un solo tipo de colector, y simplemente la flotación aniónica, por lo que es necesario realizar una flotación catiónica, mixta y una flotación con otros colectores primarios.
- Realizar un estudio económico del tratamiento de concentración por el proceso de flotación y su posterior acidulación para la obtención del superfosfato cristalizado.

BIIBLIOGRAFIA

Ayres, H.G., 1970. Análisis químico cuantitativo. México, Editorial Harla.

Bishop, D. et al., 1981. Fosfatos de Capinota. Sumario del trabajo de concentración y estado del proyecto. Revista Perfil Minero Metalúrgico N° 18, IIMM, pp 11-18.

Bradley y Sieling, Struthers y Sieling, todos citados por E. Gutiérrez, 1980. Efecto de la aplicación de abonos orgánicos e inorgánicos sobre las propiedades químicas y físicas de un suelo de Ando. Chapingo, México, Tesis de grado de Maestría en Ciencias, Colegio de Postgraduados Universidad de Chapingo.

Camacho, A., 1978. Estudio geológico de los depósitos fosfáticos de las áreas de: Buey Tambo-Quivincha-Lagunillas. Potosí, Bolivia, Tesis de grado Universidad Autónoma Tomás Frías.

Cassola, H. y Speck, M., 1988. Pesquisa de reagentes e definicao de rota de proceso por Flotacao-fosfato de Irecé-Ba. Estudio presentado XIII Encuentro nacional de tratamiento de minerales e hidrometurgia, Vol 1, Sao Paulo, pp 118

Cepeda, J.M., 1991. Química de suelos. México, Editorial Trillas.

Díaz, R. y Hunter, A., 1978. Metodología de muestreo de suelos, análisis químico de suelos y tejido vegetal e investigación en invernadero. Turrialba, Costa Rica, Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza.

Escalera, S., 1983. Avances recientes en el tratamiento de la roca fosfórica por el proceso de flotación. Primera Conferencia Latinoamericana de Roca Fosfórica. GLIRF. Cochabamba, Bolivia, Tomo I

Epshtein, D., 1978. Fundamentos de tecnología química. Moscú, Editorial MIR.

González, A., 1983. Descripción de los yacimientos de roca fosfórica en Bolivia. Primera Conferencia Latinoamericana de Roca Fosfórica. GLIRF. Tomo I. Cochabamba, Bolivia, pp.4-8.

Gutierrez, E., 1980. Efecto de la aplicación de abonos orgánicos e inorgánicos sobre las propiedades químicas y físicas de un suelo de Ando. México, Tesis de grado, Colegio de posgraduados, Chapingo.

Laboratorio de Preparación de Minerales, 1995. Preparación de menas no metalíferas. Universidad Autónoma Tomás Frías, Potosí, Bolivia, pp. 22-35.

Magalhaes, C. et al., 1988. Estudio de beneficiamento do fosfato do estado de Pernambuco. XIII Encuentro nacional de tratamiento de minerales e hidrometalurgia. Sao Paulo. Vol 1, pp 148-157.

Mining Annual Review 1995. Mining Journal. Londres, Inglaterra, pp.82

Ortuño, A. V., 1976. Curso de Introducción a la Química industrial. Barcelona, España, Editorial Alhambra.

Revista. "Producción Agrícola" 1997. Tucuman, Argentina.

Ríos, S. y Escalera, S., 1983. Acidulación parcial de la roca fosfórica de Capinota para su utilización como fertilizante simple. Primera Conferencia Latinoamericana de Roca Fosfórica, Tomo I. GLIRF. Cochabamba, Bolivia, pp. 194-202.

Rodríguez, C. R., 1989. Respuesta agronómica del cultivo de maíz a la aplicación de roca fosfórica. Santa Cruz, Bolivia, Tesis de grado, Universidad Autónoma Gabriel René Moreno.

Schubert, H., 1987. Tratado de procesamiento de Minerales I. La Paz, Bolivia, Artes Gráficas.

Teuscher, H. y Adler, R., 1965. El suelo y su fertilidad. México, Compañía Editorial Continental S.A.

Recuperación del suelo bajo vegetación de *Acacia caven* (churqui) en el valle de Tarija

Hans Salm¹ y Máximo Liberman²

1 Instituto de Investigaciones Químicas. Universidad Mayor de San Andrés. Casilla 303, La Paz, Bolivia.
email: hans@salm.bo

2 Instituto de Ecología. Universidad Mayor de San Andrés. Casilla 10077. La Paz, Bolivia.
email: liberman@celtis.bo

RESUMEN

El presente estudio fue llevado a cabo en el marco del proyecto "Estrategias de agricultores y sistemas agropecuarios en ambientes frágiles de América Latina", programa multidisciplinario financiado por la Comisión de las Comunidades Europeas. Se realizaron análisis fisicoquímicos de suelos provenientes de parcelas con vegetación de churqui (*Acacia caven*).

El churqui, una leguminosa arbórea, se establece de forma espontánea en los barbechos de gran parte del valle central de Tarija y sus subcuencas, constituyendo formaciones vegetales denominados "churquiales", que se desarrollan a una altitud comprendida entre 1700 y 2500 msnm y con una precipitación superior a los 500 mm. Además de su capacidad de colonizar terrenos en descanso o de barbecho, el churqui proporciona forraje para el ganado, leña para cocinar y postes y ramas espinosas para delimitar terrenos.

Los relevamientos de vegetación y análisis del suelo en churquiales de diferente edad muestran la importancia de las formaciones de *Acacia caven* en la recuperación de los nutrientes del suelo. Se observa un considerable incremento de materia orgánica y nitrógeno en pocos años de barbecho. De la misma manera, las propiedades físicas del suelo, entre ellas la estructura y la estabilidad de los agregados, mejoran significativamente con la edad del churquial.

INTRODUCCION

La degradación del suelo por fenómenos erosivos es considerada uno de los principales problemas ambientales del valle de Tarija. El avance de la erosión se debe a varios factores, entre ellos la inestabilidad geológica de los antiguos estratos fluvio - lacustres de la región, condiciones climáticas de aridez y concentración de la escasa precipitación en los meses de verano, así como la intervención del hombre en los ecosistemas naturales a través de la tala de árboles para uso de madera de construcción, obtención de leña, sobrepastoreo, incendios no controlados y técnicas agrícolas no adecuadas.

La magnitud de la erosión varía del valle central, de origen lacustre, donde es considerada extrema por la extensa superficie de tierras eriales o "badlands" (LIDEMA, 1992), hacia las partes más elevadas de las diferentes subcuencas que presentan mayor humedad y cobertura vegetal y por lo tanto son menos susceptibles a erosión. En parcelas de poca pendiente ubicadas en la localidad de Juntas, en la parte media de la cuenca del río Camacho, se han determinado tasas de erosión bajas a moderadas, que varían de 60 tn.km⁻².año⁻¹ en terreno con vegetación seminatural, a unas 300 tn.km⁻².año⁻¹ en terreno arado (Salm, 1997).

Dado que el hombre tiene muy pocas posibilidades de controlar el clima o cambiar la geología, la única forma de mitigar la erosión es a través del desarrollo de la cobertura vegetal y el manejo tecnológico, por lo que es importante analizar el efecto de las prácticas del uso de la tierra y buscar a través de ellas formas de conservar el suelo.

En Bolivia todavía es común tener largos períodos de barbecho o descanso después de algunos años de cultivos, lo que permite recuperar la fertilidad del suelo y mejorar sus propiedades fisicoquímicas. La principal razón de este uso poco intensivo de la tierra es el alto costo de los fertilizantes y otros insumos agrícolas, frente al bajo nivel tecnológico, los riesgos de catástrofes naturales y en general los reducidos rendimientos esperados.

Con este enfoque, se realizó un estudio de la evolución de las características edáficas en suelos de churquiales, la formación vegetal predominante en los barbechos de la mayor parte del valle de Tarija y subcuencas. El proyecto formó parte del programa "Estrategias de Agricultores y Sistemas Agropecuarios

en Ambientes Frágiles de América Latina”, que fue financiado por la Comisión de las Comunidades Europeas.

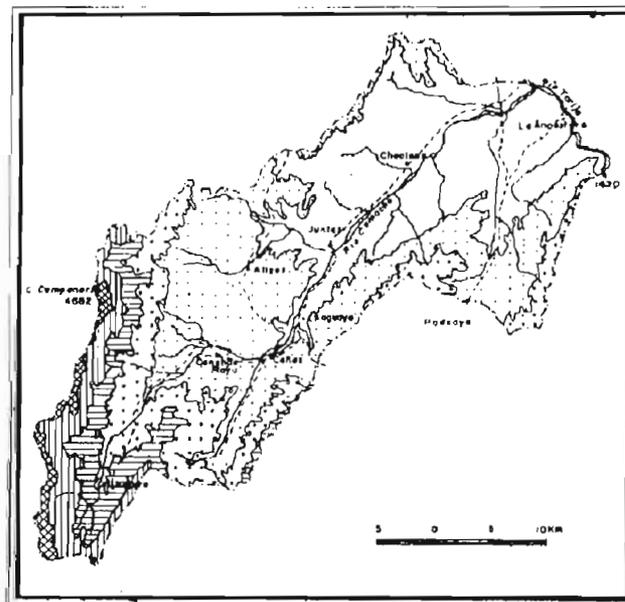
MATERIALES Y METODOS

El estudio se realizó en la cuenca del río Camacho, ubicada en el suroeste del departamento de Tarija (Figura 1). Se trata de una zona de topografía accidentada, con variaciones altitudinales de 1600 a más de 4000 msnm en una distancia de menos de 40 km (Foto 1). En la parte alta de la cuenca aparecen materiales procedentes del ordovícico, básicamente limonitas, areniscas y cuarcitas, mientras que en la parte baja destacan los depósitos recientes, siendo los sedimentos lacustres los más importantes, junto las terrazas fluviales (Liberman, 1993).

El clima está marcado por la orografía de la zona y los niveles altitudinales, que dan lugar a un rango de precipitación de unos 300 mm anuales en la desembocadura del río Camacho al río Guadalquivir, a más de 1400 mm en la cabecera, siendo su distribución de forma monomodal, con una época de lluvia que dura de diciembre a marzo. Las temperaturas medias anuales en la parte baja fluctúan alrededor de los 18°C.

Los suelos de Juntas presentan una elevada variabilidad, aunque en general, podemos clasificarlos en función a la zona geomorfológica que ocupan. En los sedimentos lacustres se han formado básicamente regosoles, en las terrazas suelos aluviales y en las zonas montañosas litosoles. En general, el desarrollo edáfico es poco importante, debido a las condiciones climáticas y topográficas y las elevadas tasas de erosión (Cerdá, 1994).

Figura No. 1 Mapa de la cuenca del río Camacho



MAPA DE UBICACION



LEYENDA

[White box]	1620 - 2000 m
[Dotted box]	2000 - 2500
[Cross-hatched box]	2500 - 3000
[Horizontal lines box]	3000 - 3500
[Vertical lines box]	3500 - 4000
[Diagonal lines box]	Sobre 4000m



FOTO 1 Paisaje típico en la cuenca del río Camacho.

La vegetación de la zona corresponde a los dominios fitogeográficos Amazónico y Chaqueño- Montano. El primero está representado por bosques de aliso (*Alnus acuminata*) y pino de cerro (*Podocarpus parlatorei*), así como las selvas de transición con la tipa (*Tipuana tipu*). En la actualidad, esta vegetación potencial está restringida a las zonas más inaccesibles. El dominio Chaqueño-Montano, que estuvo representado por bosques de gran envergadura, ahora está representado por especies arbustivas, como el churqui (*Acacia caven*), chañar (*Geoffroea decorticans*) y el taco o algarrobo (*Prosopis laevigata* var. *andicola*) (Lieberman, 1993).

Se piensa que la deforestación del valle de Tarija fue acelerada con la llegada de los españoles, debido a la producción agropecuaria destinada a las zonas mineras de Potosí (Lieberman y Beck, 1991). Actualmente, los cultivos más importantes son el maíz, trigo, durazno, uva, maní, ajo y hortalizas en la parte baja, así como papa, maíz y plantas forrajeras en las partes altas.

Formaciones de *Acacia caven* (churquiales)

El churqui, una leguminosa arbórea que pertenece a la sub-familia Mimosoidea, se establece de forma espontánea en los barbechos de gran parte del valle central de Tarija y sus subcuencas, constituyendo formaciones vegetales de chaparrales denominados "churquiales" (Foto 2). El churqui tiene una altura promedio de 2.5 m y es una especie típicamente heliófila. La especie es originaria del Chaco y su distribución en la zona obedece a la influencia antrópica (Lieberman, 1993; Beck et al., 1992). Su rango de distribución es de unos 1700 a 2500 msnm, se la encuentra en diferentes unidades fisiográficas sobre suelos poco profundos y degradados hasta zonas donde hay suelos profundos. Se distribuye en zonas donde se registra una precipitación media anual del orden de los 600 a 900 mm.

Los churquiales son comunidades vegetales que conforman chaparrales abiertos, representados mayormente por ejemplares jóvenes de diferente composición, con predominancia de *Acacia caven* (churqui), acompañados por una serie de especies sub-arbustivas como herbáceas. Bajo la sombra de los churquis se observó la presencia de los arbustos como *Abutilon virgatum* y *Ephedra triandra*. En zonas con mayor humedad edáfica se desarrolla un estrato arbustivo compuesto por *Cestrum parqui* y *Solanum diflorum*. Las plantas herbáceas más comunes que se encuentran con los churquis son: *Zinnia peruviana*, *Chrysantellum tuberculatum*, *Aristida mendocina*, *Baccharis ulicina*, *Cleistocactus tarijensis* y *Croton orbignyianum* (Subieta, 1996). En churquiales de zonas de montaña aparecen esporádicamente *Jacaranda mimosifolia* (tarco) y *Prosopis laevigata* var. *andicola*.

Los churquis son especies agresivas de amplia distribución, constituyéndose en una de las principales especies forrajeras del valle central de Tarija. Alzerreca (1998) considera al churqui con una calificación

de calidad de forraje excelente en los campos naturales de pastoreo de la zona, especialmente para caprinos y ovinos por su abundancia, xerofitismo, capacidad de dispersión y colonización de diferentes ecosistemas. El ramoneo de los caprinos favorece al churqui, porque las cabras comen los frutos que se encuentran en las ramas durante todo el año, diseminando las semillas. Los árboles en desarrollo no son muy consumidos, debido a que cuentan con pocas hojas y numerosas espinas. El pastoreo favorece el desarrollo de los churquiales, dado que reduce la cubierta herbácea acompañante y por lo tanto la competencia por nutrientes del suelo y agua para las plántulas. Según Subieta (1996) de las 59 especies que aparecen inventariadas junto al churqui, un 39% son palatables para los animales, calificando a la zona de churquiales como un área de pastoreo regular.

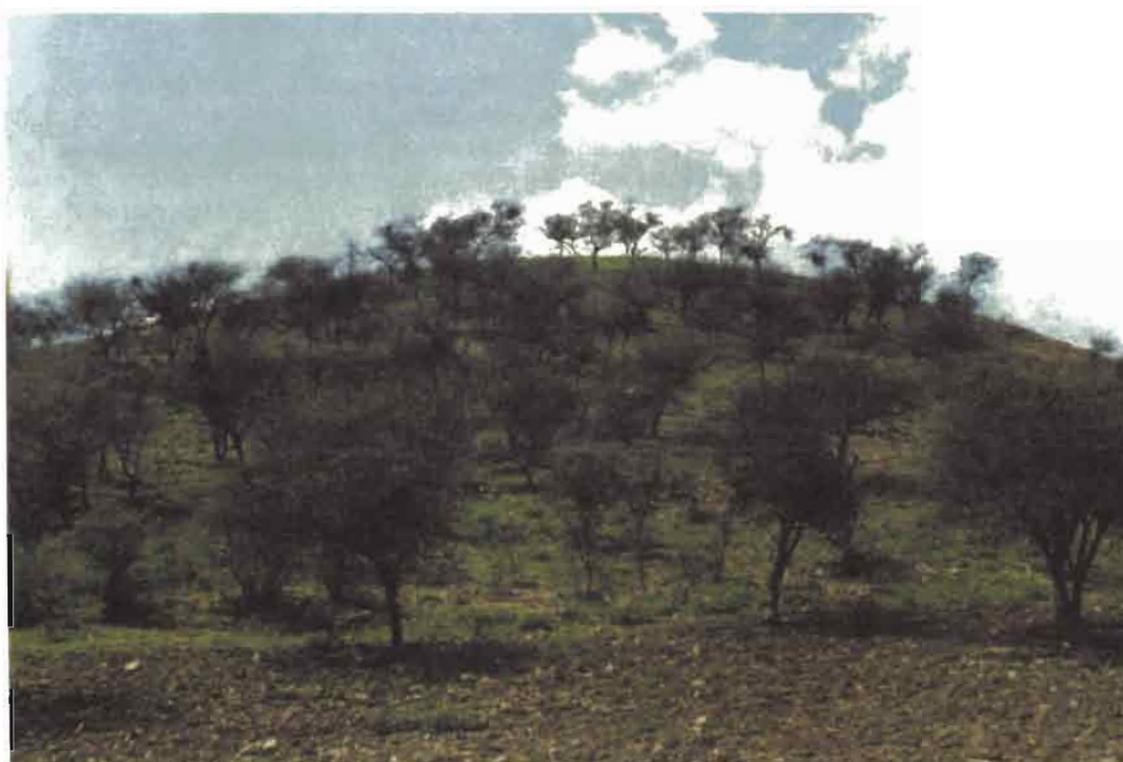


Foto 2. Churquial característico en la parte baja de la cuenca del Camacho.

Campesinos de la zona señalan que las tierras donde crece el churqui son buenas para los cultivos de vid, papa, maíz y hortalizas.

Además de ser importante como planta pionera de los barbechos, lo que implica un mejoramiento del suelo, el churqui proporciona forraje para el ganado, leña para cocinar y postes y ramas espinosas para cercos.

Los churquiales son la principal fuente de leña en el valle del río Camacho y aunque la mayoría de la población rural cuenta con cocinas a gas, el uso de leña es importante. Usan gas para comidas rápidas, como el té de la mañana y como fuente de luz. Para comidas lentas y para hornear pan se usa más leña. Cada familia consume aproximadamente dos cargas de leña a la semana y no hay problemas de escasez (Punch, 1994).

Se seleccionaron diez parcelas con churquiales de diferente edad, ubicadas en las comunidades de Colón, Juntas, Alizos, Chaguaya, Cañas, Camacho y Rosillas, todas ellas en la cuenca del río Camacho. La edad y otros antecedentes de manejo de los churquiales fueron consultados con sus propietarios.

El relevamiento de la vegetación incluyó un censo de las principales especies y la descripción de su fisionomía. De cada parcela se obtuvieron muestras compuestas de suelo, extraídas de una profundidad de 0 a 20 cm. Los análisis químicos se realizaron en el Instituto de Investigaciones Químicas de la UMSA, determinándose materia orgánica, nitrógeno total, fósforo, cationes básicos y propiedades fisicoquímicas. La materia orgánica fue determinada mediante el método de Walkley Black (se utilizó un factor de 1.724 para la conversión del carbono orgánico a materia orgánica), el nitrógeno total por el método de Kjeldahl,

los cationes básicos por extracción en solución de cloruro de amonio 1 N y lectura de los extractos en un espectrofotómetro de absorción atómica; en cuanto a las propiedades físicas se evaluó la estabilidad de los agregados en agua, basado en el test de Emerson (1967).

RESULTADOS

Los análisis químicos muestran una estrecha relación entre la edad del churquial y los contenidos de materia orgánica y nitrógeno total. Los suelos de cultivo de la zona contienen normalmente niveles de 1 a 1.5 % de materia orgánica, excepto los de la localidad de Alizos, donde por el clima más húmedo se tiene entre 2 y 2.5 % de materia orgánica (Salm, 1996). En la figura 2 se observa como el contenido de materia orgánica de suelo bajo churquí se incrementa en pocos años a unos 3.5 %, llegando cerca al 5 % en barbechos antiguos.

La materia orgánica es fundamental para la conservación del suelo porque favorece la formación de agregados estables. Asimismo aumenta la capacidad de intercambio iónico y de retención de agua, mejorando la disponibilidad de nitrógeno, fósforo y azufre a través de los procesos de mineralización.

Por otro lado, la cobertura arbórea amortigua el desecamiento del suelo por la fuerte insolación en época seca, lo que a su vez permite un mayor desarrollo del estrato herbáceo, que es el principal recurso forrajero de la zona, conjuntamente con el churqui (Foto 3).

En un estudio sobre el efecto del uso y manejo de la tierra en las propiedades físicas del suelo en la misma zona que el presente estudio, se ha visto que las áreas con praderas de hierbas o con churqui generan suelos muy estables (Cerdà, 1994). Los agregados de estos terrenos presentan muy poca dispersabilidad en comparación con los agregados de suelos de cultivo o de los badlands.

El churqui, como especie perteneciente a la familia de las leguminosas que tienen una asociación simbiótica con bacterias fijadoras de nitrógeno, muestra una elevada capacidad de fijación de nitrógeno en los suelos. En la Figura 3 se observa el incremento de nitrógeno total en función de la edad de los churquiales. En suelos de cultivo de la zona se han determinado contenidos bajos de este importante nutriente, con valores de 0.05 a 0.15 % (Salm, 1996). El nivel de nitrógeno se va incrementando con los años de barbecho, llegando a concentraciones de más de 0.30 %, aunque la recuperación es más lenta que en el caso de la materia orgánica.

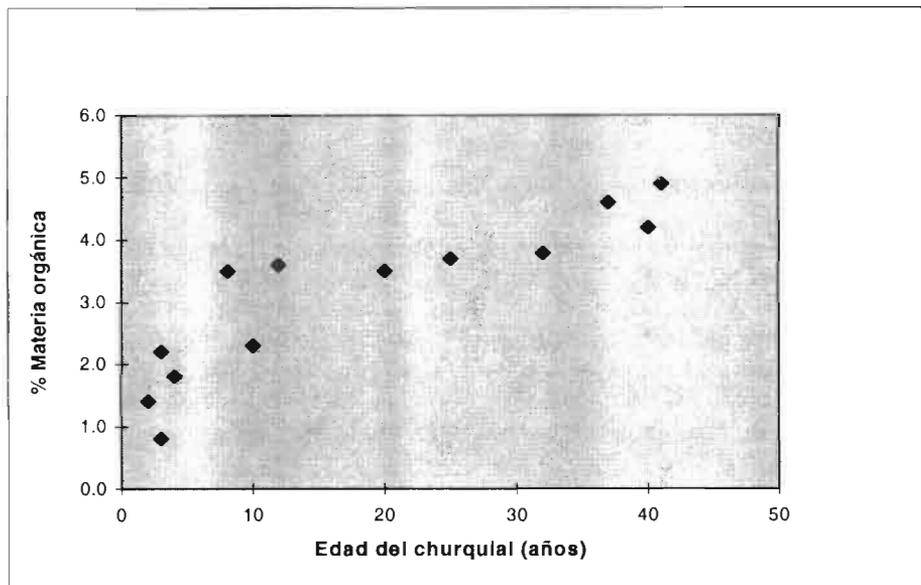


FIGURA 2 . Contenido de materia orgánica en suelos de churquiales.

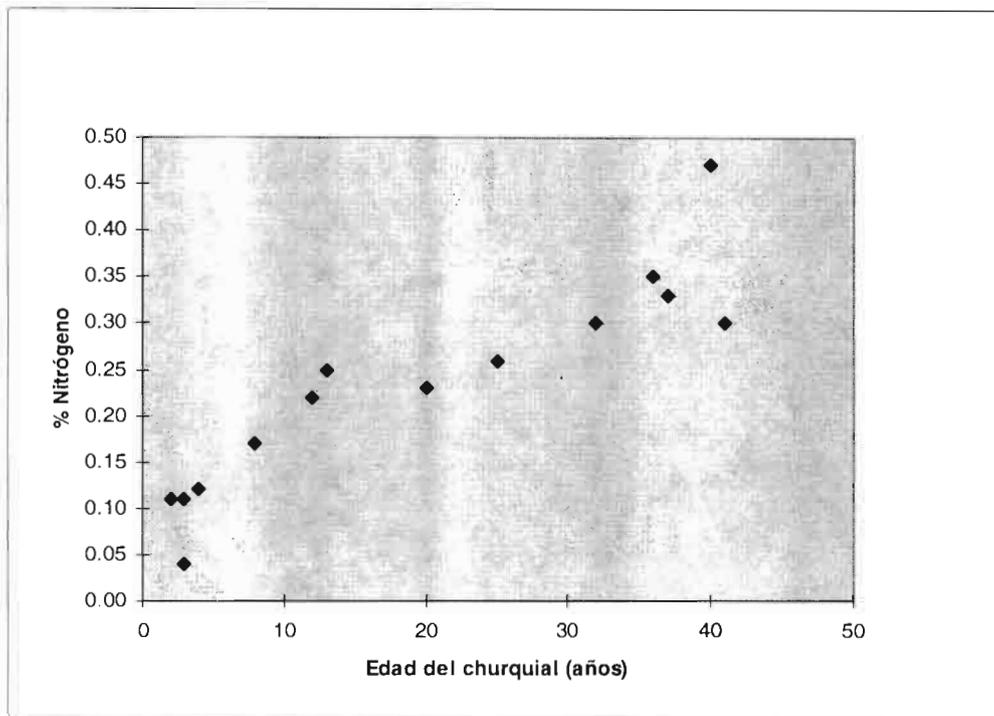


FIGURA 3 . Contenido de nitrógeno total en suelos de churquiales.

Respecto a los cationes básicos (calcio, magnesio, sodio, potasio), fósforo y reacción del suelo (valor pH), no se pudo encontrar ninguna correlación con la edad de churquial. En este caso, prevalecen las condiciones del material de parental, por ejemplo, los sedimentos lacustres muestran un pH más alto y contenidos de cationes más altos que los suelos formados sobre roca sedimentaria en la cuenca media y alta del río Camacho.

CONCLUSIONES

- El churqui contribuye significativamente al mejoramiento de las propiedades químicas de suelos que se encuentran agotados, debido al cultivo continuo durante varios años. Se observa un considerable incremento de materia orgánica y nitrógeno en pocos años de barbecho. De la misma manera, las propiedades físicas del suelo, entre ellas la estructura y la estabilidad de los agregados, mejoran significativamente con la edad del churquial.
- El churqui constituye un arbolito forrajero de gran importancia en el valle central de Tarija, especialmente en la época seca, cuando se reduce la oferta de pastos naturales. Ganado ovino y caprino ramonean hojas y frutos que son diseminados por los animales, favoreciendo el desarrollo de los churquiales.



FOTO 3. Desarrollo de vegetación herbácea bajo churqui.

BIBLIOGRAFIA

Alzerreca, H. 1998. Estudio de los campos naturales de pastoreo (Canapas) del Valle Central de Tarija. Programa Estratégico de Acción para la Cuenca Binacional del Río Bermejo (PEA), Tarija.

Beck, S., Liberman, M., Pedrotti, F. y Venanzoni, R., 1992 Estado actual de los bosques en la cuenca del río Camacho, Depto. Tarija, Bolivia, Studi Geologici Camerti, pp. 41-60.

Cerdà, A., 1994. Efectos del manejo sobre la estabilidad de los agregados del suelo en el valle del río Camacho, Sur de Bolivia, 41 p. + anexos.

Emerson, W.W., 1967. A classification of soil aggregates based on their coherence in water. Aust. J. Soil Res., Vol. 5, pp 47-57.

Liberman, M., 1993. Informe de la vegetación y el uso de la tierra en Juntas, Tarija, Bolivia, Documento de trabajo 93/03.

Liberman, M. y Beck, S., 1991. Estado actual de los bosques en la cuenca del río Camacho, Dpto. de Tarija, Bolivia. La Paz, Bolivia, Informe interno Instituto de Ecología – PERTT, 20 pp.

LIDEMA, 1992. El estado del medio ambiente en Bolivia, propuestas políticas y programáticas. La Paz, Bolivia, Liga de Defensa del Medio Ambiente, Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo, PL-480, 51pp.

Punch, S. 1994. El manejo de recursos y estrategias de vida en la cuenca del río Camacho. Documento de Trabajo. School of Geography, University of Leeds, LEEDS LS2 9JT, Inglaterra, Instituto de Ecología, Universidad Mayor de San Andrés, La Paz, Bolivia, 39 p. + anexos.

Salm, H. 1996. Propiedades edáficas bajo diferentes usos del suelo en el Valle del Río Camacho, Departamento de Tarija, Bolivia. Informe Técnico, Proyecto Estrategias de agricultores y sistemas agropecuarios en ambientes frágiles de América Latina, 24 p. + 2 anexos.

Salm, H. 1997. Erosión del suelos bajo diferentes tipos de uso de la tierra en el valle del río Camacho, Departamento de Tarija, Bolivia. En: Liberman, M. y C. Baied (Eds.) Desarrollo Sostenible de Ecosistemas de Montaña: Manejo de Areas Frágiles en los Andes. La Paz, Bolivia The United Nations University, Secretaría Ejecutiva PL-480, Liga para la Defensa del Medio Ambiente, Instituto de Ecología, pp. 159-167.

Subieta, M. 1996. Potencial de pastoreo de las unidades de vegetación y diagnóstico de la actividad pecuaria en un área de la cuenca baja del río Camacho, Departamento de Tarija. Tesis Lic. en Biología, Universidad Mayor de San Andrés, 153 pp. 6 anexos.

Especies potenciales para la recuperación de los suelos

Orlando Díaz¹ y Mirtha Orellana¹

¹Centro de Investigación Agrícola Tropical, CIAT. Santa Cruz, Bolivia.

RESUMEN

La degradación de los suelos cultivados bajo sistemas mecanizados en las tierras bajas de Santa Cruz está muy generalizada. La compactación, la pérdida rápida de la materia orgánica y nutrientes, son las características más importantes de la pérdida de la calidad de estos suelos. Para la selección de especies de abonos verdes con alta capacidad de producción de biomasa y penetración radicular profunda, para la recuperación de suelos compactados, se evaluaron las especies leguminosas *Crotalaria juncea*, *Cajanus cajan*, *Desmodium ovalifolium*, *Glycine cooper* y *Macrotyloma axillare* y la gramínea *Brachiaria decumbens*.

Crotalaria juncea y *Cajanus cajan* poseen alta capacidad de producción de materia seca en un corto período de tiempo con relación a las otras leguminosas y aportan más de 300 kilogramos de nitrógeno por hectárea. *Cajanus cajan* también se presenta como la especie con mayor capacidad de penetración radicular en un suelo compactado. El mismo comportamiento se observa con la gramínea *Brachiaria decumbens*.

INTRODUCCION

La superficie de los suelos degradados en el departamento de Santa Cruz supera las 250,000 hectáreas, siendo sus principales características la compactación, el encostramiento, el bajo contenido de materia orgánica, deficiencia y desequilibrio de nutrientes.

Entre las causas de la degradación, de los suelos aluviales de Santa Cruz, está el uso continuo de prácticas de labranza con implementos de disco bajo una agricultura secuencial casi monocultura, donde los aportes de materia orgánica (MO) por medio de residuos de los cultivos son insuficientes como para equilibrar la descomposición del material orgánico. La velocidad de descomposición de la MO bajo las condiciones climáticas y edáficas de Santa Cruz es muy alta y su reducción, en los primeros años de cultivo, alcanza hasta un 50 % de su contenido comparado un suelo bajo condiciones de monte (Barber, 1994).

La utilización de especies de cobertura para la recuperación de los suelos es, hoy en día, una alternativa estratégica para recuperar su calidad porque estas especies, además de aportar grandes cantidades de biomasa vegetal y nutrientes al suelo, favorecen la formación de bioporos con el crecimiento de sus raíces, estos bioporos contribuyen a mejorar el funcionamiento físico del suelo. En la actualidad, existen especies de rápido crecimiento y alta producción de biomasa que pueden ser utilizadas como insumos para la recuperación de los suelos bajo siembra directa, ya que la incorporación con arado de disco mineraliza rápidamente los residuos en el suelo.

Por los aspectos considerados, se planteó el estudio de la recuperación de un suelo fuertemente degradado en base a cultivos de cobertura en descanso y cuyo objetivo en la primera fase de su desarrollo fue el de evaluar la producción de biomasa, el desarrollo radicular y los contenidos nutricionales de cinco especies leguminosas y una gramínea.

MATERIALES Y METODOS

El presente estudio fue llevado a cabo en la Estación Experimental Agrícola de Saavedra en la provincia Ovispo Santistevan, a 75 km al norte de la ciudad de Santa Cruz de la Sierra.

La precipitación media en el área de estudio es de 1250 mm con una ocurrencia de lluvias cercana al 80 % en la época de verano. La temperatura media fluctúa en el invierno y verano entre 21.7 y 26.4°C respectivamente.

El suelo de la parcela experimental tiene antecedentes de un uso continuo con cultivos anuales desde 1951 y presenta una capa fuertemente compactada entre 0.12 y 0.25 m de profundidad, tiene un

drenaje imperfecto, textura franco arenoso, bajo contenido de materia orgánica y de nutrientes (Cuadro 1).

CUADRO 1. Características físicas y químicas del suelo de 0-15 cm de profundidad.

Análisis	Unidad	Profundidad (0-15 cm)
pH agua 1:2,5		5.9
Conductividad eléctrica	uS.cm ⁻¹	138
Materia orgánica	%	1.1
Nitrógeno (N)	%	0.08
Fósforo (P)	ppm	3.8
Total Bases Intercambiables (TBI)	meq.100 g ⁻¹	5.9
Potasio (K)	meq.100 g ⁻¹	0.21
Calcio (Ca)	meq.100 g ⁻¹	4.7
Magnesio (Mg)	meq.100 g ⁻¹	0.7
Sodio (Na)	meq.100 g ⁻¹	0.28
Textura		FA
Densidad aparente	g cm ⁻³	1.70

Se sembraron cultivos de cobertura de leguminosas, *Crotalaria juncea*, *Cajanus cajan* ICPL 270 *Desmodium ovalifolium*, *Glycine cooper* y *Macrotyloma axillare*. También se sembró una gramínea, *Brachiaria decumbens*. Las seis especies de cobertura fueron distribuidas en bloques al azar con tres repeticiones, en parcelas de 45 m de largo y 9 m de ancho. Antes del establecimiento de los cultivos se procedió a la subsolación del suelo (27/10/92) en toda el área de lote F-2, hasta una profundidad de 43.5 cm. Se realizó doble pasada con el subsolador de este a oeste y de norte a sur. Se preparó el suelo con labranza vertical realizando una pasada de Vibroflex a 27.8 cm de profundidad y una pasada de rastra vertical y vibrocultivadora.

Los cultivos de coberturas se sembraron manualmente y con un buen contenido de humedad en el suelo. Las características y las fechas de siembra utilizadas para cada cultivo en particular se presentan en el cuadro 2.

CUADRO 2. Siembra y emergencia de los cultivos de los abonos verdes de cobertura. EEAS, lote F-2. Verano 1993.

Especie	Siembra (fecha)	Emergencia (fecha)	Emergencia (dds)
<i>M. axillare</i>	8 y 11/03/93	26/03/93	15
<i>D. ovalifolium</i>	9 y 11/03/93	06/04/93	25
<i>G. cooper</i>	9 y 12/03/93	19/03/93	10
<i>B. decumbens</i>	9 y 12/03/93	29/03/93	20
<i>C. cajan</i> . IPCL270	05/04/93	18/04/93	15
<i>C. juncea</i>	13/05/93	18/05/93	5

dds: días después de la siembra

Con el objetivo de evitar la competencia de las malezas sobre los cultivos de cobertura, especialmente los de ciclo perenne, se realizó control manual y químico.

Se observó daño de insectos en *Desmodium ovalifolium*, a los 33 dds se controló con Lorsbam, también se observó un leve daño foliar (4-8%) en *Glycine cooper*, ocasionado por insectos defoliadores como *Diabrotica sp.* y *Anticarsia genmatalis*.

Cuando las plantas de cada especie se encontraban en floración se procedió a obtener muestras de plantas enteras para determinar los macro y microelementos contenidos en la planta.

Durante el período vegetativo y en algunas especies en su estado de floración, se midieron la altura que alcanzaron las plantas en veinte puntos al azar.

Se evaluó la materia verde de las diferentes especies sacando muestras de 1 m² de superficie en cuatro puntos, se peso y luego se separó una pequeña porción para ser secada en una estufa de ventilación forzada (60°C) para luego determinar su materia seca.

Se realizaron pequeñas calicatas en tres puntos de cada parcela para medir el desarrollo radicular de las diferentes especies en la época de floración.

RESULTADOS Y DISCUSION

En el cuadro 3 se presenta los resultados de altura de planta, profundización radicular, rendimiento de materia verde y materia seca de las seis especies de cobertura en estudio.

Las alturas alcanzadas por las especies leguminosas y gramínea difieren entre si significativamente, se destacan *Crotalaria juncea* y Guandul en comparación a las otras especies. Con relación a la masa verde *Crotalaria juncea* supera a todas las especies seguida por *Desmodium ovalifolium*.

En el rendimiento de materia seca se destaca Guandul con el mayor peso seco, seguido de *Crotalaria juncea*, no obstante de que esta especie no presenta valores altos en materia verde. Estos rendimientos alcanzados por estas leguminosas están relacionados a la altura alcanzada durante su desarrollo vegetativo y donde *Crotalaria juncea* también muestra la alta capacidad de almacenamiento de agua en sus tejidos, el contenido de materia seca representa menos del 30 % del peso fresco total. Las otras especies son similares en su contenido de materia seca.

La profundización de raíces de las leguminosas en un medio compactado revela diferencias significativas en su capacidad de crecimiento (Cuadro 3) donde las raíces de Guandul logran penetrar la capa compactada del subsuelo hasta los 30 cm de profundidad. Otra de las especies que superó los 20 cm de profundidad fue *Desmodium ovalifolium* Las otras especies como *Crotalaria juncea* no superan los 15 cm de profundidad, siendo ésta una especie con buenos atributos para la producción de biomasa pero con limitada capacidad para romper capas compactadas. La gramínea *Brachiaria decumbens* profundizó sus raíces hasta 40 cm, con una ramificación abundante y uniforme, siendo este hecho de mucha importancia por que los espacios que dejan las raíces después de la eliminación de la cobertura pueden funcionar como bioporos del suelo para tener una óptima circulación del agua y el aire y una buena penetración radicular de los cultivos subsiguientes, siempre y cuando se practique una agricultura sin remoción del suelo, o sea, una siembra directa.

CUADRO 3. Altura de planta, profundización radicular y rendimiento de materia seca y verde de cultivos de cobertura. E. E.A.S. Verano 1993.

Tratamiento (Especies)	Altura planta (cm)	Profundización de raíces (cm)	Masa verde (tn . ha ⁻¹)	Masa seca (tn . ha ⁻¹)
<i>Crotalaria juncea</i>	255 a	15 c	36 a	10 a
<i>Cajanus cajan</i>	236 a	30 a	17 c	11 a
Archer	57 c	18 b	16 c	5 c
<i>Glycine cooper</i>	63 c	16 c	13 d	7 b
<i>D. ovalifolium</i>	86 b	23 b	27 b	6 c
<i>B. decumbens</i>	60 c	35 a	12 d	6 c
Sigf. Estadística (%)	1	1	1	1

El estado nutricional de los cultivos de cobertura (Cuadro 4), determinado por medio del análisis foliar, revela diferencias altamente significativas en la concentración de los nutrientes. En el grupo de las leguminosas *Crotalaria juncea* y guandul se destacan en la mayor absorción de N en comparación con las otras leguminosas, este hecho es muy importante si consideramos que estas especies, y muy especialmente *Crotalaria juncea* produce abundante biomasa en apenas dos meses constituyendo una importante fuente orgánica de este nutriente para los cultivos anuales, si este material es utilizado como residuos sobre el suelo bajo un sistema de siembra directa, ya que gran parte de este nitrógeno es captado de la atmósfera por medio de la fijación biológica. El cálculo estimativo de aporte de N, a partir de los análisis de plantas, da más de 300 kg N por hectárea, cantidad que podría quedar en el suelo disponible para el siguiente cultivo si el cultivo es "tumbado" en plena floración. Si bien guandul tiene un período más prolongado desde su desarrollo vegetativo hasta la floración, en comparación a la *Crotalaria juncea*, su capacidad para la fijación de nitrógeno es también muy importante, resultados similares han sido obtenidos por otros autores (Kiyoko et al., 1995; Orellana, 1996).

Con relación al contenido del P en las especies de cobertura *Crotalaria juncea*, guandul y *Glycine cooper*, presentan la mayor concentración en los tejidos que las otras especies y este hecho representa un aporte al suelo de aproximadamente de 30 kg P.ha⁻¹ por *Crotalaria* y guandul (Cuadro 4). En este resultado es importante destacar la absorción del fósforo de profundidades mayores por especies como el guandul, debido a su alta capacidad de penetración radicular logra tomar este nutriente de capas más profundas que las raíces de los cultivos anuales y que debido a esta capacidad de la leguminosa el fósforo de los horizontes inferiores está al alcance de los cultivos

cuando los residuos están en la superficie del suelo. Este proceso de reciclaje también ocurre con las otras especies como la *Brachiaria decumbens* que tiene un alto potencial para penetrar capas duras del subsuelo.

El K al igual que el P presenta diferencias en su absorción (Cuadro 4). Las especies *Crotalaria juncea*, gandul, Archer y *Glycine cooper* superan a *D. ovalifolium*. La gramíneas *B. decumbens* asimiló en un nivel igual al *D. ovalifolium*.

En la absorción de Ca y Mg se evidencian diferencias entre las especies, destacándose *Glycine cooper* en su mayor habilidad para la absorción de Ca mientras que esa habilidad la comparte con Archer y *D. ovalifolium* en la absorción de Mg. En la absorción de los otros nutrientes S, Mn y Cu también muestran evidencias de capacidad diferencial utilización de estos elementos y no así el Fe y Zn (Cuadro 4).

CUADRO 4. Estado nutricional de los cultivos de cobertura anuales y perennes en la fase de plena Floración EEAS.

Especie	N %	P %	K %	Ca %	Mg %	S %	Fe ppm	Mn ppm	Cu ppm	Zn ppm
<i>Crotalaria juncea</i>	3,54 a	0,44 a	1,43 a	0,88 b	0,22 b	0,28 a	212	47 b	13 a	32
<i>Cajanus cajan</i>	3,46 a	0,32 a	1,34 a	0,80 b	0,22 b	0,28 a	212	45 b	14 a	30
Archer	2,13 bc	0,24 b	1,24 a	1,04 b	0,26 a	0,16 c	193	101 b	10 b	42
<i>Glycine cooper</i>	2,14 b	0,26 ab	1,69 a	1,58 a	0,38 a	0,18 bc	172	42 b	10 b	30
<i>D. ovalifolium</i>	1,52 c	0,23 b	1,01 b	1,01 b	0,28 a	0,16 c	205	274 a	10 b	22
<i>B. decumbens</i>	0,40 d	0,19 b	1,12 b	0,33 c	0,16 b	0,27 ab	154	118 b	2 c	14
Sign. Estadística	1%	1%	NS	1%	1%	1%	NS	1%	1%	NS

Estos resultados evidencian la importancia del uso de las coberturas en la recuperación de los suelos, ya que el aporte en materia seca de especies de alto rendimiento de biomasa en períodos cortos de tiempo como la *Crotalaria juncea* y gandul, que además de aportar grandes cantidades de N tomando como fuente principal el N atmosférico, se constituyen en especies promisorias para fines de recuperación de suelos. También es importante destacar la capacidad de penetración radicular de algunas leguminosas que, además de utilizar los elementos nutricionales de la parte más profunda del suelo, los pone a disposición de los próximos cultivos en la capa superficial del suelo, especialmente si el sistema de producción es bajo siembra directa, este hecho es de mucha importancia para el caso de algunos elementos como el P, de baja movilidad, que en el suelo no está disponible, quedando confinado en los horizontes inferiores.

CONCLUSIONES

- Gandul y *Crotalaria juncea* aportan grandes cantidades de residuos en comparación a las otras especies estudiadas.
- Entre las leguminosas gandul tiene mayor capacidad de penetración radicular en un suelo compactado.
- *Brachiaria decumbens* tiene un eficiente sistema de enraizamiento que logra romper capas compactadas.
- *Crotalaria juncea* y gandul aportan con cantidades superiores a los 300 kg de N.ha⁻¹ en la época de floración.

BIBLIOGRAFIA

Barber, R.G. y Navarro, F., 1992. Recuperación de suelos degradados, Brecha 5 1/2, Campo 102, Santa Cruz. La subsolación y comportamiento de los cultivos de descanso, Verano 1989-90 hasta invierno 1991.

Orellana, M., 1996. Introducción de abonos verdes. Jornadas Nacionales de Siembra Directa, Santa Cruz.

Kiyoko, H, Siles, A. Ajhuacho, E. y Suarez, M., 1996. Estudio del comportamiento y utilización de abonos verdes. CETABOL-JICA, Santa Cruz, Bolivia.

Revalorización de cultivares nativos para suelos con bajo contenido de fósforo en Bolivia

B. Condori¹, A. Devaux¹, P. Mamani¹ y R. Botello¹

¹ Fundación PROINPA (CIP-COSUDE), Casilla 1078. La Paz, Bolivia. email: proinpa@mail.megalink.com

RESUMEN

Los suelos de la zona andina de Bolivia, en general, son deficientes en nitrógeno y fósforo. El efecto de la baja fertilidad se acentúa por las condiciones climáticas adversas en zonas de altura, generando sistemas de producción de alto riesgo y baja tecnología. En este contexto, se inició en la Estación Experimental de Toralapa en Cochabamba, la evaluación de cultivares nativos en condiciones de niveles bajos de fósforo. Estos cultivares fueron evaluados frente a tres dosis de fósforo: 0, 40 y 120 kg ha⁻¹ de P₂O₅, bajo un diseño de parcelas divididas en franjas con tres repeticiones. Los resultados nos muestran que los cultivares Polonia y Yana Runa mantienen un buen rendimiento en condiciones de niveles bajos de fósforo, en relación a los testigos. En la calidad culinaria los cultivares Yana Runa y Polonia obtuvieron una calificación de buena y regular respectivamente, tanto en sabor como harinosidad.

INTRODUCCION

Los suelos de la zona andina de Bolivia, en general, son deficientes en nitrógeno y fósforo, nutrientes importantes en la producción de cultivos (Fertisuelos-FAO, 1995 ; Haverkort y Rutayisere, 1986) consideramos a fósforo como principal limitante por la escasez de fuentes para su aplicación. Este aspecto, asociado a las condiciones climáticas difíciles en zonas de altura, como la sequía y las heladas, hace que los sistemas agrícolas sean de alto riesgo y de baja tecnología, en los que no se tiene muchas posibilidades de mejoras tecnológicas por su elevado costo. Con este trabajo se busca identificar aquellas variedades de papa nativa de buen comportamiento agronómico, de la rica diversidad del germoplasma de papa boliviano y explicar el porqué de la buena respuesta en condiciones de niveles bajos de fósforo en el suelo. Estos cultivares nativos seleccionados podrían ser reintroducidos en sistemas de producción de subsistencia, donde los agricultores disponen de pocos insumos para la producción de papa y también servir de material parental para programas de mejoramiento.

MATERIALES Y METODOS

El estudio se realizó en la Estación Experimental de Toralapa, en Cochabamba, Bolivia durante cuatro campañas consecutivas. En las campañas 1994-95 y 1995-96 se estudiaron 20 cultivares seleccionados por su buen rendimiento, del Banco Nacional de Germoplasma de papa boliviano, para determinar su respuesta a niveles bajos de fertilización de suelos (PROINPA, 1996). En la campaña 1996-97 se estudiaron ocho cultivares seleccionados de las dos campañas anteriores y fueron evaluados frente a tres testigos (Figura 1). En la campaña 1997-98 se seleccionaron tres cultivares (Figura 1) de alta estabilidad en su rendimiento durante las tres campañas anteriores, las comparaciones para selección se hicieron frente al testigo comercial Waych'a. El estudio se realizó bajo condiciones óptimas de nitrógeno y potasio (80 y 60 kg.ha⁻¹ de N y K₂O respectivamente). Los niveles de fósforo evaluados fueron: 0, 40 y 120 kg.ha⁻¹ de P₂O₅.

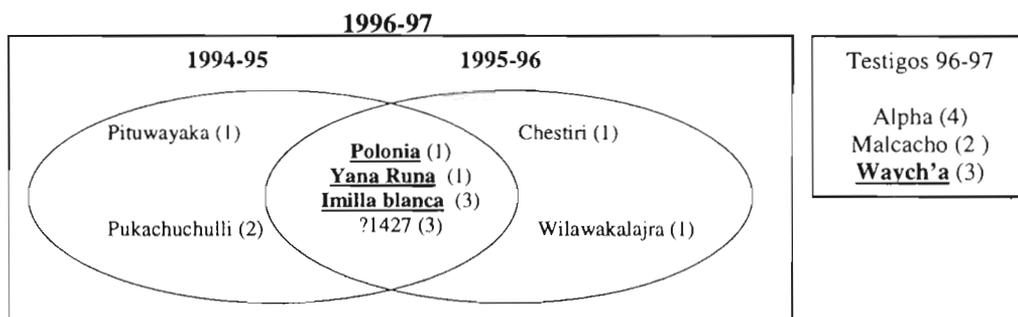


FIGURA 1. Cultivares nativos evaluados durante la campaña 1996-97 y seleccionados por sus buenos rendimientos durante dos gestiones anteriores, 1994-95 y 1995-96 (____) Cultivares estudiados en la campaña 1997-98. Subespecie: (1)=andigena, (2)=stenotonum, (3)=andigena x tuberosum?, (4)=tuberosum.

Las condiciones climáticas en las cuatro campañas fueron distintas, principalmente el régimen de lluvias (años con y sin sequía). El contenido de fósforo es bajo a muy bajo en todos los años de estudio (Cuadro 1).

CUADRO 1. Condiciones de precipitación y contenido inicial de fósforo en el suelo para los cuatro años de estudio.

	1994-95	1995-96	1996-97	1997-98
Fósforo en el suelo (ppm)	13	4	6	10
Precipitación (mm)	550	630	790	380

Los ensayos fueron establecidos bajo un diseño de parcelas divididas en franjas (parcela: nivel de fósforo y subparcela: cultivar) con 33 plantas por unidad experimental y tres repeticiones. Las principales variables evaluadas durante el estudio fueron el rendimiento de tubérculos y en la última campaña se evaluó el contenido de fósforo en tubérculo y follaje mediante análisis químico foliar, además se cuantificó la densidad de raíces mediante el uso de un bastidor de 15 x 10 cm (cuadrículado cada 2.5 x 2.5 cm) que se colocó en el perfil de una calicata próxima a la planta (5 cm) en la que se contó las intersecciones de raíz con la cuadrícula del bastidor por capas de 10 hasta 40 cm de profundidad. Además se evaluó la calidad culinaria a nivel de papas hervidas, el sabor y harinosidad, en base a pruebas de degustación utilizando como cultivar testigo a Waych'a.

RESULTADOS

De los cultivares evaluados durante las campañas 94-95 y 95-96, los cultivares que sobresalieron por su buen rendimiento frente a bajos niveles de fertilización fueron Polonia (POL), Yana Runa (YRU), Imilla blanca (IBL), ?1427, Pituwayaka (PIT), Pukachuchulli (PUK), Chestiri (CHE) y Wilawakalajra (WWL).

En el año 96-97 se estudiaron a estos ocho cultivares que fueron los sobresalientes, el análisis estadístico mostró diferencias altamente significativas para cada factor y para la interacción (variedad x nivel de fósforo), lo que indica que cada variedad responde de diferente manera a los niveles de fósforo estudiado (Figura 2).

La mayoría de los cultivares respondieron a los niveles de fósforo, a excepción de los cultivares Polonia y Yana Runa que mantienen favorables rendimientos, aún sin la aplicación de fósforo (Figura 2). Estos resultados confirman los obtenidos en las dos gestiones anteriores y muestran la mejor capacidad de producción de estos y otros cultivares nativos como Imilla Blanca. Este comportamiento puede deberse a la rusticidad de estos cultivares por su largo período de adaptación a condiciones de bajo contenido de fósforo, asociado a un posible incremento de la biomasa radicular y/o a una mejor eficiencia de utilización de asimilatos.

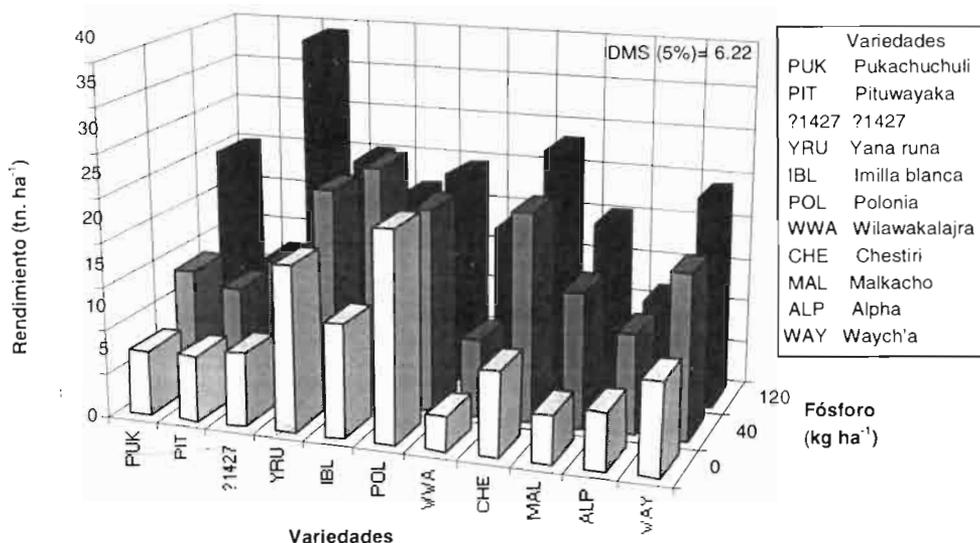


FIGURA 2. Rendimiento de variedades nativas frente a niveles de fósforo evaluadas en campo, Toralapa, 1996-1997

En la campaña 97-98 se hizo una última selección de aquellos cultivares que se mantuvieron estables en todas las campañas de estudio (Figura 1), para conocer los motivos de este buen comportamiento. En la figura 3 se muestra los rendimientos de las variedades Yana Runa, Polonia, Imilla blanca y Waych'a a niveles de 0, 40 y 120 kg.ha⁻¹ de P₂O₅. En la misma se puede diferenciar a dos grupos, las variedades Yana Runa y Polonia que presentan buenos rendimientos y estables, aún con los niveles bajos de fósforo, en cambio las variedades Imilla Blanca y Waych'a que responden a la fertilización fosfórica incrementando significativamente los rendimientos a niveles mayores (40 y 120 kg.ha⁻¹ P₂O₅).

Es posible que las variedades Yana Runa y Polonia tengan una buena traslocación de los asimilatos hacia los tubérculos y/o mayor poder de absorción de fósforo, de manera que el rendimiento del nivel bajo sea comparable al rendimiento del nivel alto de fósforo. Sin embargo, el techo de rendimiento de estas variedades es bajo por su rusticidad, en relación al alcanzado por las variedades Imilla Blanca y Waych'a con 120 kg.ha⁻¹ de P₂O₅.

En la figura 4, podemos ver claramente lo sostenido en el anterior párrafo, es decir, que los cultivares Yana Runa y Polonia son los de menor variabilidad pero con promedios próximos al techo de los rendimientos alcanzados por los cultivares Imilla Blanca y Waych'a (con 120 kg.ha⁻¹ de P₂O₅), estas tendencias se repiten a lo largo del estudio.

Distribución de raíces

El cuadro 2 muestra el número de intersecciones totales para los niveles extremos y las cuatro variedades. Las variedades Yana Runa y Polonia tienen mayor número de intersecciones de raíces con el nivel 120 de P₂O₅ en relación al nivel 0, en cambio Imilla Blanca y Waych'a presentan la misma cantidad de intersección de raíces en ambos niveles de fósforo.

Las variedades Yana Runa y Polonia a pesar de desarrollar mas raíces con el nivel alto (120 kg de P₂O₅) no elevan sus rendimientos por su bajo techo de producción (rusticidad), haciendo que estos se mantengan estables y no presenten incrementos con los niveles altos de fósforo. En cambio en las variedades Imilla Blanca y Waych'a desarrollan igual cantidad de raíces tanto con el nivel 0 como con el nivel 120, esto permite que con el nivel 0 pueda buscar mas cantidad de fósforo y otros nutrientes para cubrir su requerimiento, contrariamente con el nivel alto de fósforo (120 kg.ha⁻¹ de P₂O₅) las

raíces no desarrollan más que en el testigo por la disponibilidad y facilidad que tendrían las raíces para absorber fósforo (absorción pasiva).

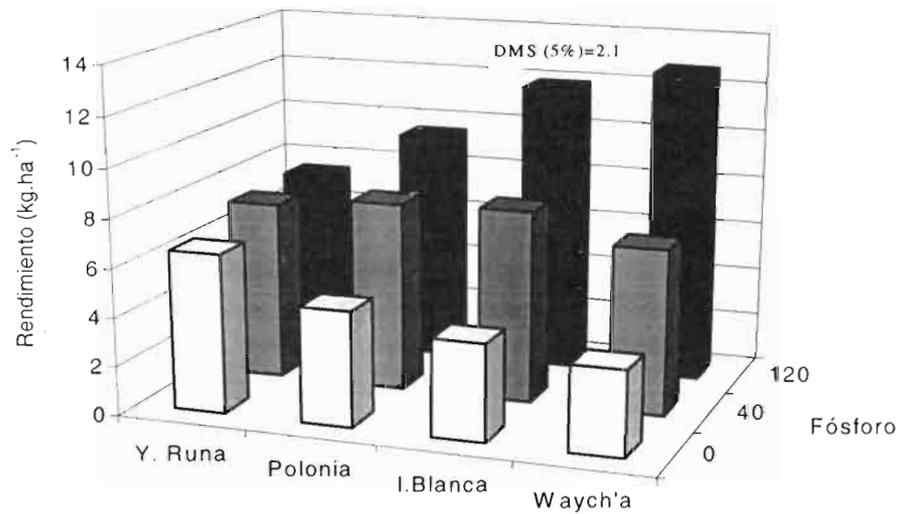


FIGURA 3. Rendimiento de cuatro variedades nativas de papa frente a tres niveles de fertilización con P₂O₅. Toralapa 1997 - 98.

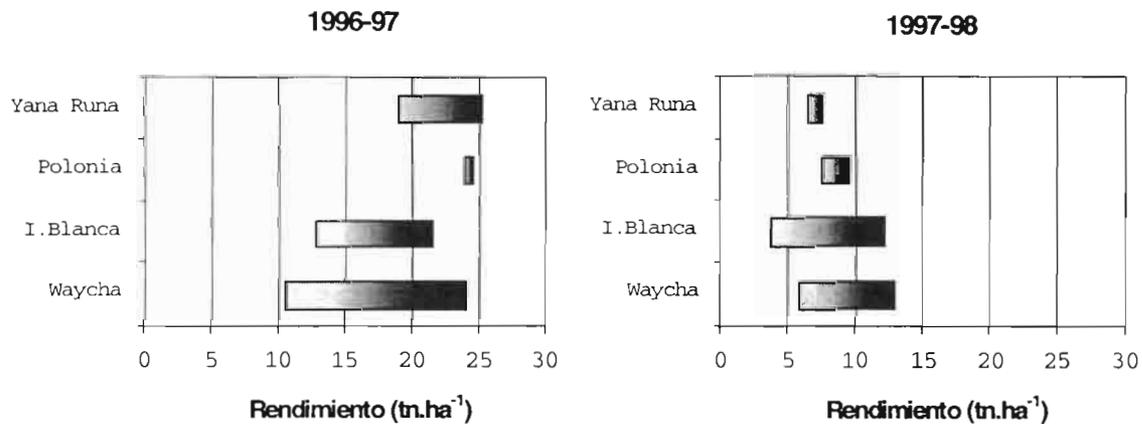


FIGURA 4. Rango de variabilidad de rendimiento de cultivares nativos seleccionados en función de la cantidad de fósforo (0 - 120) aplicado a suelo en kg ha⁻¹ de P₂O₅.

CUADRO 2. Número de intersecciones de las raíces para las variedades nativas de papa y niveles de 0 y 120 kg.ha⁻¹ de P₂O₅.

Varietades	0 kg.ha ⁻¹ de P ₂ O ₅	120 kg.ha ⁻¹ de P ₂ O ₅
Yana Runa	74	94
Polonia	59	81
Imilla Blanca	82	83
Waych'a	83	71

Las variedades Yana Runa y Polonia con el nivel 0 de fósforo tienen un mayor porcentaje de raíces en la capa superficial de 0-10 cm (42 y 48% respectivamente), en relación al nivel 120 (35%), en estas

variedades (Yana Runa y Polonia) el porcentaje de raíces a una profundidad de 10-20 cm es similar en los dos niveles de fertilización (0 o 120 kg.ha⁻¹ de P₂O₅). Por otro lado, cuando el nivel de fósforo es 0, las raíces no penetran a profundidades mayores a 30 cm (Figura 5). Esto podría ser explicado por la capacidad de la raíz de buscar el fósforo en las capas superficiales del suelo donde se encuentra en mayores concentraciones, además, la distribución de las raíces en estas capas hace que sea innecesario un mayor desarrollo radicular a mayores profundidades lo que explica las diferencias cuantitativas entre variedades del cuadro 2.

En las variedades Imilla Blanca y Waych'a la distribución de las raíces es similar en ambos niveles de fósforo (0 o 120 kg.ha⁻¹ de P₂O₅), teniéndose una penetración a profundidades mayores a los 30 cm (Figura 5).

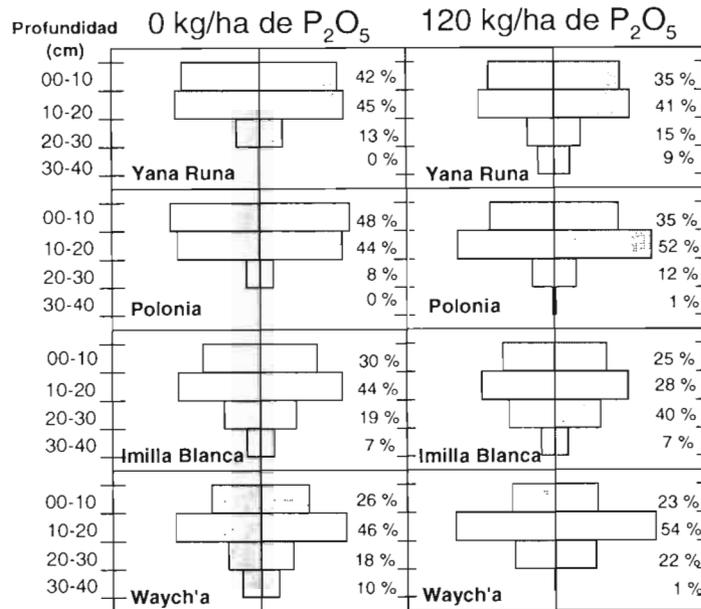


FIGURA 5. Distribución porcentual de las raíces en cuatro variedades nativas de papa a dos niveles de fertilización fosfórica.

En todos los casos, el mayor porcentaje de raíces (de 41 a 54 %) se encuentra a una profundidad de 10 a 20 cm, excepto en las variedades Polonia y Yana Runa donde el desarrollo de raíces en la capa superficial (0 a 10 cm) es similar o mayor al desarrollo entre los 10 a 20 cm cuando no tiene fósforo, tal como se mencionó anteriormente.

CONCLUSIONES

- Los cultivares Yana Runa y Polonia, son los que tienen mejor rendimiento frente a niveles bajos de fósforo, este comportamiento se debe a diferentes condiciones de estabilidad.
- Yana Runa y Polonia, tienen una mayor exploración superficial de raíces en el nivel 0 de P₂O₅ que Imilla Blanca y Waych'a.
- Yana Runa y Polonia pueden ser validadas en campo de agricultores de bajos insumos, en cambio Imilla Blanca puede ser validada en condiciones de mayor inversión.

- El cultivar Yana Runa es consumida en forma directa por su calidad culinaria, en cambio Polonia e Imilla Blanca deben ser procesadas en forma de tunta y chuño.
- Se debe hacer estudios sobre la transformación de los cultivares Polonia e Imilla Blanca.

BIBLIOGRAFÍA

Condori, B., Devaux, A., Mamani, P., Santos, J., 1998. Selección de cultivares nativos de papa por su respuesta a niveles bajos de fósforo en el suelo. Cochabamba, Bolivia, XVIII Reunión de la Asociación Latinoamericana de la Papa (ALAP), Compendio de Exposiciones, pp. 3-4.

Fertisuelos-FAO. 1995. Miradas. Manejo de suelos y nutrición vegetal en sistemas de cultivos. Cochabamba, Bolivia, Ediciones Sirena, Documento de campo N° 16.

Haverkort, A.J. y Rutayisere, C., 1986. Utilisation des engrais chimiques sous conditions tropicales. Potato Research 29: 347-355.

Programa de Investigación de la Papa, PROINPA, 1996. Informe anual. Cochabamba, Bolivia.

Programa de Investigación de la Papa , PROINPA, 1997. Informe anual. Cochabamba, Bolivia.

Medidas de control de población de nemátodos para el manejo de la sanidad y conservación del suelo

N. Main,¹ N. Ortuño¹ y J. Franco¹

¹ Fundación para la Promoción de Productos Andinos. Fundación PROINPA. Casilla 4285. Cochabamba, Bolivia.

RESUMEN

En parcelas de la Estación Experimental de Toralapa se realizaron evaluaciones sobre diferentes secuencias de rotaciones y prácticas culturales para ver su efecto en la población de nemátodos y en el suelo. Las secuencias que mejoraron los rendimientos de la papa fueron aquellas donde se aplicó gallinaza e incorporó cebada, la incorporación de materia orgánica al suelo mejora su calidad y aumenta su capacidad productiva. La incorporación de gallinaza y cebada reduce las poblaciones de *N. aberrans* y *Globodera sp.*, en forma más efectiva que los nematicidas, con un efecto residual mayor que el de aplicar nematicida en el primer año.

INTRODUCCION

Entre las solanaceas, la papa (*Solanum tuberosum L.*) tiene gran importancia económica y social en de nuestro país por que constituye la base de la alimentación del 80% de la población y es considerado como un cultivo rentable.

En el rendimiento de los diferentes cultivos influyen una serie de factores como los climáticos, la calidad de la semilla, el tipo de suelo, la presencia de enfermedades y plagas. Entre las plagas que atacan el cultivo de papa, existen algunas que en los últimos años han adquirido importancia como los nemátodos que han infestado los suelos, por la sobreexplotación y mal manejo físico, químico y biológico de los suelos.

La baja productividad de las tierras cultivadas de nuestro país coinciden con la disminución acelerada de la materia orgánica de los suelos, que implica una reducción de los nutrientes del suelo, necesarios para el desarrollo de las plantas. La fertilidad de los suelos de cultivo tiene una relación inseparable con el contenido de materia orgánica, por cuanto esta mejora las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo para el desarrollo de las plantas.

Reducir las poblaciones de nemátodos como *Nacobbus aberrans* y *Globodera spp.* es difícil, por tal motivo es necesario integrar métodos de control eficiente. El control de nemátodos mediante la combinación de la rotación de cultivos, uso de control cultural, biológico y químico, siembra de cultivares resistentes y tolerantes en un programa de secuencia de cultivos, ayuda a preservar el medio ambiente y la calidad de los suelos.

En este trabajo se busca determinar el efecto sobre la reducción poblacional de nemátodos en el cultivo de papa de la combinación de una variedad resistente (Gendarme), la incorporación de gallinaza, la rotación con cultivos de haba y cebada, el cultivo de oca y el uso de un nematicida (Carbofuran) en un período de cuatro años agrícolas

MATERIALES Y METODOS

El presente estudio se realizó en parcelas de la Estación Experimental de Toralapa ubicada en el valle alto de la provincia Tiraque a 71 km de la ciudad de Cochabamba, con coordenadas 17°31' de latitud sur y 65°40' de longitud oeste a una altitud de 3430 msnm, temperatura promedio anual de 11°C y precipitación promedio anual de 531 mm. El clima es clasificado como estepa montano sub-humedo.

El ensayo se estableció en la campaña 93-94, en parcelas altamente infestadas con nemátodos, se hizo un seguimiento hasta la campaña 1996-1997. Los tratamientos consisten en la combinación de varios factores:

Primer año: (1993-1994)

1. Cultivar resistente (Gendarme)+ Gallinaza - Nematicida
2. Cultivar susceptible (Waych'a) + Gallinaza - Nematicida
3. Cultivar resistente (Gendarme) – Gallinaza + Nematicida
4. Cultivar susceptible (Waych'a) – Gallinaza + Nematicida
5. Cultivar resistente (Gendarme)+ Gallinaza + Nematicida
6. Cultivar susceptible (Waych'a) + Gallinaza + Nematicida
7. Cultivar resistente (Gendarme) – Gallinaza - Nematicida
8. Cultivar susceptible (Waych'a) – Gallinaza - Nematicida

Segundo año: (1994-1995)

En cada uno de los tratamientos mencionados se sembró oca, cebada y una parte de la cebada se incorporó en plena floración.

Tercer año: (1995-1996)

En todos los tratamientos del primer año se sembró haba var. criolla, que se incorporó en media parcela después de una cosecha.

Cuarto año: (1996-1997)

Se sembró en todos los tratamientos un cultivar de papa susceptible (Waych'a) y se aplicó gallinaza.

Los diferentes tratamientos fueron distribuidos en unidades experimentales de 75.85 m².

Los resultados fueron analizados mediante el diseño de bloques al azar para los años 93-96 y mediante comparación, para la campaña 96-97, por que no existe diseño alguno que se ajuste.

Las variables de respuesta estudiadas en la última campaña agrícola fueron: Nodulación por *Nacobbus aberrans* (%), nodulación por *Globodera* spp. (escala), tasa de multiplicación de *Globodera* spp. (huevos.g⁻¹ suelo) y el rendimiento del cultivo de papa (tn.ha⁻¹).

RESULTADOS Y DISCUSION

Campaña 93-94

Los datos obtenidos se presentan en la figura 1, donde sobresale la disminución de la nodulación en la variedad Waych'a cuando se aplicó gallinaza y/o nematicida. No así en la variedad Gendarme, que se mostró indiferente a la aplicación de los tratamientos.

En la misma figura, se observa que el rendimiento de la variedad Gendarme disminuyó y de la variedad Waych'a se incrementó significativamente ($p=0.01$) cuando se aplicó gallinaza en el momento de la siembra, con relación a los demás tratamientos. Probablemente esta disminución se deba al incremento de enemigos naturales de *N. aberrans* y por el desprendimiento de amoníaco, en el proceso de descomposición de la gallinaza, letal para los nemátodos. Al mismo tiempo, la gallinaza al ser incorporada en el suelo mejora su fertilidad por contener urea y las condiciones edafológicas para la planta con el incremento de rendimiento del cultivo de la papa.

Campaña 93-94

En ésta campaña las poblaciones de *N. aberrans* se redujeron notablemente con las rotaciones de oca, aunque no hubo diferencias significativas con el cultivo de cebada. El rendimiento de oca alcanzó a 11.79 tn.ha⁻¹, cebada en grano 2,534 tn.ha⁻¹ y cebada en berza 20.5 tn.ha⁻¹, esta fue incorporada para establecer el efecto en la población de nemátodos en la próxima campaña.

Campaña 95-96

Al analizar los resultados de los diferentes tratamientos sobre el rendimiento del cultivo de haba, se observa que existen diferencias significativas en peso en verde, obteniéndose los mejores rendimientos en las parcelas donde se incorporó cebada, el rendimiento fue de 36.7 tn.ha⁻¹ (Figura 2).

Con relación al peso en vaina del haba, número de nódulos de *Nacobbus aberrans* en bioensayo y tasa de multiplicación de *Globodera* spp., no existen diferencias entre los tratamientos.

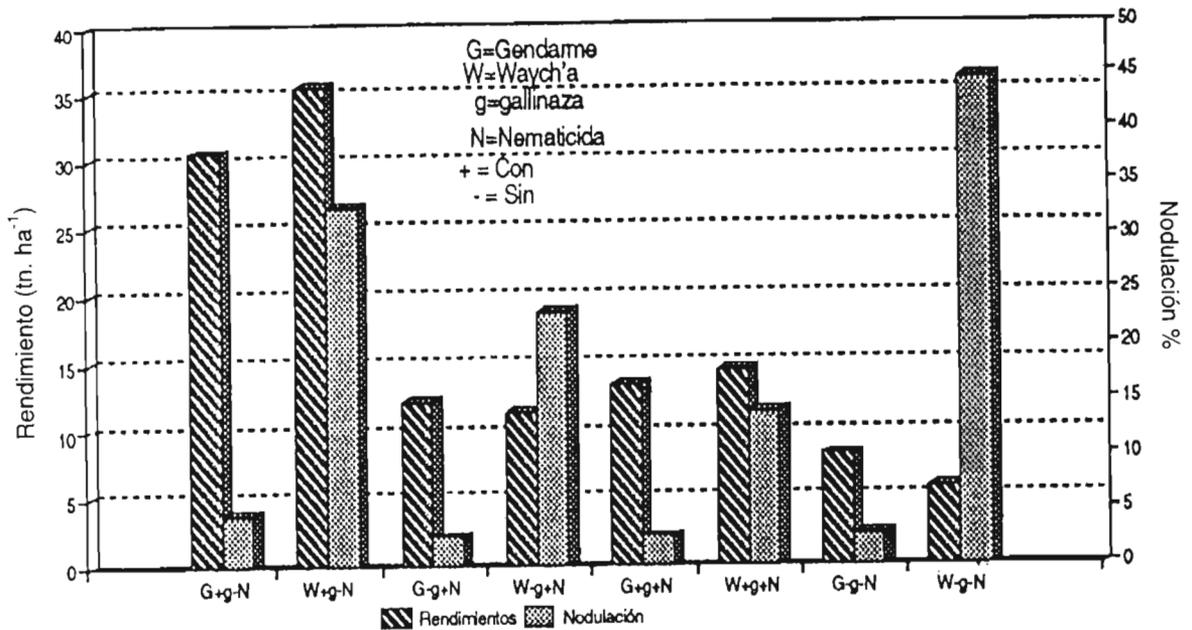


FIGURA 1. Efecto de la incorporación de gallinaza y un nematocida sobre la nodulación y el rendimiento en dos variedades de papa (Waych'a y Gendarme). Toralapa 93-94.

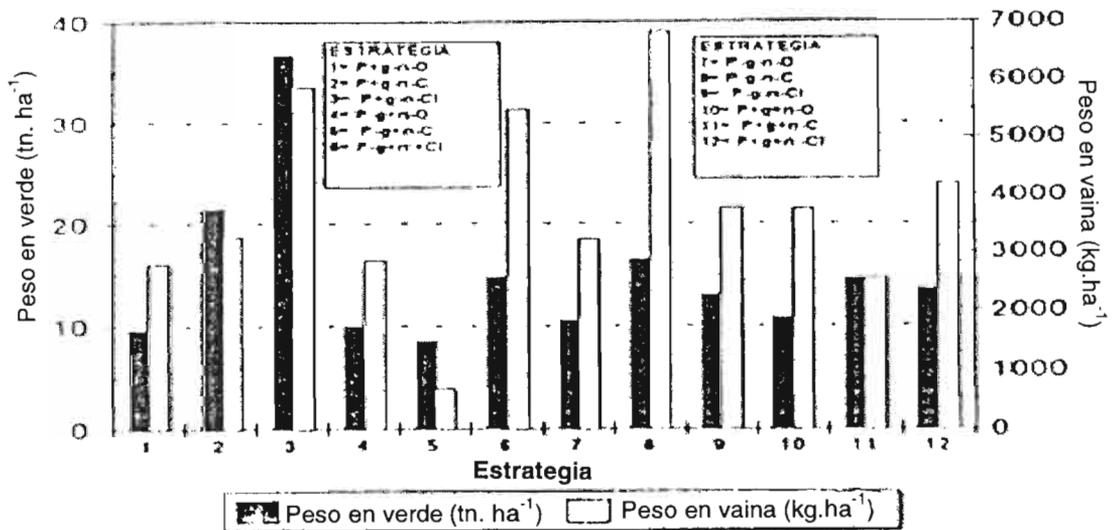


FIGURA 2. Efecto de diferentes estrategias sobre el rendimiento del cultivo de haba (*Vicia faba*) en peso verde de follaje (tn. ha⁻¹) y peso en vaina (kg. ha⁻¹). P= papa, +g= con gallinaza, -n= con nematocida, -g= sin gallinaza, -n= sin nematocida, O= oca, C= Cebada, CI= Cebada incorporada.

El número de nódulos de *Nacobbus aberrans*, es menor en aquellas parcelas donde se aplicó gallinaza en comparación con las parcelas que no tuvieron este tratamiento, y es aún menor en

aquellas parcelas donde se aplicó gallinaza e incorporó cebada. No sucedió lo mismo en aquellas parcelas donde se aplicó nematicida, la población fue más numerosa (Figura 3). Por otra parte, el efecto de gallinaza sobre *Globodera spp.* se define como bajo, pero las tasas de multiplicación fueron mayores cuando se incorporó cebada y aplicó gallinaza como cuando se aplicó gallinaza y nematicida. En forma general el tratamiento donde se aplicó gallinaza y nematicida e incorporó cebada presentó las poblaciones menos numerosas.

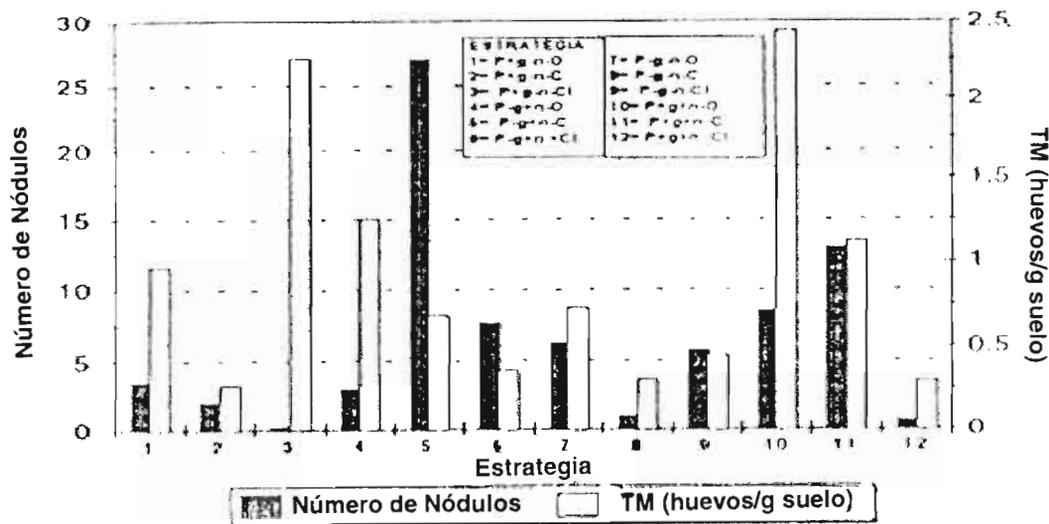


FIGURA 3. Efecto de diferentes estrategias sobre el número de nódulos de *Nacobbus aberrans* y tasa de multiplicación de *Globodera spp.* (huevos.g⁻¹ suelo). P= papa, +g= con gallinaza, +n= con nematicida, -g= sin gallinaza, -n= sin nematicida, O= oca, C= Cebada, CI= Cebada incorporada.

Campaña 96-97.

Se obtuvo mayor rendimiento de la variedad Waych'a en las estrategias donde se sembró Gendarme-sin gallinaza-con nematicida-cebada incorporada-haba (26.48 tn.ha⁻¹) y Waych'a-sin gallinaza-con nematicida-cebada incorporada-haba (26.67 tn.ha⁻¹) en comparación a Gendarme-sin gallinaza-sin nematicida-oca-haba (3.1 tn.ha⁻¹) y Waych'a -sin gallinaza-sin nematicida-oca-haba incorporada (3.29 tn.ha⁻¹) (Figura 4). Asimismo se puede ver que cuando se incorporó la cebada se presentan los mejores rendimientos.

Existe menor nodulación de *N. aberrans* en las estrategias en las que se sembró Gendarme-con gallinaza-sin nematicida-oca-haba (11%) y Gendarme-con gallinaza-sin nematicida-cebada incorporada-haba incorporada (13%) en comparación a Waych'a-sin gallinaza-con nematicida-cebada incorporada-haba (71%) y Waych'a-sin gallinaza-con nematicida-cebada-haba incorporada (74%), por otra parte se observa que existe menor nodulación donde se aplico gallinaza (Figura 5).

La tasa de multiplicación de *Globodera spp.* es menor con la estrategia donde se sembró Gendarme-con gallinaza-sin nematicida-oca-haba (0.08 huevos.g⁻¹suelo) y Waych'a-con gallinaza-sin nematicida-oca-haba (0.08 huevos.g⁻¹suelo) en comparación a Waych'a-sin gallinaza-con nematicida-cebada incorporada-haba incorporada (4.1 huevos.g⁻¹suelo) y Gendarme-sin gallinaza-con nematicida-cebada incorporada-haba (4.6 huevos.g⁻¹suelo) y al mismo tiempo se puede apreciar que existe menor tasa de multiplicación de *Globodera spp.* en las estrategias donde se aplicó gallinaza (Figura 6).

En la figura 7 se muestra que las estrategias que mejoraron el rendimiento de Waych'a fueron Waych'a-sin gallinaza-sin nematicida-oca-haba incorporada (429%), Waych'a-sin gallinaza-sin nematicida-oca-haba (283%) y Waych'a-sin gallinaza-con nematicida-haba incorporada (208%). Así

también, hubo reducción de nodulación en las dos primeras estrategias (35% y 17%, respectivamente).

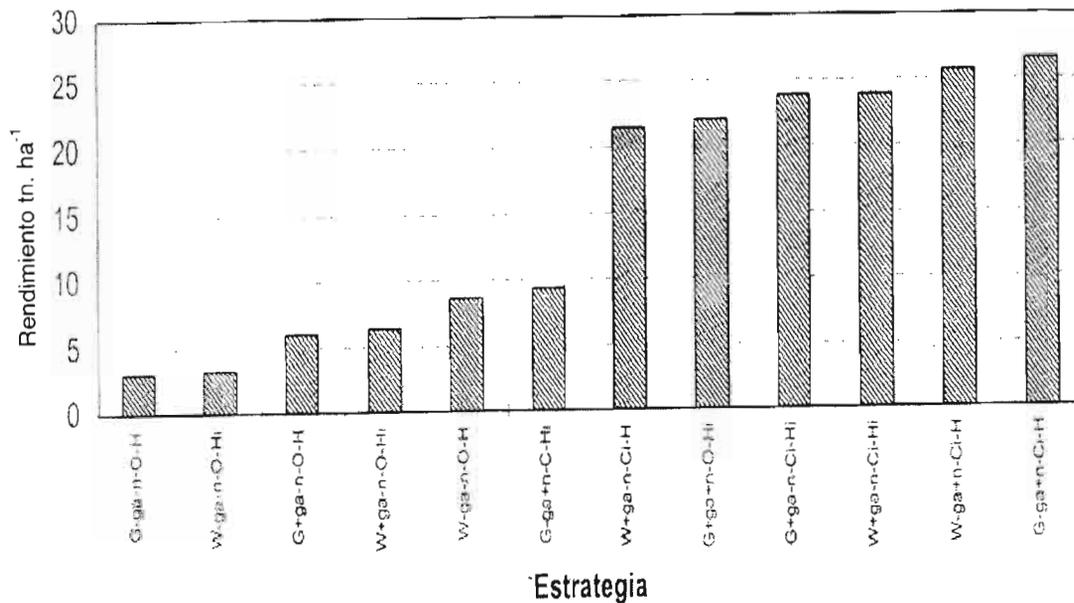


FIGURA 4. Efecto de diferentes estrategias sobre el rendimiento de papa Waych'a (tn.ha⁻¹). W= waych'a, G= Gendarme, +ga= con gallinaza, -ga= sin gallinaza, +n= con nematicida, -n= sin nematicida, O= Oca, C= cebada, Ci=Cebada incorporada, H= Haba, Hi= Haba incorporada.

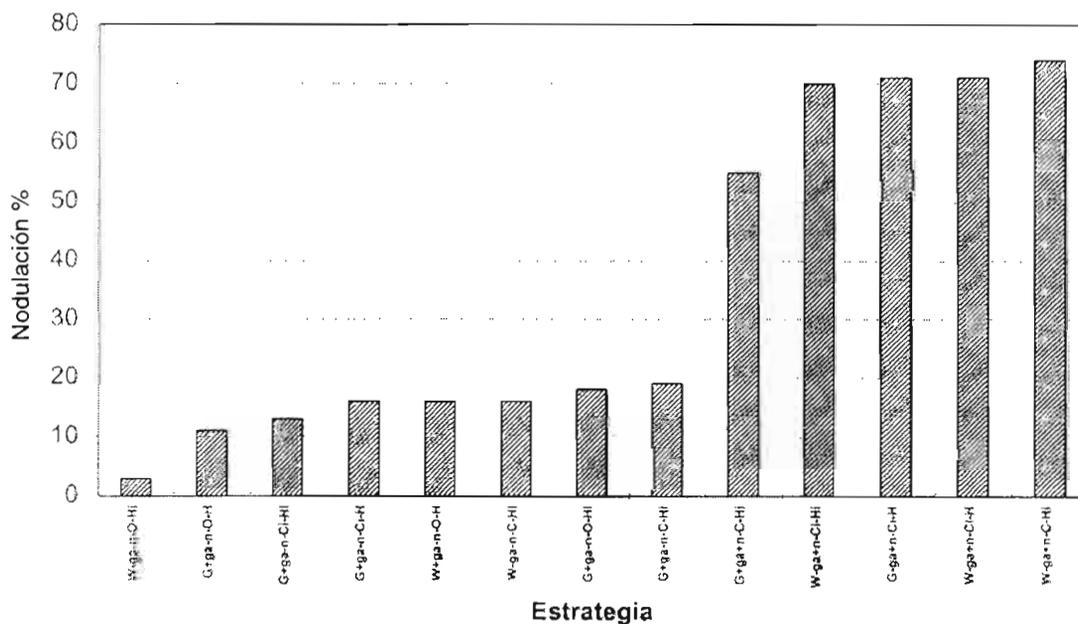


FIGURA 5. Efecto de diferentes estrategias sobre el porcentaje de nodulación de *Nacobbus aberrans* en papa Waych'a. W= waych'a, G= Gendarme, +ga= con gallinaza, -ga= sin gallinaza, +n= con nematicida, -n= sin nematicida, O= Oca, C= cebada, Ci= Cebada incorporada, H= Haba, Hi= Haba incorporada.

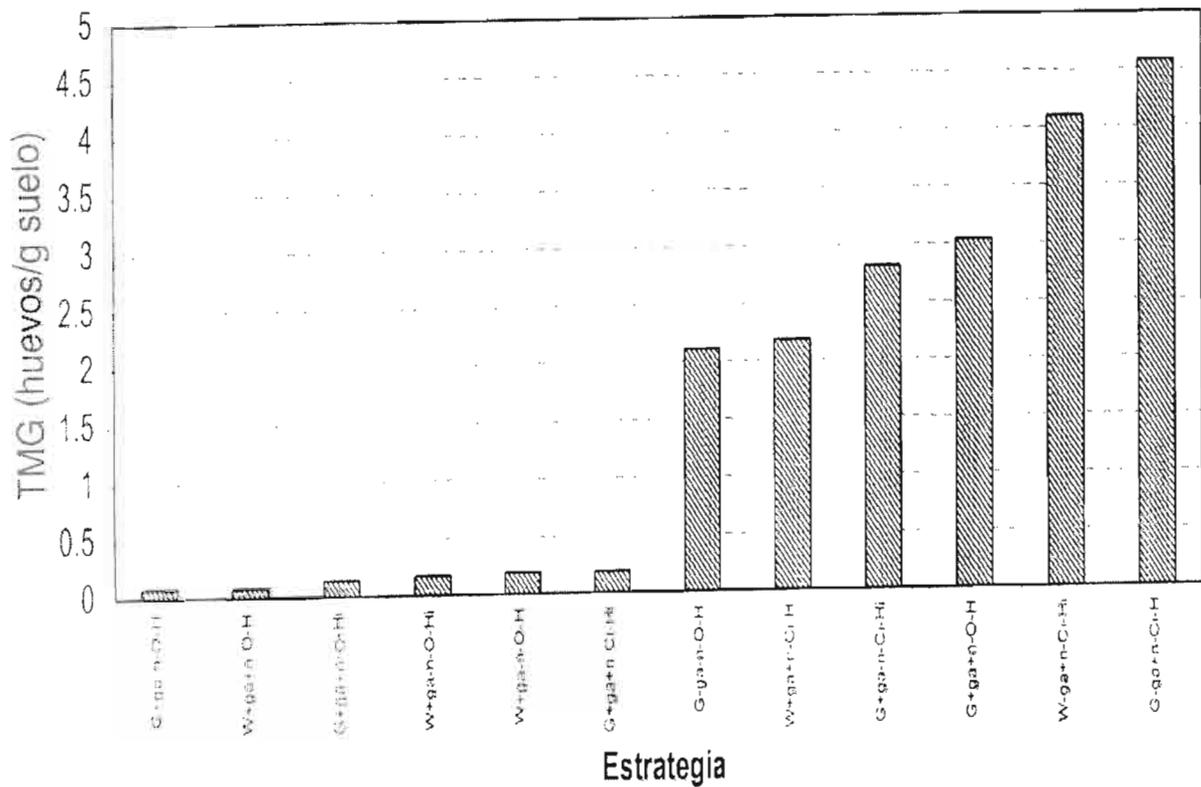


FIGURA 6. Efecto de diferentes estrategias sobre la tasa de multiplicación de *Globodera spp.* (huevoes.g⁻¹ de suelo) en papa Waych'a. W= waych'a, G= Gendarme, +ga= con gallinaza, -ga= sin gallinaza, +n= con nematocida, n= sin nematocida, O= Oca, C= cebada, CI= Cebada incorporada, H= Haba, HI= Haba incorporada.

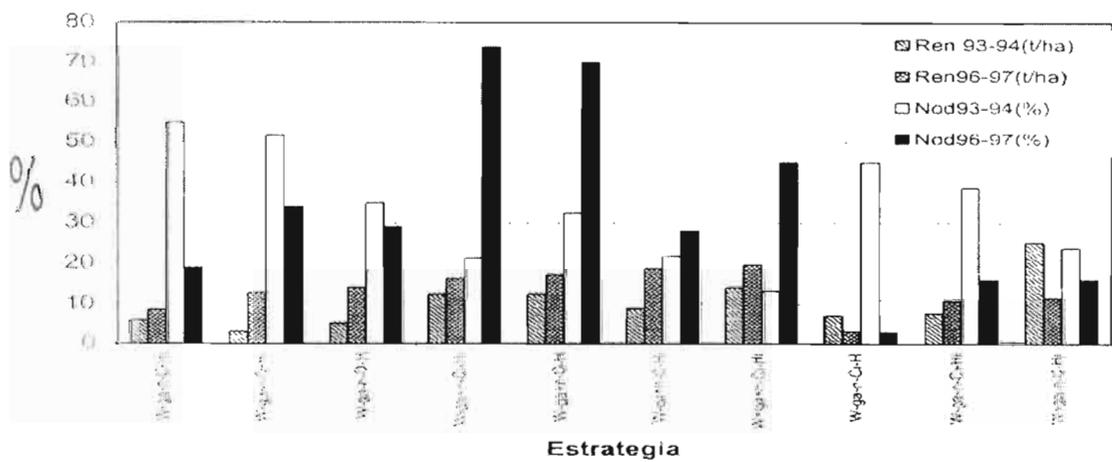


FIGURA 7. Efecto de diferentes estrategias en el rendimiento de papa Waych'a y la nodulación de *Nacobbus aberrans* en las campañas 93-94 y 96-97. W= Waych'a, G= Gendarme, +ga= con gallinaza, -ga= sin gallinaza, +n= con nematocida, -n= sin nematocida, O= Oca, C= cebada, CI= Cebada incorporada, H= Haba, HI= Haba incorporada.

CONCLUSIONES

- El aplicar gallinaza constituye una buena alternativa para reducir la población de *Nacobbus aberrans*.
- Incluir cebada dentro una rotación de cultivos actúa como cultivo trampa y además al incorporarlo incrementa la producción de papa, ya sea aplicando nematicida o no nematicida en un cultivo de papa previo a la cebada.

BIBLIOGRAFIA.

- Augstburger, F., 1989. Abonos orgánicos en el cultivo de la papa en la Zona Andina de Bolivia. Cochabamba, Bolivia, Universidad Mayor de San Simón -AGRUCO.
- Buckman, H. y Brady, N., 1977. Naturaleza y propiedades de los suelos. Barcelona, España, Editorial Hispano América, 589pp
- Canto, M y Gonzales, A., 1993. Uso de la gasolina para la separación de quistes de *Globodera pallida* y materia orgánica en muestras extraídas de suelo. *Nematropica* (U.S.A.) 23(1): 57-61.
- Diehl, R., Mateo, J., Urbano, P., 1978. Fitotecnia General. Madrid, España, Editorial Mundi-Prensa.
- Franco, J., 1977. Studies of taxonomy and biology of potato cyst-nematodes *Globodera* spp. Mulvey and stone 1976. London, England, University of London, Thesis Ph.D., Faculty of Science, 324pp.
- Franco, J., 1986. Importancia de los nemátodos en la producción de papa y su control. Lima, Perú, CIP, 46pp.
- Franco, J. y Montecinos, R., 1992. Importancia de los nemátodos fitoparásitos de la papa. En Curso Nacional sobre producción de semilla de papa (Resúmenes). Cochabamba, Bolivia, PRONAPA, p irr.
- Gros, A., 1986. Abonos. 7 edición. Madrid, España, Mundiprensa, 646pp.
- Jatala, J. 1986. Biological control of plant parasitic nematodes. *Annual review Phytopathology* 17:29-36
- Jatala, P., 1980. Nemátodos parásitos de la papa. En: Compendio de enfermedades de la papa. Editores: W.J. Hooker. Lima, Perú, Centro Internacional de la papa, pp 131-140.
- Kahnt, G., 1989. Abono Verde. Ed. Pauline Stanhan. Montevideo, Uruguay, Agropecuaria Hemisferio Sur S.A., 153 pp.
- Miller, G. y Gooch, P., 1982. Organic amendments in nematode control. *Nematropica* (U.S.A.) 12(2)319-326.
- Nickle, W., 1991. Manual de Agricultura. Nematology Plant Parasitic nematodes. Ed. M. Dekker. New York, U.S.A., pp. 519-523.
- Patersson, J.B., 1980. Suelos y abonado en horticultura. México DF, México, Limusa, 198 pp.
- Programa de Investigación de la Papa (PROINPA), 1994. Informe anual, campaña agrícola 1993-94 IBTA-CIP-COTESU. Cochabamba, Bolivia.
- Sasser, J., 1972. Managing nematodes by plant breeding. Reprinter from proceeding annual tall timbers conference on ecological animal control by habitat management, pp 24-25.
- Sayre, R., Patrick, A. y Thorpe, H., 1965. Identification of a selectiva nematicidal componer in extracts of plant residues the composing in soil. *Nematologica* 11:263-268.
- Scurrah, M. (s.f.). Evaluación de resistencia en papa a los nemátodos del quiste. Centro Internacional de la papa. Perú No 10:10-15 12.
- Selke, W., 1968. Los abonos. León, España, Editorial Academia, 250pp.

Servicios Múltiples de Tecnología Agrícola (SEMTA), 1989. Guía de manejo de cultivos protegidos. La Paz, Bolivia, 65pp.

Soria, C. y Bestra, Ch., 1992. La situación papera y sus tendencias desde el inicio de los años 90. Revista Agricultura (Bolivia) 49 (21)3-10.

Teusher, R. y Addler, R., 1980. El suelo y su fertilidad. Tercera edición, trad. Rodolfo Vera y Zapata. México, Editorial Continental, pp. 152-160.

Torres, R., 1980. Manual de conservación de suelos agrícolas. Saltillo, México, Universidad Autónoma Agraria Narro, 230 pp.

Trejos, M. y Vega, G., 1990. Características del suelo, fertilidad y nutrición del rosal. Asociación de floricultores de Cochabamba, 130 pp.

Valenzuela, A., Dagnino, E., Huefter, T., 1979. El nemátodo dorado de la papa. Chile, Facultad de Agronomía de Chile, 17pp.

Villarroel, A.J. 1990. Abonos verdes de leguminosas, una alternativa para la agricultura tradicional. 1 Seminario nacional sobre fertilidad de suelos y uso de fertilizantes en Bolivia. Santa Cruz, Bolivia, Febrero 1990, pp 10-20.

Villarroel, A.J., 1986. El cultivo de tarwi, fijación y aporte de nitrógeno al suelo y su efecto residual en cebada. Cochabamba, Bolivia, Proyecto de Agrobiología, Universidad Mayor de San Simón, 15pp.

Yufer, E. y Carrasco, D., 1973. Química agrícola. Madrid, España, Editorial Alhambra, 275pp.

Evaluación agronómica del efecto residual de la cal y de la fertilización mineral en un sistema de rotación de cultivos (papa-cebada-haba-papa)

R. Botello¹, J. Vallejos¹, P. Mamani¹, A. Devaux¹ y B. Condori¹

1 Fundación PROINPA, Casilla 4285. Cochabamba, Bolivia. email: rbotello@proinpa.org

RESUMEN

En la Estación Experimental de Toralapa, ubicada en la provincia Tiraque, del departamento de Cochabamba, se realizaron dos ensayos para estudiar el efecto residual de la aplicación de tres niveles de fertilización (40-80-0; 80-160-0 y 160-160-0), más un testigo sin aplicación, combinados con la aplicación de diferentes dosis de cal. En el ensayo preliminar se combinó con dos dosis de cal (0 y 10 tn.ha⁻¹) y en el principal con cuatro dosis de cal (0, 2.5, 5.5 y 10 tn.ha⁻¹), en el sistema de rotación tradicional de la zona (papa-cebada-haba-papa). Los estudios fueron realizados bajo un diseño de bloques completos al azar con arreglo f. Las evaluaciones se realizaron durante tres campañas consecutivas para el ensayo preliminar y durante cuatro para el principal, utilizando tres cultivos distribuidos secuencialmente.

Los resultados, al cabo de cuatro años de investigación, mostraron que el fertilizante mantiene un efecto residual, tanto en el suelo como en los cultivos, hasta el segundo año después de su aplicación, principalmente el fósforo. La adición de cal aumenta el pH a valores próximos a la neutralidad, manteniéndose el efecto luego de tres años de su aplicación, favoreciendo el desarrollo y rendimiento de los cultivos de cebada y haba. Sin embargo, los residuos de las dosis altas de cal (10 tn.ha⁻¹) tienen un efecto negativo en el rendimiento de papa del segundo ciclo de rotación (al cuarto año de aplicación) a causa de una deficiencia de magnesio y potasio. El análisis económico, realizado para el sistema de rotación, muestra mayores ingresos cuando se utilizaron niveles altos de fertilización combinados con dosis bajas de cal.

INTRODUCCION

La región donde se ha desarrollado el presente estudio tiene suelos de reacción ácida que varía entre 4.3 a 5.5, bajos en contenido de materia orgánica (hasta 2.4 %), capacidad de intercambio catiónico (CIC) baja, en general, estos suelos son considerados de baja fertilidad (Iriarte, R. y Aranibar, M. 1977). Este problema abarca gran parte de sus suelos (aproximadamente 11,690 ha) y en la actualidad es una de las principales zonas productoras de papa en Bolivia (CIDETI, 1994).

Los suelos de esta región, al igual que otras de similares condiciones donde el cultivo principal es la papa, requieren de la aplicación de fertilizantes y enmiendas como la cal para mejorar principalmente la disponibilidad de fósforo para mantener o mejorar su capacidad productiva.

Los sistemas tradicionales de producción agrícola de la región están basados en la producción de papa como cultivo de cabecera, el uso de cereales (cebada, avena y trigo) y leguminosas (haba) como cultivos del sistema de rotación.

Por los antecedentes descritos, es importante conocer el efecto de las prácticas de fertilización y enmiendas de cal aplicadas en el cultivo de cabecera (papa) en la producción de los cultivos de la rotación. El objetivo principal de este trabajo es el de determinar el efecto residual de los niveles de fertilización mineral y dosis de cal sobre el rendimiento de los cultivos de rotación y el contenido de nutrientes del suelo, además de determinar la rentabilidad de estas prácticas en el conjunto del sistema de rotación.

MATERIALES Y METODOS

El presente trabajo de investigación se llevó a cabo en la Estación Experimental Toralapa, ubicada en la provincia Tiraque del departamento de Cochabamba, Bolivia, a una altitud de 3430 msnm y a 17° 31' de latitud sur y 65° 40' de longitud oeste.

Se realizaron dos ensayos en dos campañas sucesivas, el primero preliminar en el que se utilizaron cuatro niveles de fertilización combinados con 10 tn.ha⁻¹ de cal y sin cal (91-94), en el segundo ensayo (92-96) se combinaron estos mismos niveles con tres dosis de cal y las evaluaciones se realizaron

durante cuatro campañas consecutivas en los cultivos de la rotación papa-cebada-haba-papa. Las principales características de estos ensayos se observan en el cuadro 1.

CUADRO 1. Principales características de los ensayos realizados en dos campañas agrícolas.

Características	Ensayo 1 Período 91-94	Ensayo 2 Período 92-96
Niveles de fertilización aplicados al cultivo de cabecera (papa), en kg de N, P ₂ O ₅ y K ₂ O por ha	0-0-0 40-80-0 80-160-0 160-160-0	0-0-0 40-80-0 80-160-0 160-160-0
Dosis de cal aplicadas al cultivo de cabecera (papa) en tn de (Ca(OH) ₂).ha ⁻¹	0 10	0 2.5 5.0 10
Cultivos evaluados	Papa v. Waych'a (91-92) Cebada v. IBTA 80 (92-93) Haba v. Habilla (93-94)	Papa v. Waych'a (92-93) Cebada v. IBTA 80 (93-94) Haba v. Habilla (94-95) Papa v. Waych'a (95-96) *
Algunas características del suelo antes del establecimiento de los ensayos	pH 5.5 MO 1.7% P 19 ppm K 0.34 meq/100 g de suelo	PH 5.0 MO 2.7 % P 12 ppm K 0.48 meq/100 g de suelo

*Para el inicio del segundo ciclo de rotación (campaña 95-96), en el ensayo 2, al cultivo de papa se aplicó un nivel de fertilización de fondo (80-120-0).

El estudio fue establecido bajo un diseño de bloques completos al azar con arreglo factorial, haciendo un total de 8 tratamientos para el primer ensayo (91-94) y de 16 tratamientos para el segundo ensayo (92-96). El número de repeticiones para ambos casos fue de tres. Los tratamientos estudiados en cada ensayo resultaron de la combinación de los tres niveles de fertilización con las dosis de cal. Se realizaron análisis de suelos antes y después de cada cosecha para seis tratamientos en ambos estudios, tres niveles de fertilización (0-0-0, 40-80-0 y 160-160-0) combinados con 0 y 10 tn.ha⁻¹ de cal, dichos análisis se realizaron en el laboratorio del CIAT, Santa Cruz, Bolivia. Para cada cultivo estudiado del sistema de rotación se evaluaron las variables descritas en el cuadro 2.

CUADRO 2. Variables agronómicas evaluadas en tres cultivos del sistema de rotación.

Papa 1991-1992	Cebada 1992-1993	Haba 1993-1994
Emergencia	Plantas por m ²	Nodulación
Altura planta	Altura planta	Peso de 1000 semillas
Tallos por planta	Macollos por planta	Peso seco de follaje
Cobertura foliar	Espigas por planta	Peso seco de raíces
Rendimiento	Rendimiento	Rendimiento

Durante el segundo ciclo de rotación en el cultivo de papa se realizó el análisis foliar para los principales tratamientos: Sin fertilización y el nivel 160-60-0, ambos combinados con 10 tn.ha⁻¹ de cal y sin cal. Este análisis fue realizado en el laboratorio de suelos del Instituto Boliviano de Tecnología Agropecuaria (IBTA) de la ciudad de Tarija.

Para el análisis económico se consideró al estudio como un proyecto de mediano plazo, donde los costos de operación son los costos de producción de cualquier cultivo y los costos de inversión son los costos de fertilización y cal, además de su aplicación, los que afectan directamente el rendimiento y que finalmente determinan su elección, sobre la base de su rentabilidad. Los indicadores de rentabilidad utilizados fueron el valor actual neto (VAN) y la relación beneficio costo (RBC).

RESULTADOS Y DISCUSION

Para una mejor interpretación de los resultados, el análisis y discusión de estos se ha realizado considerando los siguientes aspectos: análisis de suelos, análisis de cultivos y análisis económico para un ciclo completo de rotación (papa-cebada-haba) y un análisis de rendimiento incluyendo un análisis foliar para el primer cultivo (papa) del segundo ciclo de rotación.

Análisis de suelos

El comportamiento de las diferentes variables evaluadas en los análisis de suelos es similar para ambos ensayos realizados, observándose diferencias en la magnitud de los incrementos debido a las dosis de cal aplicadas al suelo (Cuadros 3 y 4).

CUADRO 3. Análisis de suelos antes del establecimiento del ensayo (91-92) y después de cada cultivo para los principales tratamientos estudiados.

Campaña	1992	1993			1994			1995		
Fertilización		0			0			0		
Cal (tn.ha ⁻¹)	0.0	0.0	2.5	10.0	0.0	2.5	10.0	0.0	2.5	10.0
PH	5.0	5.1	5.8	7.3	5.3	5.8	7.3	5.0	5.4	6.5
CE dS.m ⁻¹	0.06	0.0	0.05	0.23	0.03	0.06	0.18	0.03	0.03	0.07
MO %	2.7	4	1.8	1.8	2.2	2.5	2.0	2.4	2.2	2.6
N%	0.16	1.7	0.14	0.14	0.17	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16
P ppm	12.0	0.1	13	15	18	16	20	16	12	13
K meq.100g ⁻¹	0.48	4	0.44	0.43	0.67	0.75	0.60	0.43	0.37	0.32
Ca meq.100g ⁻¹	2.10	15	4.1	11.3	1.4	2.5	6.3	1.2	2.0	4.1
Mg meq.100g ⁻¹	0.70	0.4	0.8	1.7	1.2	1.1	1.3	1.2	1.2	1.2
Al meq.100g ⁻¹	0.70	6	0.3	0	1.2	0	0	1.6	0.6	0
Acidez (H ⁺)	1.5	2.5	0.4	-	1.3	0.3	-	2.3	0.7	0.2
CICmeq.100g ⁻¹	4.4	0.7	5.9	13.6	4.7	4.8	8.3	5.2	4.4	5.9
SB (%)	79	1.1	93	100	72	94	100	56	84	97
		1.5								
		5.3								
		72								
Fertilización		160			160			0		
Cal (tn.ha ⁻¹)	0.0	0.0	2.5	10.0	0.0	2.5	10.0	0.0	2.5	10.0
PH	5.0	5.1	6.5	7.5	5.2	6.2	7.1	5.0	5.5	6.5
CE dS.m ⁻¹	0.06	0.0	0.07	0.23	0.04	0.07	0.21	0.03	0.03	0.08
MO %	2.7	5	2.0	1.8	2.2	2.0	2.4	2.2	2.6	2.0
N%	0.16	2.0	0.15	0.14	0.17	0.16	0.17	0.16	0.16	0.15
P ppm	12.0	0.1	21.0	55.0	21.0	18.0	23.0	15.0	16.0	13.0
K meq.100g ⁻¹	0.48	6	0.38	0.37	0.67	0.74	0.59	0.34	0.31	0.30
Ca meq.100g ⁻¹	2.1	40.	5.5	13.5	1.2	2.5	5.6	1.1	1.8	3.7
Mg meq.100g ⁻¹	0.7	0	0.9	1.9	1.2	1.2	1.3	1.2	1.2	1.1
Al meq.100g ⁻¹	0.7	0.4	0	0.0	1.1	0.0	0.0	1.8	0.4	0.0
Acidez (H ⁺)	1.5	1	0.2	-	1.4	0.2	-	2.2	0.6	0.2
CICmeq.100g ⁻¹	4.4	2.7	7.1	15.6	4.6	4.7	7.6	4.9	4.0	5.4
SB (%)	79	0.7	97	100	69	96	100	55	85	96
		1.2								
		1.5								
		5.4								
		72								

La aplicación de cal (Ca(OH)₂) eleva el pH de los suelos para ambos ensayos, como consecuencia de la liberación de calcio cambiante y posiblemente por la inmovilización de aluminio como hidróxido (Al(OH)₃) tal como sostienen Iriarte, R. y Quiroga, A.(1993).

Con la incorporación de cal (10 tn.ha⁻¹), el pH para los dos ensayos sube de un rango de moderadamente ácido hasta débilmente alcalino (Villaruel, J. 1988), estos valores persisten hasta el primer año, para luego descender hasta un nivel neutro, estimándose que el efecto residual se mantenga por unos años más (Figura 1 y Cuadros 3 y 4).

La adición de fertilizantes fosforados (160-160-0) eleva el nivel de fósforo en el suelo, a valores de disponibilidad altos (40 ppm) para el segundo año, para luego disminuir hasta valores cercanos al inicial (16 ppm) al tercer año (Sánchez,1981). Si al uso de fertilizantes fosforados se incluye cantidades altas de cal (10 tn.ha⁻¹), el valor del fósforo en el suelo se eleva aun más (55 ppm), esto debido a que el calcio evita la fijación del fósforo en el suelo. Sin embargo, esta alta disponibilidad al igual que en el caso del pH, disminuye hasta llegar a valores iniciales después del tercer año. Este mismo comportamiento se observó en el ensayo 1 en los tres años de evaluación (Figura 2).

CUADRO 4. Análisis de suelos antes del establecimiento del ensayo (91-92) y después de cada cultivo para los principales tratamientos.

Campaña	1991	1992		1993		1994	
Fertilización		0		0		0	
Cal (tn ha ⁻¹)		0.0	10.0	0.0	10.0	0.0	10.0
PH	5.5	5.6	7.7	4.9	6.8	5	6.8
CE dS.m ⁻¹	0.05	0.05	0.26	0.03	0.16	0.05	0.14
MO %	1.7	1.7	1.6	1.70	1.7	1.7	1.8
N%	0.11	0.12	0.12	0.11	0.11	0.11	0.12
P ppm	19.0	23.0	26.0	11.0	15.0	9.0	9.0
Ca meq.100g ⁻¹	1.5	1.6	21.6	2.0	6.4	1.2	4.9
Mg meq.100g ⁻¹	0.4	0.4	1.8	0.5	0.8	0.5	0.9
Na meq.100g ⁻¹	0.08	0.09	0.08	0.15	0.1	0.15	0.13
K meq.100g ⁻¹	0.34	0.28	0.28	0.23	0.21	0.25	0.3
CIC meq.100g ⁻¹	3.50	3.60	23.8	3.8	7.6	3.6	10.9
Al meq.100g ⁻¹	0.40	0.40	0.04	0.6	0.0	0.4	0
Acidez (H ⁺)	1.27	1.2	-	0.97	0.2	0.9	0.1
SB (%)	63	67	100	75	93	70	97
Fertilización		160		160		0	
Cal (tn ha ⁻¹)		0.0	10.0	0.0	10.0	0.0	10.0
PH	5.5	5.7	7.6	4.8	6.7	5.0	6.8
CE dS.m ⁻¹	0.05	0.06	0.27	0.03	0.15	0.05	0.16
MO %	1.7	1.9	1.7	1.7	1.7	1.7	1.8
N%	0.11	0.11	0.11	0.11	0.11	0.11	0.12
P ppm	19.0	38.0	53.0	15.0	15.0	11.0	12.0
Ca meq.100g ⁻¹	1.5	1.6	24.0	2.0	6.4	1.5	6.0
Mg meq.100g ⁻¹	0.4	0.4	1.0	0.5	0.8	0.40	0.9
Na meq.100g ⁻¹	0.08	0.09	0.08	0.12	0.09	0.15	0.16
K meq.100g ⁻¹	0.34	0.27	0.26	0.22	0.19	0.20	0.31
CIC meq.100g ⁻¹	3.50	3.6	26.1	3.8	7.6	3.7	9.0
Al meq.100g ⁻¹	0.40	0.7	0.3	0.7	0.0	0.6	0
Acidez (H ⁺)	1.27	1.2	-	1.0	0.2	0.9	0.1
SB (%)	63	67	100	73	99	70	96

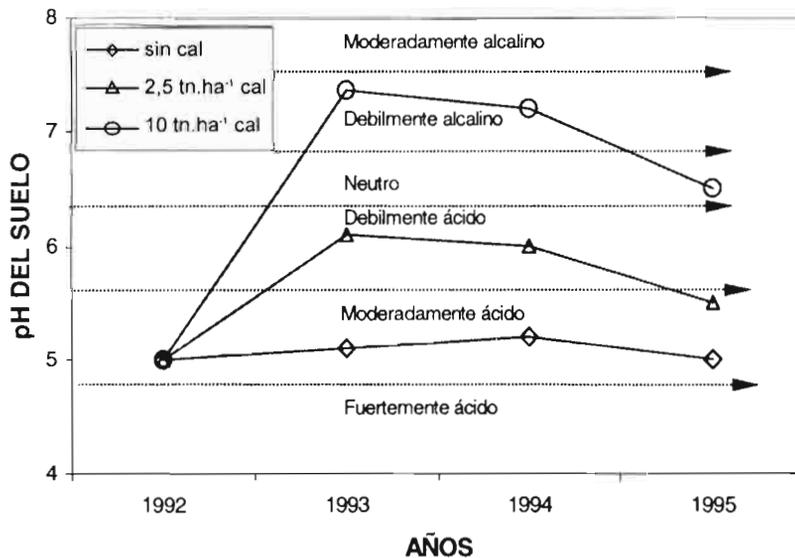


FIGURA 1. Variación de pH del suelo por efecto de diferentes dosis de cal. Toralapa, 1999.

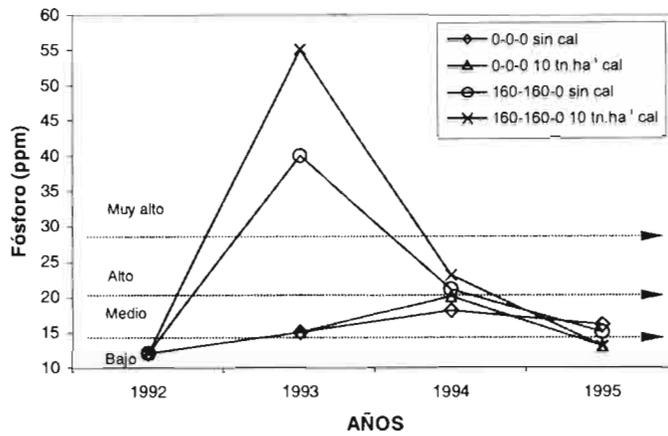


FIGURA 2. Variación del contenido de fósforo en el suelo por efecto de la aplicación de fertilizante y cal. Toralapa, 1999.

El contenido de calcio en el suelo no es modificado por la aplicación de fertilizantes para ninguno de los dos ensayos, por otra parte los valores de calcio intercambiable suben considerablemente por efecto de la adición de cal, estos valores con el tiempo disminuyen notablemente. Sin embargo, se ha detectado que al tercer año de estudio, todavía se mantienen niveles moderados de calcio con relación al tratamiento sin cal (Cuadros 3 y 4).

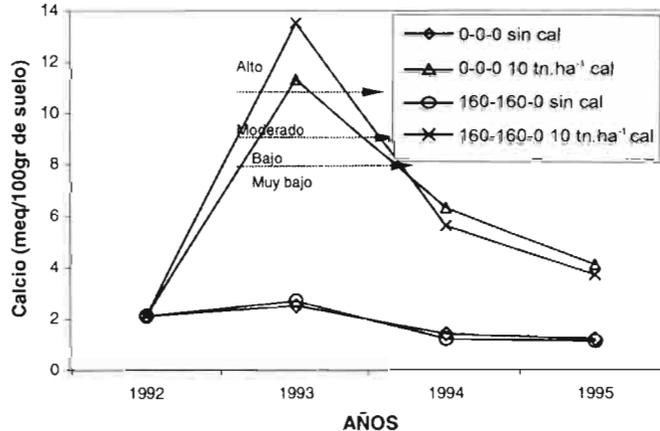


FIGURA 3. Variación del contenido de calcio en el suelo por efecto de la aplicación de cal y fertilizante. Toralapa, 1999.

El potasio, elemento considerado de alta estabilidad en suelos de textura fina y sin lixiviación (Black, 1975), tiene una respuesta similar para los tratamientos con y sin aplicación de cal (Cuadros 3 y 4), en el tercer año el potasio muestra una reducción considerable, esto demuestra el gran consumo de este macronutriente por los cultivos (Foth, 1986).

El magnesio (Cuadros 3 y 4), con la adición de cal, tiene un incremento de bajo a moderado durante el primer año, en el tercer año los valores de magnesio tienden a estabilizarse.

La capacidad de intercambio catiónico (CIC), cuyos valores se observan en la figura 4, no presenta cambios por efecto de la fertilización y su efecto residual. Sin embargo, la adición de cal (10 tn.ha⁻¹) eleva significativamente los valores de la CIC (Villaruel, J. 1988), esta respuesta es perceptible durante el primer año de aplicación de cal, posteriormente existe tendencia decreciente hasta llegar a los valores originales para el tercer año, la misma tendencia se observaron en el ensayo 1.

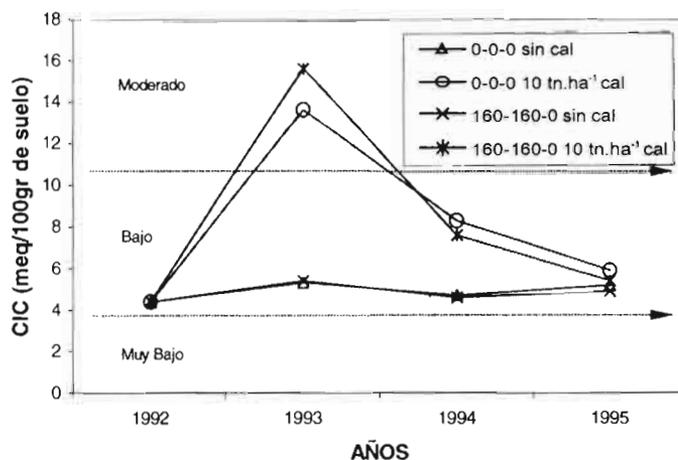


FIGURA 4. Variación de la capacidad de intercambio catiónico en el suelo por efecto de la aplicación de fertilizante y cal. Toralapa, 1999.

Análisis de cultivos

Para ambos ensayos realizados, el rendimiento total de tubérculos solamente es modificado por la aplicación de fertilizantes minerales y no así por la aplicación de cal. Aparentemente existe un efecto positivo de la cal hasta una dosis de 5 tn.ha^{-1} , aunque este no es significativo. La dosis de 10 tn.ha^{-1} combinada con niveles altos de fertilización (160-160-0) parece tener un efecto negativo en el rendimiento que puede deberse a un desbalance nitrógeno fósforo, bajo estas condiciones (Sánchez, 1981).

Se observó que con niveles elevados de fósforo (160 kg.ha^{-1} de P_2O_5) se incrementa significativamente los rendimientos con relación a los niveles bajos (80 kg.ha^{-1} de P_2O_5) (Fertisuelos-FAO, 1996), también se observó que la adición de nitrógeno de 80 a 160 kg.ha^{-1} en combinación con 160 kg.ha^{-1} de P_2O_5 no muestra incrementos significativos sobre el rendimiento, confirmando que el fósforo es el mayor responsable de los incrementos en el rendimiento de este cultivo.

El efecto residual de la fertilización después de un año de aplicación, todavía tiene una notable influencia sobre el rendimiento en grano (Tisdale y Nelson, 1988), también se presentó un ligero incremento, aunque este no es significativo, debido al nitrógeno residual del nivel más alto de fertilización (160-160-0), confirmando el papel del nitrógeno en el macollamiento, número de granos por espiga y el peso de grano, variables que se expresan en el rendimiento (Gross, 1986).

Los rendimientos tuvieron incrementos significativos a las dosis de cal aplicadas en el cultivo de cabecera, es así que los mayores rendimientos en grano se presentan también con las dosis más altas de cal. Estas respuestas pueden ser explicadas por los siguientes aspectos:

La adición de cal al suelo incrementó la cantidad de calcio disponible (Figura 3) y el pH del suelo (Figura 1). El incremento del pH tiene un efecto directo sobre la disponibilidad de fósforo por la sustitución de elementos acidificantes (aluminio y hierro) por bases cambiables (calcio, magnesio y potasio).

La mayor disponibilidad de elementos como el calcio y fósforo a consecuencia del encalado, son determinantes para el desarrollo radicular (Iriarte y Quiroga, 1993), incrementando la superficie de contacto entre el suelo y la raíz, que favorece la asimilación de estos y otros nutrientes (Tisdale y Nelson, 1988), traduciéndose en respuestas favorables para el desarrollo y rendimiento del cultivo de cebada. Los resultados expuestos son similares para los dos ensayos realizados.

Al igual que en los casos anteriores se estudio el efecto residual en el cultivo de haba como tercer cultivo de rotación, después de dos años de aplicación de fertilizante mineral y cal, determinándose que el rendimiento en grano y el resto de las variables evaluadas no fueron afectadas por los residuos

de la fertilización mineral, hecho que se asocia a la baja disponibilidad de nutrientes en el suelo (P, K y Mg) al cabo de los tres años de experimentación.

Sin embargo, se observó que hubo un efecto de la cal residual, esto nos permite concluir que después de dos años de aplicación de esta enmienda todavía se logran incrementos favorables respecto al tratamiento sin cal. Puede deberse a que la cal provoca un incremento en el pH del suelo, de ácido a neutro, proporcionando a la vez el suficiente calcio para satisfacer la elevada demanda de este cultivo (Diehl y Mateo Box, 1973).

El desarrollo de las bacterias nitrificadoras es óptimo en condiciones de neutralidad (Alexander, 1988 y Villarroel, 1988), su actividad provee el suficiente nitrógeno al cultivo para la producción de biomasa y rendimiento en grano. Es importante remarcar que el rendimiento de haba en grano es principalmente producto de la traslocación de fotosintatos producidos por la biomasa, esta a su vez es producto de una mayor disponibilidad de nitrógeno a partir de la fijación biológica, cuya actividad es favorecida en suelos de reacción neutra o enmendados con cal. Los resultados expuestos son similares para los dos ensayos realizados.

En cuarto año de investigación se vio que el rendimiento del cultivo de papa fue afectado en forma negativa por el efecto residual de las dosis elevadas de cal con resultados altamente significativos para las dosis de $10 \text{ tn}\cdot\text{ha}^{-1}$ de cal, frente a los residuos de dosis bajas (2.5 y $5 \text{ tn}\cdot\text{ha}^{-1}$) y al testigo sin aplicación. Para identificar las causas de los resultados obtenidos se realizó un análisis foliar para este cultivo (Figura 5A) se observó una deficiencia de los elementos potasio y magnesio, agudizada por el efecto residual de la adición de cal, observándose síntomas de deficiencia de estos elementos en el follaje de este cultivo, lo que pudo haber sido provocado por la sustitución del K y Mg por el calcio aplicado con la cal (Tisdale, y Nelson, 1988). Los mismos análisis (figura 5B) mostraron que la aplicación de cal incrementa el contenido de fósforo en la planta.

Análisis económico

El análisis económico del presente estudio de investigación, se realizó con base en la evaluación financiera de los diferentes tratamientos probados, mediante el cual se pretende comparar si el aumento en el ingreso es suficiente para compensar los gastos que significan de cada tratamiento (Blajos y Quiroga, 1995). Esta metodología se adecua para medir la rentabilidad de paquetes tecnológicos que involucran todo un sistema de cultivos y en los cuales el factor tiempo es un elemento importante.

En el cuadro 5 se presentan los costos de inversión (fertilización y aplicación de cal), lo beneficios netos para cada cultivo del ciclo de rotación (papa-cebada-haba) y los indicadores de rentabilidad para cada tratamiento en estudio que fueron elaborados basándose en los datos del ensayo 2, abarcando los períodos agrícolas de las campañas 92-93, 93-94 y 94-95.

De acuerdo al ordenamiento del VAN (Cuadro 5), los mayores beneficios actualizados son alcanzados por los tratamientos que incluyen niveles altos de fertilización ($160-160-0$) con dosis bajas ($2.5 \text{ tn}\cdot\text{ha}^{-1}$) de cal, cuyos valores son de 17,345 y 15,791 Bs. ha^{-1} respectivamente.

En estos tratamientos se observa que los cultivos de papa y haba son los más importantes económicamente, debido a que la papa responde favorablemente a niveles altos de fertilización mineral y el haba a la aplicación de cal en dosis bajas, dosis mayores a $5 \text{ tn}\cdot\text{ha}^{-1}$ reducen los beneficios debido al costo elevado de la cal.

Desde el punto de vista de la relación beneficio-costos (Cuadro 5), todos los tratamientos se consideran rentables, ya que los valores calculados son superiores a la unidad. Sin embargo, de manera similar que el VAN el tratamiento 15 ($160-160-0+2.5 \text{ tn}\cdot\text{ha}^{-1}$ de cal), muestra la mayor relación beneficio-costos, con un valor de 3.17, esto implica que por cada boliviano invertido existe un beneficio de 3.17 Bs.

En el ensayo 1 los resultados fueron similares, encontrándose como los mejores tratamientos los niveles altos de fertilización combinados con la aplicación de dosis bajas de cal.

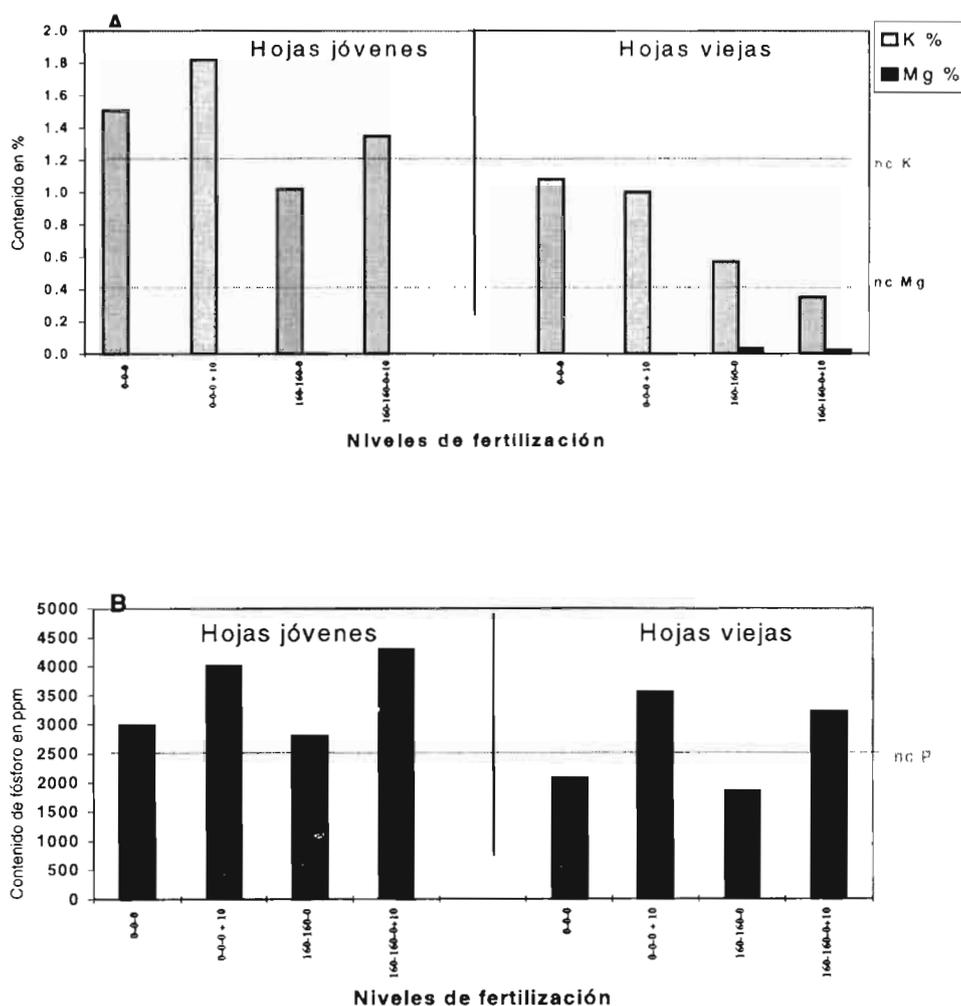


FIGURA 5. Análisis foliar para el cultivo de papa, A. Deficiencia de potasio y magnesio agudizados por la adición de cal, B La cal incrementa los contenidos de fósforo en la planta. Toralapa, 1999.

CUADRO 5. Costos de inversión, beneficios netos por cultivos e índices de rentabilidad correspondientes a la aplicación de fertilizante mineral y cal, al inicio del sistema de rotación, Toralapa, 1999.

N°	Tratamiento		Costo Inversión	Beneficios netos			Índices Rentabilidad	
	Fertilizante	Cal tn.ha ⁻¹		Papa	Cebada	Haba	VAN (Bs. ha ⁻¹)	RBC
1	0-0-0	0	0	-1282.1	-271.0	5712	2522	1.43
2	0-0-0	2.5	745	-2125.9	-146.0	8592	3077	1.47
3	0-0-0	5.0	1475	4556.1	221.0	8952	8734	2.19
4	0-0-0	10.0	2905	1115.1	379.4	8332	3988	1.46
5	40-80-0	0	591	4604.6	-221.0	5652	7093	2.10
6	40-80-0	2.5	1336	3359.9	-12.5	9752	8184	2.14
7	40-80-0	5.0	2066	5096.1	554.6	8632	8657	2.09
8	40-80-0	10.0	3496	8555.1	854.8	8832	10628	2.14
9	80-160-0	0	1135	9608.4	-363.0	6392	11329	2.62
10	80-160-0	2.5	1880	8157.0	287.7	10172	12362	2.60
11	80-160-0	5.0	2610	9852.2	479.5	10072	13200	2.56
12	80-160-0	10.0	4040	14823.7	796.4	8452	15281	2.55
13	160-160-0	0	1424	12757.0	-188.0	5852	13572	2.87
14	160-160-0	2.5	2169	14933.2	204.3	9272	17346	3.17
15	160-160-0	5.0	2899	12747.5	746.4	10272	15791	2.81
16	160-160-0	10.0	4329	8522.7	1330.0	10052	10955	2.08

CONCLUSIONES

- Dentro del ciclo de rotación de cultivos (papa-cebada-haba) la fertilización aplicada al cultivo de cabecera tiene efecto durante los dos primeros años, traduciéndose en un mayor rendimiento de los cultivos de papa y cebada.
- Tres años después de la aplicación de fertilizante no existe efecto residual aparente en el cultivo de haba.
- Durante el primer año de estudio no existe efecto significativo de la cal en ninguna de las variables evaluadas en el cultivo de papa como cabecera de rotación.
- El rendimiento del cultivo de cebada incrementa significativa y proporcionalmente con las dosis de cal aplicadas al cultivo de cabecera.
- El cultivo de haba responde positivamente a la aplicación de cal después de tres años, independientemente de las dosis empleadas.
- El cultivo de papa como inicio de un nuevo ciclo de rotación, es afectado negativamente por las dosis altas de cal ($10 \text{ tn}\cdot\text{ha}^{-1}$).
- La aplicación de cal eleva el pH a valores próximos a la neutralidad, manteniéndose hasta el tercer año de su aplicación.
- La adición de cal incrementa la CIC y la disponibilidad de Ca después del primer año de su aplicación, reduciéndose a valores próximos al inicial en el tercer año del ciclo de rotación.
- La cal tiene un efecto favorable en la disponibilidad de fósforo, siendo esta aún mayor cuando se combina con fertilizante fosforado.
- La aplicación de cal baja notablemente el contenido de aluminio intercambiable hasta valores próximos a cero.
- Dosis altas de cal ($10 \text{ tn}\cdot\text{ha}^{-1}$) provocan una deficiencia de K y Mg después de cuatro años de su aplicación.
- De modo general, dentro del ciclo de rotación, el análisis económico muestra que combinaciones de niveles elevados de fertilización (160-160-0) con dosis bajas de cal ($2.5 \text{ tn}\cdot\text{ha}^{-1}$) son las más rentables.

BIBLIOGRAFIA

- Alexander, J. M. , 1988. Nitrogen fixation and crops. Inglaterra, Ed. Cambridge, Tomo II.
- Black, C. A., 1975. Relaciones suelo-planta, Trad. Armando Rabuffetti. Buenos Aires, Argentina, Editorial Hemisferio Sur, pp 300-383
- Blajos J. y Quiroga, J., 1995. Revisión de métodos para el análisis económico en el cultivo de papa. Cochabamba, Bolivia, Documento de trabajo 9/95 PROINPA.
- Comité Interinstitucional de Desarrollo de Tiraque (CIDETI), 1994. Diagnóstico socioeconómico de la microregión Tiraque. Cochabamba, Bolivia, Volumen 2 – Economía, pp. 8-12.
- Diehl, R. y Mateo Box, J., 1973. Fitotecnia General. Madrid, España, Ediciones Mundi Prensa.
- Fertisuelos-FAO., 1996. Manejo de suelos y nutrición vegetal en sistemas de cultivos. Cochabamba, Bolivia, Miradas, 35pp.
- Foth, H. D., 1986. Fundamentos de la ciencia del suelo. México DF, Editorial CECOSA, pp 229-236.
- Gross, A., 1986. Abonos. Guía practica de la fertilización. 7ma edición. Madrid, España, Editorial Mundi Prensa, pp 234-243.
- Iriarte, E. y Aranibar, M., 1977. Clasificación taxonómica y capacidad de uso de tierras productoras de papa. Departamento de suelos del M.A.C.A. Cochabamba, Bolivia.
- Iriarte, R. y Quiroga, A., 1993. Uso de la cal y dolomita en suelos del Chapare. Cochabamba, Bolivia, pp 15-50.

Sánchez, P. A., 1981. Suelos del trópico, características y manejo. Traducción por Eriberto Camacho. San José, Costa Rica, IICA, pp 226-254.

Tisdale, S. y Nelson, W. L., 1988 Fertilidad de los suelos y fertilizantes. Traducción por Jorge Balash y Carmen Piña. Barcelona, España, Editorial Montanery Simon S.

Villarroel, J., 1988. Manual práctico para la interpretación de análisis de suelos en laboratorio. Barcelona, España, AGRUCO, serie técnica N° 10, 34pp.

La asociación del cultivo de papa con leguminosas como una alternativa para mejorar la eficiencia de la tierra en sistemas andinos

P. Mamani¹, R. Botello¹ y N. Arnez¹

1 Fundación PROINPA. Casilla 4285. Cochabamba, Bolivia. Email: pmamani@proinpa.org

RESUMEN

Durante la campaña 1996-97 en la Estación Experimental Toralapa, Cochabamba, Bolivia, ubicada a 3430 msnm, se determinó el efecto de la asociación de papa con haba y papa con arveja en surcos alternos y sobre el mismo surco, en relación a la forma tradicional de producción en cultivos puros, en el crecimiento y rendimiento de los cultivos, el uso equivalente de la tierra y el beneficio económico.

La asociación sobre el mismo surco permite un incremento de la altura de planta de los cultivos asociados, pero no así de la cobertura foliar del haba y la arveja por la baja capacidad de competencia por espacio con el cultivo de papa. El cultivo de papa incrementa su cobertura foliar cuando se asocia en surcos alternos, ya sea con haba o con arveja, cultivos que le permiten ocupar mayor espacio. Ambas formas de asociación de cultivos logran incrementar significativamente el Índice de Área Foliar y el rendimiento del cultivo de papa, respecto al cultivo puro. De acuerdo al Índice de Uso equivalente de la Tierra, se determinó que para lograr en un cultivo puro el mismo rendimiento que en los asociados (papa con haba en el mismo surco, papa con haba en surcos alternos y papa con arveja en surcos alternos) se requiere incrementar la superficie de producción en los cultivos puros en 0.12 ha (1200 m²), 0.15 ha (1500 m²) y 0.22 ha (2200 m²) respectivamente. Es por esto que los cultivos asociados permiten mayores ingresos económicos que los cultivos puros.

INTRODUCCION

En ciertas zonas del altiplano y de los valles la presión demográfica conduce al minifundio y a la utilización de terrenos marginales con pendientes altas, en algunos casos mayores al cien por cien, cuya explotación produce graves consecuencias ecológicas (Fertisuelos, 1995). Estudios realizados por Thiele et al. (1996) en las zonas andinas de Cochabamba, Bolivia, muestran que el minifundio obliga a los agricultores a practicar el monocultivo de papa.

En estas regiones andinas, la gran demanda de papa induce a la práctica de una agricultura cada vez más relacionada al mercado, donde la extracción de nutrientes por el cultivo de papa difícilmente se logra restituir, por consiguiente su cultivo contribuye a incrementar la pobreza del suelo.

La asociación de cultivos, una modalidad de cultivo múltiple, permite maximizar la productividad del suelo por unidad de área (Trenbarh, 1976). Augstburger (1985) señala que la finalidad de esta práctica es lograr un uso eficiente del recurso suelo en zonas donde existe minifundio. La asociación genera una masa radicular más densa, una mayor cobertura para mejorar el aprovechamiento de la luz, agua y nutrientes, lo que evita la erosión de los suelos, manteniendo su fertilidad natural, además reduce la incidencia de plagas, sequía, inundaciones y granizo, otorgando una mayor seguridad en la producción y una mayor diversificación en la dieta.

Según PROINPA (1998), en los sistemas de producción de los valles interandinos de Cochabamba, Bolivia, los cultivos de papa, cebada y haba tradicionalmente se siembra en un mismo año con el fin de diversificar la producción y reducir los riesgos. La siembra de dichos productos se realiza en forma de "cultivos puros", existiendo poca experiencia en "cultivos asociados", cuyas ventajas en otros sistemas de producción son conocidas.

Este trabajo busca identificar a una leguminosa que acompañe al cultivo de papa en asociación y también determinar cuál es el diseño de siembra que ofrece mayores ventajas para la conservación del suelo y el comportamiento agroeconómico del cultivo.

MATERIALES Y METODOS

La investigación se llevó a cabo en la gestión agrícola 1996-97, en la Estación Experimental Toralapa, en la provincia Tiraque del departamento de Cochabamba, Bolivia, a una altitud de 3430 msnm, coordenadas geográficas de 17°31' de latitud sur y los 65°40' de longitud oeste. La zona se caracteriza por una precipitación media anual de 530 mm y una temperatura media anual de 11°C. Los cultivos estudiados fueron papa variedad Waych'a (*Solanum tuberosum ssp andigena*), haba (*Vicia faba*) variedad Pairumani 1 y arveja (*Pisum sativum*) variedad Lincoln. El diseño utilizado fue el de bloques completos al azar con siete tratamientos y cuatro repeticiones. Los tratamientos estudiados (Figura 1) fueron dos formas de asociación de papa con haba y papa con arveja se compararon con cultivos puros.

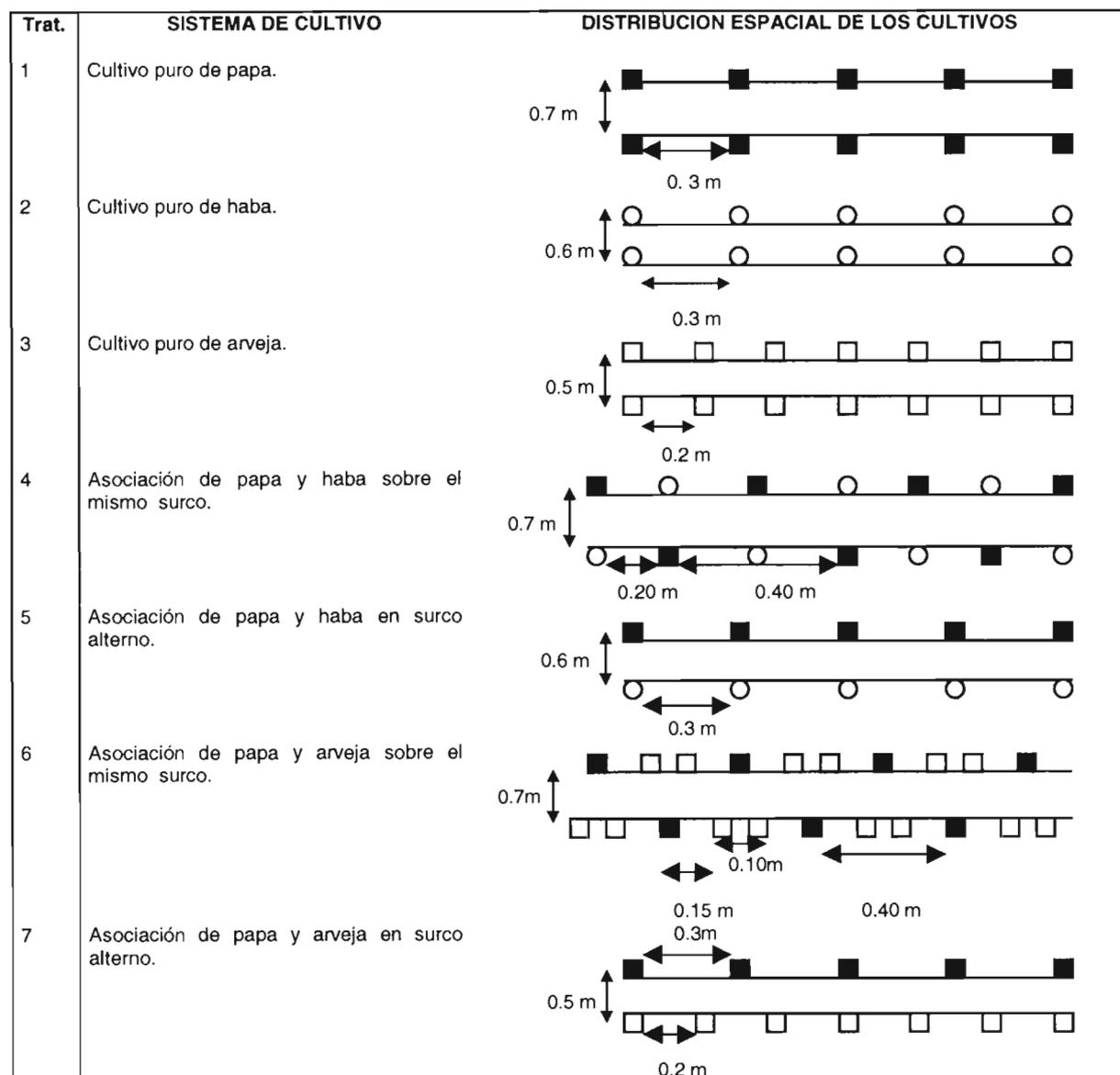


FIGURA 1. Tratamientos y su distribución espacial según el cultivo y la distancia de siembra.

La siembra se realizó el 7 de noviembre de 1996, en el fondo del surco en el caso de los cultivos papa y haba, y en la "costilla" de los surcos en el caso del cultivo de arveja. Para la siembra de haba y de arveja se utilizaron tres y cinco semillas por golpe respectivamente. La distancia de siembra de los cultivos puros y de las asociaciones se muestra en la figura 1.

La fertilización química y orgánica se realizó en la siembra en surcos abiertos en la forma tradicional de la zona andina. Para la fertilización en los tratamientos de cultivo de papa puro, asociación haba o arveja con papa en el mismo surco y en los surcos de papa en surcos alternos, se aplicó 200 kg.ha⁻¹ del fertilizante fosfato diamónico (18-46-0) y 100 kg de urea (46 %) que corresponden a 80-90-0 kg.ha⁻¹ de N-P₂O₅-K₂O, complementado con 5 tn.ha⁻¹ de estiércol ovino. En los cultivos puros de haba y arveja y en los surcos de estos mismos cultivos asociados con papa en surcos alternos, se utilizó el nivel de fertilización mineral 18-46-0 correspondiente a 100 kg.ha⁻¹ del fertilizante fosfato diamónico (18-46-0). Los cultivos de haba y arveja no recibieron estiércol ovino, salvo cuando estaban asociados con papa sobre el mismo surco.

El desmalezado se realizó en forma manual a los 21 y 28 días después de la siembra en todos los tratamientos. El aporque se realizó a los 60 y 70 días después de la siembra en los cultivos puros de papa y haba respectivamente y en los surcos de los asociados donde estos cultivos estaban presentes; en el cultivo puro de arveja y en los surcos de las parcelas donde se asoció con papa en surcos alternos, sólo se realizó una carpida.

Para el control químico de enfermedades se utilizaron fungicidas sistémicos y de contacto según el cultivo. Se previno el ataque de tizón tardío (*Phytophthora infestans*) en el cultivo de papa, la mancha chocolatada (*Botrytis favae*) en el cultivo de haba y antracnosis (*Colletotrichum pisi*) en el cultivo de arveja. En el cultivo asociado en surcos alternos la aplicación del fungicida se realizó en forma separada para cada cultivo y en el cultivo asociado sobre surco la aplicación se realizó indistintamente para cada cultivo, dando prioridad al cultivo de papa.

Las variables estudiadas fueron: porcentaje de emergencia, altura de planta, cobertura foliar, número de tallos, índice de cosecha, índice de área foliar, rendimiento por calibre para papa y rendimiento en vaina verde para las leguminosas. Para cuantificar la eficiencia de uso del recurso suelo en sistemas de cultivo asociados se determinó el Uso Equivalente de la Tierra (UET) mediante la siguiente relación:

$$UET = \frac{\sum_{i=1}^n (Y^a_i / Y^b_i)}$$

donde:

Y^a_i = Rendimiento del cultivo i en asociación

Y^b_i = Rendimiento del cultivo i en cultivo puro

n = Número total de cultivos en asociación

El análisis económico se determinó mediante el cálculo de la relación beneficio/costo (Quiroga y Blajos, 1995).

Para lograr una comparación real de resultados, se agruparán los tratamientos de cultivos puros de manera que puedan ser comparados con sus similares pero en asociación, de la siguiente manera: a) cultivo puro de papa (tratamiento 1) con el cultivo puro de haba (tratamiento 2) y b) cultivo puro de papa (tratamiento 1) con el cultivo puro de arveja (tratamiento 3).

RESULTADOS

Porcentaje de emergencia

Ninguna de las formas de asociación afectó la emergencia del cultivo de papa. En el cultivo de haba asociado con papa en el mismo surco, se evidenció una reducción del 15 % de emergencia en relación al cultivo de haba puro, este efecto es probable que se deba al volumen de tierra necesaria para cubrir la semilla de papa al momento de la siembra, que fue mayor al normalmente usado para la semilla del cultivo de haba. La emergencia del cultivo de arveja no fue afectada por ninguna de las formas de asociación con papa.

Altura de planta

La asociación sobre el mismo surco permite un incremento de la altura de planta en ambos cultivos, papa y haba y papa y arveja. En la primera asociación el cultivo de papa incrementa la altura de planta en un 14 % respecto a la altura alcanzada en cultivo puro y el cultivo de haba incrementa en un 18 % la altura de planta respecto de su cultivo puro. En la segunda asociación, el cultivo de arveja incrementa la altura de planta en un 50 % respecto de su cultivo puro y el cultivo de papa un 10 % respecto de su cultivo puro. El incremento de altura del cultivo de la papa en asociación con arveja podría deberse a un mejor aprovechamiento de la luz por las leguminosas y estas a su vez incrementan su altura por la competencia por luz con el cultivo de papa. Al respecto Vandermeer

(1992) señala que el sombreado favorece la formación de auxinas en las plantas. El mayor incremento de altura planta del cultivo de arveja en este tipo de asociación también se puede deber a que el cultivo de papa protege del daño por *Colletotrichum pisi* (antracnosis).

Cobertura foliar

Si bien la altura de planta del cultivo de papa se incrementa por efecto de su asociación sobre el mismo surco con haba o arveja, no ocurre lo mismo con su cobertura foliar la cual se mantiene igual a la del cultivo puro. La cobertura foliar del haba o arveja en asociación con papa, disminuye en relación a los cultivos puros, dichos cultivos son afectados por la baja capacidad de competencia por espacio. Por otra parte, se pudo determinar que existe un incremento de la cobertura foliar del cultivo de papa cuando se asocia con haba o con arveja en surcos alternos en un 11% y 26% respectivamente, sin afectar la cobertura foliar de estas leguminosas. Las plantas de papa, en este sistema de asociación, disponen de mayor espacio respecto de una planta de papa en cultivo puro (Figura 1). El mayor espacio se atribuye al crecimiento erecto de las plantas de haba con un follaje poco expandido respecto al del cultivo de papa y al crecimiento débil de las plantas de arveja, aspecto que es favorece al cultivo de papa.

Número de tallos

No se pudo demostrar que las formas de asociación de cultivos que se estudiaron afecten el número de tallos y/o macollos en los cultivos de papa, haba y arveja.

Índice de área foliar (IAF)

Como se aprecia en la figura 2, las dos formas de asociación de cultivos logran incrementar significativamente el IAF del cultivo de papa y no así el IAF de los otros cultivos. El IAF de la papa, cuando se asocia en el mismo surco con haba o arveja, es mayor estadísticamente que cuando se asocia con uno de estos mismos cultivos en surcos alternos. Haciendo una comparación con la cobertura foliar de la papa, que no es afectada cuando se asocia en el mismo surco con arveja, se puede señalar que en este tipo de asociación la cobertura foliar no representa un parámetro confiable porque parte del área foliar de un cultivo esta sobrepuesta por el área foliar del otro cultivo que le acompaña en la asociación sobre el mismo surco.

Índice de cosecha (IC)

No se pudo demostrar que las formas de asociación de cultivos que se estudiaron, afecten la partición de materia seca en los cultivos de papa, haba y arveja. En general la partición de materia seca en la papa, el haba y la arveja fue de 0.62, 0.35 y 0.21 respectivamente, esto significa que el 62%, 35% y 21% de los fotosintatos se acumulan en los tubérculos de papa, en los granos de haba y en los granos de arveja y los restantes 38%, 65% y 79% en el follaje y raíces.

Si se relaciona el IC con el IAF del cultivo de papa (Figura 2), que se incrementa en ambas formas de asociación, se puede señalar que a un incremento del IAF se debe a un incremento de la materia seca del follaje que incide en un incremento de la materia seca de los tubérculos de este cultivo, razón por la cual el IC no cambia cuando se asocia papa con otro cultivo respecto al cultivo puro.

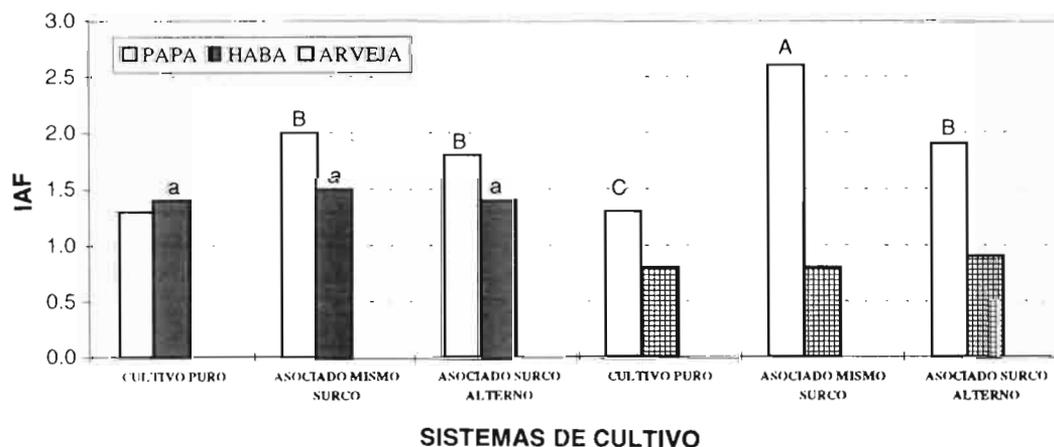


FIGURA 2. Índice de Área Foliar (IAF) de los cultivos papa, haba y arveja por efecto de dos formas de asociación. Toralapa, 1996 - 97.

Rendimiento

En las dos formas de asociación estudiadas, se observa un incremento significativo del rendimiento del cultivo de papa respecto al cultivo puro (Figura 3). Comparando la asociación sobre el mismo surco y la asociación en surco alterno, se observa el mayor rendimiento del cultivo de papa cuando este se asocia con haba o arveja sobre el mismo surco, aunque no se observan diferencias estadísticamente significativas. El mayor rendimiento del cultivo de papa en asociación, en siembra sobre el mismo surco, esta relacionado con la posibilidad de que este cultivo logre desarrollar una mayor altura de planta y presente un mayor índice de área foliar en relación a su cultivo puro. En la asociación sembrada en surcos alternos, el cultivo de papa incrementa tanto su cobertura foliar como su índice de área foliar, respecto a su cultivo puro. Al respecto, Augstburger (1985) señala que por su gran desarrollo radicular, las leguminosas tiene un efecto benéfico al elevar los elementos nutritivos de estratos profundos hacia la capa arable y solubilizan el fósforo para su aprovechamiento por las plantas vecinas.

El incremento del rendimiento del cultivo de arveja en asociación con papa sobre el mismo surco (Figura 3), se puede atribuir al incremento de altura de plantas y la buena sanidad, producto de la protección por el cultivo de papa del ataque de *Colletotrichum pisi* (antracnosis), que redujo la severidad del ataque en un 50% respecto de su cultivo puro. No se pudo demostrar que la asociación de cultivos afecte el rendimiento del cultivo de haba.

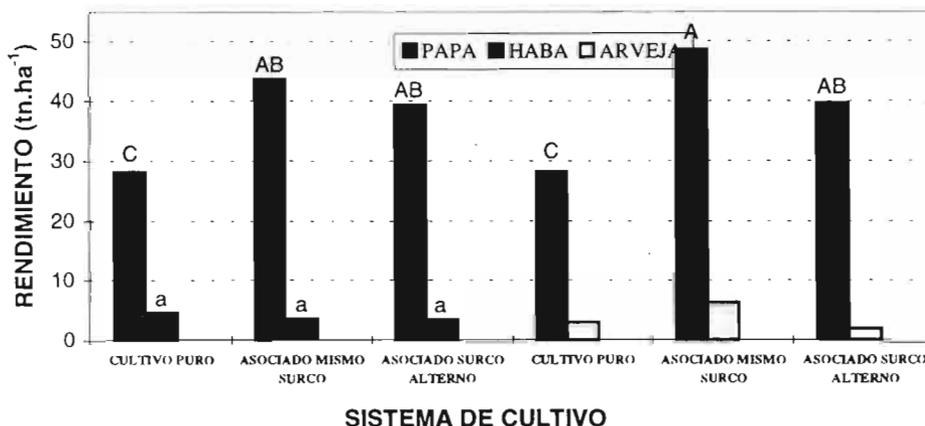


FIGURA 3. Rendimiento de los cultivos papa, haba y arveja por efecto de dos formas de asociación. Toralapa, 1996-97.

Uso Equivalente de la Tierra (UET)

La asociación de papa con arveja sobre el mismo surco permitió un uso equivalente de la tierra (UET) mas alto (2.3) respecto a los otros sistemas de asociación (Figura 4), debido a que el cultivo puro de arveja fue afectado por el ataque de la enfermedad Antracnosis (*Colletotrichum pisi*) y no así cuando se asoció con papa sobre el mismo surco, aspecto que determinó bajos y altos rendimientos respectivamente, dando valores altos para el UET en esta asociación. La diferencia del UET para las otras formas de asociación no fue tan grande, variando de 1.12, 1.15 a 1.22 para la asociación en surco alterno de papa y arveja, asociación en surco alterno de papa y haba y para la asociación en el mismo surco de papa y haba respectivamente. Estos resultados significan que para lograr en un cultivo puro el mismo rendimiento que en el asociado se requiere incrementar la superficie de producción en cultivo puro en 0.12 ha (1200 m²), 0.15 ha (1500 m²) y 0.22 ha (2200 m²) respectivamente.

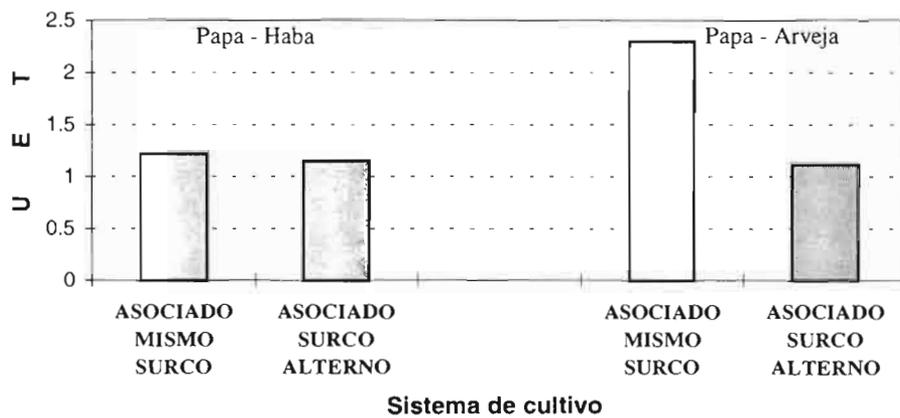


FIGURA 4. Uso Equivalente de la Tierra (UET) por efecto de dos formas de asociación de papa con haba y papa con arveja. Toralapa, 1996 - 97.

Análisis económico

Como se aprecia en la figura 5, los cultivos puros de papa y haba y de papa y arveja ofrecen un menor beneficio neto y un mayor costo de producción respecto de los cultivos asociados. Si bien las asociaciones sobre el mismo surco de papa con haba y papa con arveja establecen los mayores beneficios netos con menores costos de producción, es necesario considerar las dificultades de manejo que implica este sistema de asociación en la siembra, la aplicación de productos fitosanitarios, la cosecha, etc., aspecto que es necesario validar con los agricultores. Por tanto, el sistema de asociación en surcos alternos podría constituir una alternativa económicamente favorable y técnicamente aceptable.

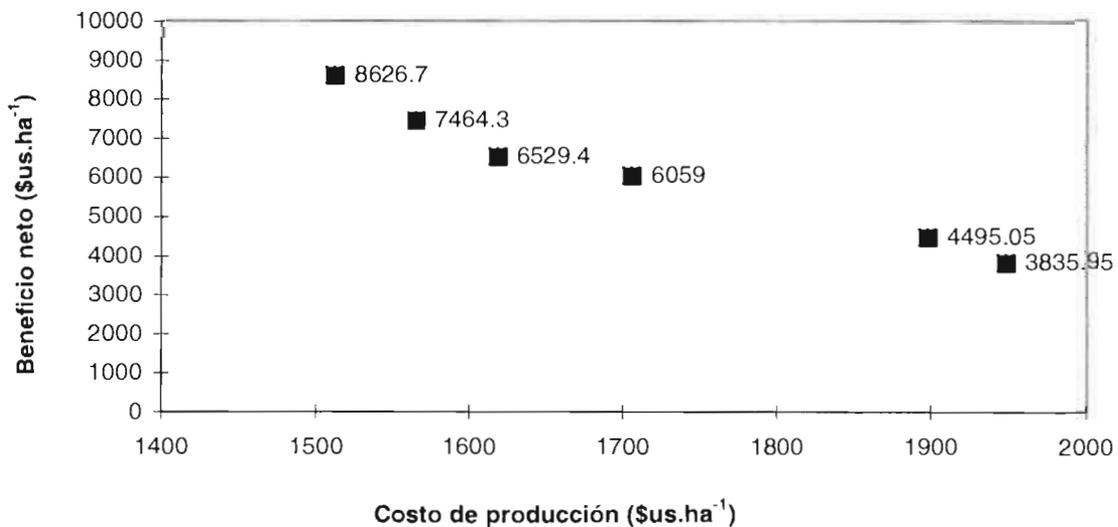


FIGURA 5. Relación entre el beneficio neto y el costo de producción para dos formas de asociación de papa con haba y papa con arveja respecto a los cultivos puros. Toralapa, 1996 - 97. Se obtuvo un beneficio neto de 8626.7 \$us.ha⁻¹ con la asociación papa+arveja mismo surco. 7464.3 \$us.ha⁻¹ con la asociación papa+haba mismo surco. 6529.4 \$us.ha⁻¹ con asociación papa+haba surco alterno. 6059 \$us.ha⁻¹ con la asociación papa+arveja surco alterno. 4495.05 \$us.ha⁻¹ con el cultivo puro de papa+haba y 3835.95 \$us.ha⁻¹ con el cultivo puro de papa+arveja.

CONCLUSIONES

- La asociación sobre el mismo surco permite un incremento de la altura de planta de los cultivos asociados, pero no así de la cobertura foliar del haba y la arveja por la baja capacidad de competencia por espacio con el cultivo de papa.
- El cultivo de papa incrementa su cobertura foliar cuando se asocia en surcos alternos, ya sea con haba o con arveja, cultivos que le permiten mayor espacio para su desarrollo.
- Ambas formas de asociación de cultivos logran incrementar significativamente el índice de área foliar y el rendimiento del cultivo de papa, respecto al cultivo puro.
- De acuerdo al índice de uso equivalente de la tierra, se determinó que para lograr en un cultivo puro la misma producción que en los cultivos asociados de papa con haba en el mismo surco, papa con haba en surcos alternos y papa con arveja en surcos alternos, se requiere incrementar la superficie de producción en los cultivos puros en 0.12 ha (1200 m²), 0.15 ha (1500 m²) y 0.22 ha (2200 m²) respectivamente.
- Los cultivos asociados permiten mayores ingresos económicos respecto a los cultivos puros.

BIBLIOGRAFIA

Augstburger, F., 1985. Cultivos asociados en climas templados y fríos de Bolivia. En *Agrobiología en valles y zonas andinas de Cochabamba, Bolivia*. Augstburger, F.(ed.). Cochabamba, Bolivia, Proyecto Agrobiología Cochabamba, PAC, pp. 119 - 146.

Fertisuelos - FAO., 1995. Manejo de suelos y nutrición vegetal en sistemas de cultivos. Cochabamba, Bolivia. Miradas, Documento de campo No 16, 20 pp.

PROINPA, 1998. Informe compendio del programa de investigación de la papa. Cochabamba, Bolivia, 62 pp.

Quiroga, J. y Blajos, J. , 1995. Revisión de métodos para el análisis económico en papa. Cochabamba, Bolivia, Departamento de Ciencias Sociales, Programa de Investigación de la Papa, Doc. 3/95.

Thiele, G. y Terrazas, F., 1996. Los Wayk"os (cárcavas) nos están comiendo todo. El saber campesino y la conservación del suelo. Cochabamba, Bolivia, Informe Anual, 95-96 PROINPA, pp 19 –21.

Trenbarh, B. 1976. Plant interactions in mixed crop communities. En *Multiple cropping*. Pependick, R., Sanches, A. y Triplett, G. (eds). Madison, WI, EE.UU., American society of Agronomy, Special Publication Number 27, pp 129 - 170.

Vandermeer, J., 1992. *The ecology of intercropping*. Cambridge, Great Britain, Cambridge University Press, pp. 1-64.

Efectos del pasto falaris (*Phalaris tuberoarundinacea*) como barrera viva en el control de la erosión en suelos de ladera

Tatiana Espinoza B.¹

1 Proyecto Laderas. Facultad de Agronomía. Universidad Mayor San Simón. Av. Petrolera, km 5. Teléfono 238146. Cochabamba, Bolivia. email: prolader@pino.cbb.entelnet.bo

RESUMEN

Debido a la continua pérdida de suelos por efectos de los procesos erosivos y el desconocimiento de las técnicas de manejo y conservación de suelos por parte de los agricultores, surge la necesidad de introducir tecnologías de fácil adopción para los pequeños agricultores de ladera en Bolivia.

En este sentido, la introducción de prácticas vegetativas de conservación de suelo y agua, como es el uso de barreras vivas y cultivos de cobertura, están dando buenos resultados, debido principalmente a su fácil adopción y relativamente bajo costo de implementación.

El pasto falaris (*Phalaris tuberoarundinacea*), surge como una buena opción para lograr estos objetivos. Esto se debe principalmente a la buena adaptación climática demostrada y sobre todo a la aceptación masiva de los agricultores, quienes valoran el doble propósito en el uso de esta especie, porque, además de servir como barrera viva para el control de la erosión, sirve también de forraje para sus animales.

El presente estudio, se realizó en los terrenos de la propiedad universitaria "La Tamborada" y consiste en una caracterización de la zona por medio de la producción de los mapas de uso de la tierra, geomorfológico, pendientes, geológico y riesgos de erosión.

El trabajo también contempló la selección de variedades adecuadas para la introducción de barreras vivas de falaris y su posterior evaluación en términos de erosión y sedimentación observados en la parcela demostrativa.

INTRODUCCION

La constante pérdida de suelos como consecuencia de los procesos erosivos, obliga a los agricultores a la habilitación de cada vez más tierras de ladera para lograr cosechas escasas, debido principalmente al manejo inadecuado del suelo y agua. Los agricultores se resisten a adoptar medidas de conservación, principalmente porque su aplicación es muy costosa o por el alto costo que representa su mantenimiento quedando abandonadas después de su introducción (DFID, 1998).

Frente a esta situación, se hace necesario reducir o frenar el proceso de erosión, teniendo en cuenta la existencia de métodos de fácil adopción, baja inversión y adaptación a los sistemas de producción tradicional, como es la opción del uso de las barreras vivas.

Los agricultores de zonas de ladera, reconocen la necesidad de conservar sus suelos pero al mismo tiempo buscan ingresos adicionales de cualquier inversión que sirvan para este fin. Las tecnologías que reúnen las características necesarias para satisfacer este requisito son prácticas vegetativas como barreras vivas y cultivos de cobertura (generalmente leguminosas). La filosofía fundamental es, estabilizar primero las laderas con barreras vivas de doble (o más) propósito y luego incrementar la fertilidad del suelo ya protegido con la siembra de leguminosas (Espinoza, 1997).

El objetivo principal de este estudio es la elaboración de mapas temáticos, que ayudarán en la identificación de zonas con mayores índices erosivos y consecuentemente la zona donde la formulación de posibles soluciones a este problema es la más urgente, para ello se busca un método práctico y barato de conservación de suelo y agua en pequeñas propiedades de ladera, con el propósito de controlar la erosión del suelo, mejorar su fertilidad y en consecuencia lograr el aumento de la productividad.

En este sentido, es importante mostrar el efecto del pasto falaris (*Phalaris tuberoarundinacea*) en la protección de suelos de ladera.

MATERIALES Y METODOS

El área de estudio, se halla ubicada en los predios de la Universidad Mayor de San Simón, en la zona de "La Tamborada", del cantón Itocta de la provincia Cercado. Geográficamente se encuentra situada entre las coordenadas 17°25'20" y 17°31'22" de latitud sur y entre 66°06'47" y 66°10'30" de longitud oeste. La altitud varía desde los 2570 a 3026 msnm.

La zona ocupa un área aproximada de 1,896 ha, que va desde el km 3.5 hasta el 11 de la antigua carretera Cochabamba - Santa Cruz. Por encontrarse sobre dicha carretera, no tiene problemas de acceso a centros urbanos y comerciales.

Según el sistema de Thornthwaite, la zona presenta un clima semiárido, mesotérmico, con deficiencia de agua en la mayor parte del año (11 meses). La temperatura media anual es de 17°C y la precipitación media anual de 512 mm. El balance hídrico, define a la zona como seca con serias deficiencias hídricas. El período vegetativo comprende 126 días, es decir, que en estos 126 días, las condiciones son favorables para el crecimiento de los cultivos (Rocha 1998).

El régimen térmico es mésico con un régimen de humedad arídico (STS 1990).

Pertenece a la zona de vida "estepa espinosa montaña bajo sub-tropical", de la región andina y piso altitudinal montaña bajo. Tiene biotemperaturas medias anuales superiores a 11 ó 12°C, donde hay ocurrencia de escarcha o de temperaturas críticamente bajas durante algún tiempo del año (Unzueta en Rocha, 1998).

Los suelos son de origen coluvio-aluvial, moderadamente profundos a profundos en las zonas planas y superficiales en la zona montañosa. En general, tienen un drenaje interno bueno y externo rápido. El área de estudio, presenta piedras en la superficie y evidencia de erosión laminar moderada. El suelo esta libre de sales. El perfil modal de la parcela corresponde a la descripción del cuadro 1.

Geología, geomorfología e hidrografía

El área de estudio pertenece a las siguientes formaciones (GEOBOL, 1992):

Formación Uncía (Sun), perteneciente a la era Paleozoica, período Silúrgico, época Inferior y a la fase cordillerano, caracterizada por la presencia de lutitas grises a verdosas, niveles de areniscas y limolitas verdes verde olivo. Pertenecen a esta formación el gran paisaje de relieve colinado.

Formación San Benito (Osb), perteneciente a la era Paleozoica, período Ordovícico, época Inferior y a la fase Tacsariano, caracterizada por la presencia de cuarcitas gris claras con capas delgadas de limolitas y lutitas. Pertenecen a esta formación los grandes paisajes de relieve colinado y piedemonte.

Formación Cancañiri (Scc) perteneciente a la era Paleozoica, período Silúrgico, época Inferior y a la fase Cordillerano, caracterizada por la presencia de diamictitas marrones a gris verdosas, areniscas y limolitas. Pertenecen a esta formación, las laderas del gran paisaje de relieve colinado.

Deposición Aluvial (Qa) perteneciente a la era Cenozoico, período Cuaternario, época Holoceno y a la fase Andino, caracterizada por la presencia de cantos, gravas, arenas, limos y arcillas. Pertenecen a esta formación el gran paisaje de valle aluvial.

Deposición Fluvio-Lacustre (Qfl) perteneciente a la era Cenozoico, período Cuaternario, época Pleistoceno y a la fase Andino, caracterizada por la presencia de gravas, arenas, limos y arcillas (Holoceno inferior medio) Pertenecen a esta formación el gran paisaje de valle aluvial.

El área de estudio, comprende tres zonas principales con relieve diferenciado: montañosa, colinada y plana.

Zona montañosa: constituida por la serranía de Kara Kara, que incluye los sectores de Kara Kara y Uspa Uspa. Se caracteriza por su relieve irregular y pendientes que oscilan entre 10 y 80%, llegando en las quebradas incluso a más del 100%.

Zona colinada: constituida por las colinas separadas de la serranía, ubicadas en el sector de Kara Kara. Se caracterizan por su relieve irregular y pendientes que oscilan entre 10 y 20%.

Zona plana: constituida por los sectores El Martillo, La Pampa, Khasa Mayu y los campos de experimentación facultativos. Presenta un relieve regular, con pendientes que varían de 1 a 3%.

La zona de estudio, se encuentra circundada por el río Sulti que corre de este a oeste. La época de lluvias cuenta con agua y en la época de estiaje la dotación de agua para riego en los terrenos agrícolas, el agua proveniente del Sistema Nacional de Riego N°1 de La Angostura y agua residual de la refinería de YPFB.

CUADRO 1. Perfil modal de la parcela de observación

9	8	3	0	0	2	47-4		Typic Paleargids (Fase pedregosa)		M22c					
Año		N°		N° Observación		N° Foto y Faja		Clasificación taxonómica		Clase local		Unidad fisiográfica			
Fecha						11 de septiembre de 1998		Clase de drenaje		Bien drenado					
Autores						Javier Burgos V. Tatiana Espinoza B. Emilio Gonzáles V.		Prof - color de moteo distinto rel con drenaje		Ausencia de moteos					
% pendiente - hacia						4%		Prof capa freática		No se observó					
Vegetación y/o uso de tierra						Presencia de vegetación nativa arbustiva		pH y		0 - 30		0		6.0	
								contenido		30 - 50		0		7.0	
								de CaCO ₃		50 - 80		2		7.5	
								por rangos		80 - 120		3		7.8	
Material parental						Coluvio aluvial		Sales, profundidad - tipo							
Pedregosidad superficial afloramiento rocoso						80% de pedregosidad Clase 3 Sin afloramiento rocoso		Superficies de presión, deslizamiento, tipo, profundidad		Elementos en forma de cuñas (Vertisol degradado)					
Influencia humana						Ninguna		Cementación prof - tipo (inc. Plintita también)		No se evidenció					
Observaciones								Cutanes profundidad - tipo		Bt a 35 cm tiene cutanes delgados continuos					
Descripción de los horizontes del suelo:															
Símbolo	Profundidad (cm)		Características del perfil												
A1	0 - 12		Color: 10YR 4/4 (en húmedo) Estructura: Bloque sub angular fuerte Textura: Franca												
Bt1	12 - 35		Color: 10YR 3/3 (en húmedo) Estructura: Bloque sub angular fuerte Textura: Franca												
Bt2	35 - 50		Color: 10YR 4/4 (en húmedo) Estructura: Bloque angular fuerte Textura: Arcillosa												
Bt3	50 - 70		Color: 5YR 4/6 (en húmedo) Estructura: Bloque angular fuerte Textura: Arcillosa												
Bk	70 - 100		Color: 5YR 4/6 (en húmedo) Estructura: Bloque angular medio Textura: Franca												

Vegetación

Las zonas de Kara Kara y Uspa Uspa, se caracterizan por la presencia de vegetación forestal y nativa, entre las que se distinguen principalmente el algarrobo o Cuji, Thako (*Prosopis juliflora*), el molle (*Schinus molle*), chacatea (*Dodonea viscosa*) y varias cactáceas como la tuna (*Opuntia ficus indica*), la ulala (*Cereus hankeanus*), el airampo (*Opuntia cochabambensis*) y la sitikira (*Cleistocatus herzogianus*), que ocupan la mayor parte de la superficie.

Uso de la tierra y aspectos de la agricultura

Se distinguen principalmente tierras de uso agrícola e infraestructura, quedando una extensa zona no utilizada por la facultad, pero utilizada por pobladores de la zona.

Las tierras de uso agrícola abarcan pequeñas áreas en los lugares planos y con riego. En éstas tierras, se distinguen principalmente los cultivos forrajeros (maíz, alfalfa y avena), hortalizas (cebolla, haba, tomate, etc.) y frutales (durazno, manzana y vid). Esta forma de uso existe en El Martillo, La Pampa, Khasa Mayu, los predios cercanos a la facultad y una pequeña área en Kara Kara, ocupan aproximadamente 10% de la superficie total. Se cultiva una cantidad considerable de especies con fines de producción, investigación y enseñanza.

Tierras sin uso se encuentran en los sectores de Usps Usps y Kara Kara, a excepción de un pequeño sector en la zona plana de Kara Kara, donde se habilitaron nuevas tierras de cultivo. Este grupo abarca aproximadamente 89% de la superficie total.

METODOLOGIA

La parcela de estudio fue establecida con el pasto forrajero *Phalaris tuberoarundinacea*, con el fin de evaluar y tomar datos de erosión y sedimentación.

En el área de estudio, se formaron dos curvas de nivel establecidas con barreras vivas y en otras cinco barreras dentro la parcela. La distancia entre barreras es de 10 m y entre plantas de 10 cm. Por otra parte, se estableció una parcela pequeña de observación con cinco pastos y cinco arbustos de las diferentes especies vegetales en la parcela de observación, para ver el comportamiento de las diferentes especies vegetales.

Para conocer la efectividad del método biológico, se han realizado lecturas de sedimentación y/o altura de sedimento retenido por el efecto de la barrera viva en los respectivos tratamientos. Esta medición se realizó por encima de la barrera viva sobre una curva de nivel por el método de "las líneas de referencia". Con el trabajo de levantamiento, se determinaron los suelos existentes en la zona.

El pasto falaris existe en el área de estudio como barrera viva desde diciembre de 1996. Se tomaron dos lecturas (96-97 y 97-98) de erosión y sedimentación para el análisis, tomando en cuenta una parcela de falaris, una de vetiver y otra testigo.

Se obtuvieron por fotointerpretación, con su respectiva validación de terreno, los mapas geomorfológico y uso actual. El mapa geológico obtenido a partir del mapa de GEOBOL (1992). El mapa de pendientes, fue obtenido a partir de la creación de un modelo digital de terreno del mapa topográfico del Instituto Geográfico Militar (IGM), escala 1:50.000. En la figura 1 se muestra La representación esquemática del marco metodológico.

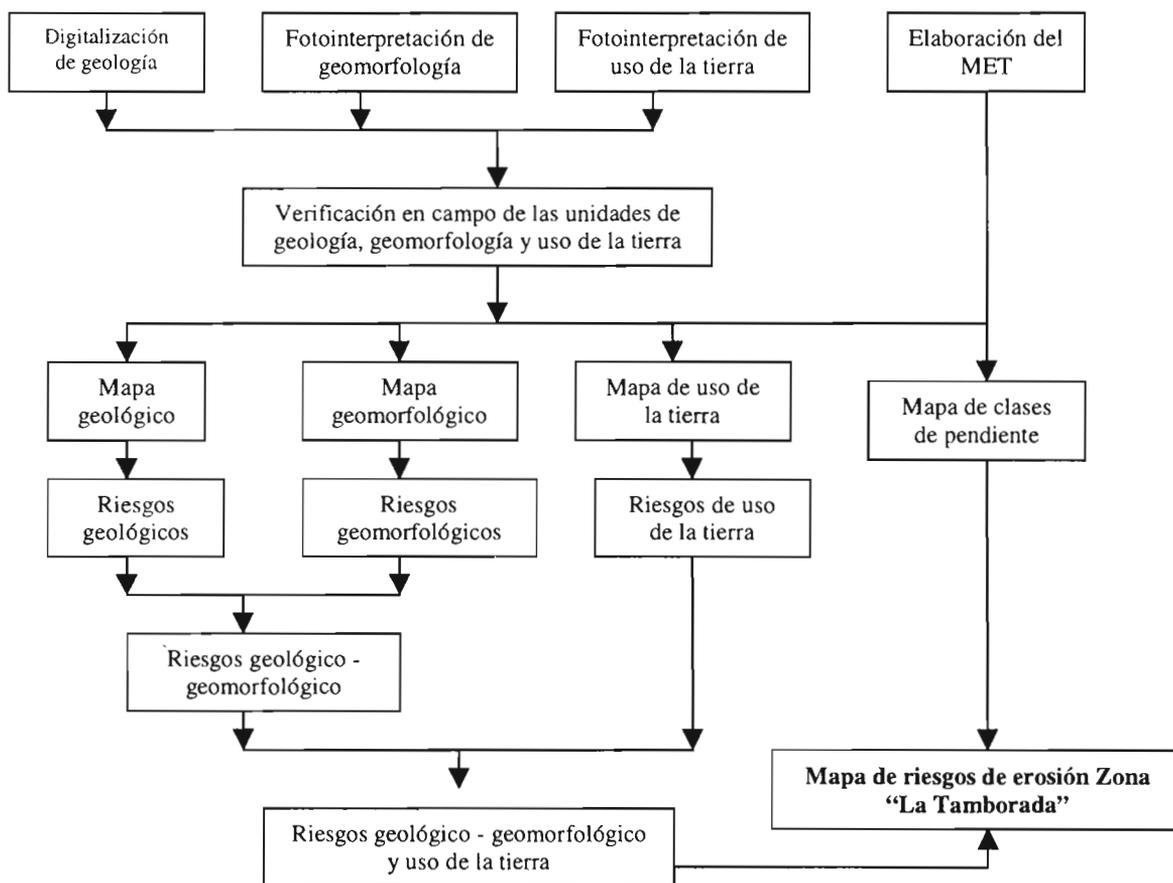


FIGURA 1. Representación esquemática del marco metodológico.

RESULTADOS

Los cuadros y gráficas presentados a continuación muestran los datos de erosión (negativos) y sedimentación (positivos) que son producto de un promedio de 10 hileras de barreras vivas para cada especie y parcela control por año.

Los intervalos considerados para la toma de datos, tienen relación directa con la distribución de la lluvia/erosividad, pues las lecturas se realizaron al final de cada época de lluvias, es decir, la lectura del año 1 desde noviembre de 1996 (época en la que se estableció la barrera), hasta junio de 1997 (fin de la época de lluvias), época en la cual se realizó la toma de datos y la lectura del año 2 desde julio de 1997 a junio de 1998 (fin de la época lluviosa), en la cual también se tomaron datos.

Como se observa en la figura 2, en la parcela donde se instaló la barrera del pasto vetiver (*Vetiveria zizanioides*) alcanza un mayor valor de erosión, debido al tiempo en que demora en establecer la barrera y al diámetro de macollaje obtenido. Por el contrario, la barrera con falaris crece con mayor rapidez y alcanza un mejor diámetro de macollaje, lo que le permite formar una barrera mas efectiva para sujetar el suelo. El nivel final, representa la suma de los dos años de estudio.

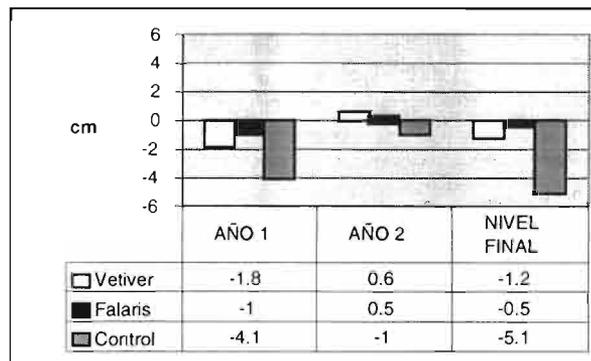


FIGURA 2. Datos de erosión de las gestiones 96-97 y 97 - 98 por barrera viva y control.

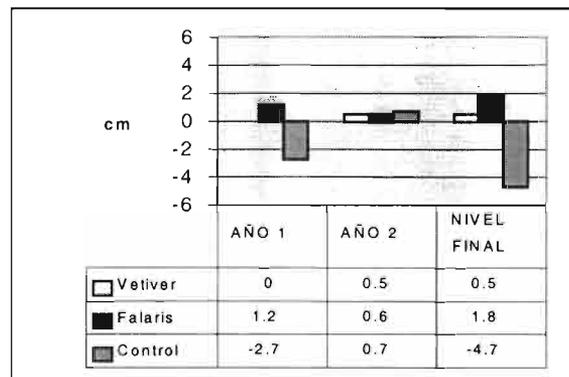


FIGURA 3. Datos de sedimentación de las gestiones 96 - 97 y 97 - 98 por barrera viva y control.

Vetiver no presentó en el año 1 ninguna sedimentación, debido a la demora en el establecimiento de la barrera y en el año 2, solo 0.5 cm por la densidad del macollo. Falaris presenta una sedimentación en la barrera desde el primer año, creciendo progresivamente en el segundo. La parcela control tiene en el segundo año menor erosión que en el primero, debido a la menor precipitación pluvial en ese año y al desarrollo de cobertura vegetal.

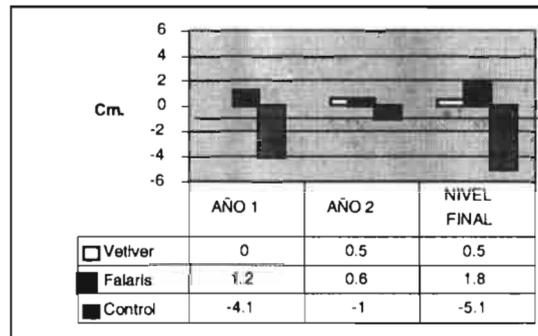


FIGURA 4. Cambio de altura de la superficie en las gestiones 96-97 y 97-98 por barrera viva y control.

La figura 4 resume la pérdida e incremento de suelos por año según la especie utilizada y una parcela control. Se observa que el falaris obtuvo mejores resultados para el área estudiada, debido a su mejor adaptación climática y mas rápida formación de barrera.

Cambios en la pendiente y gradiente del terreno por efecto de las barreras vivas

Según a la actividad agrícola, los efectos en la formación del gradiente por debajo de las barreras vivas serán mayores cuando el laboreo es intenso, por ejemplo, cuando se tiene dos cultivos por año. La pendiente del terreno y las características físicas del suelo también determinan la rapidez de la formación de terrazas, así, la acumulación de tierra sobre la barrera es mínima en pendientes abruptas. El cuadro 2, muestra con datos los cambios en la pendiente y gradiente del terreno en dos años, para dos especies (falaris y vetiver).

CUADRO 2. Cambios en pendiente y gradiente del terreno por efecto de barrera viva.

Parcela	Pendiente del terreno en porcentaje (%)			Gradiente entre barreras (cm)
	Año 1	Año 2	Diferencia	
Falaris	33	30	3	25
Vetiver	37	37	0	≤10

El mapa geomorfológico se obtuvo a partir de la fotointerpretación de las fotografías aéreas de la zona de estudio, escala 1:20.000 del año 1997 y adquiridas del IGM. En el cuadro 3, se muestra la descripción de la leyenda.

La zona de estudio presenta tres paisajes que la caracterizan, geformas formadas a partir de procesos deposicionales y aspectos estructurales. Los procesos estructurales caracterizados por presentar montañas con relieve de laderas en areniscas cuarcíticas y lutíticas y pendientes que oscilan entre 3 y >55%. La parcela demostrativa corresponde a laderas moderadamente onduladas. El paisaje de valle, presenta un lecho de río y terrazas aluviales con pendientes que oscilan entre 0 y 12%. Los procesos deposicionales, presentan un piedemonte con paisajes de abanicos y glacis cuyas pendientes van de 2 a 8%. Las estadísticas de cada forma del terreno identificadas en la figura 5, se resumen en el cuadro 4.

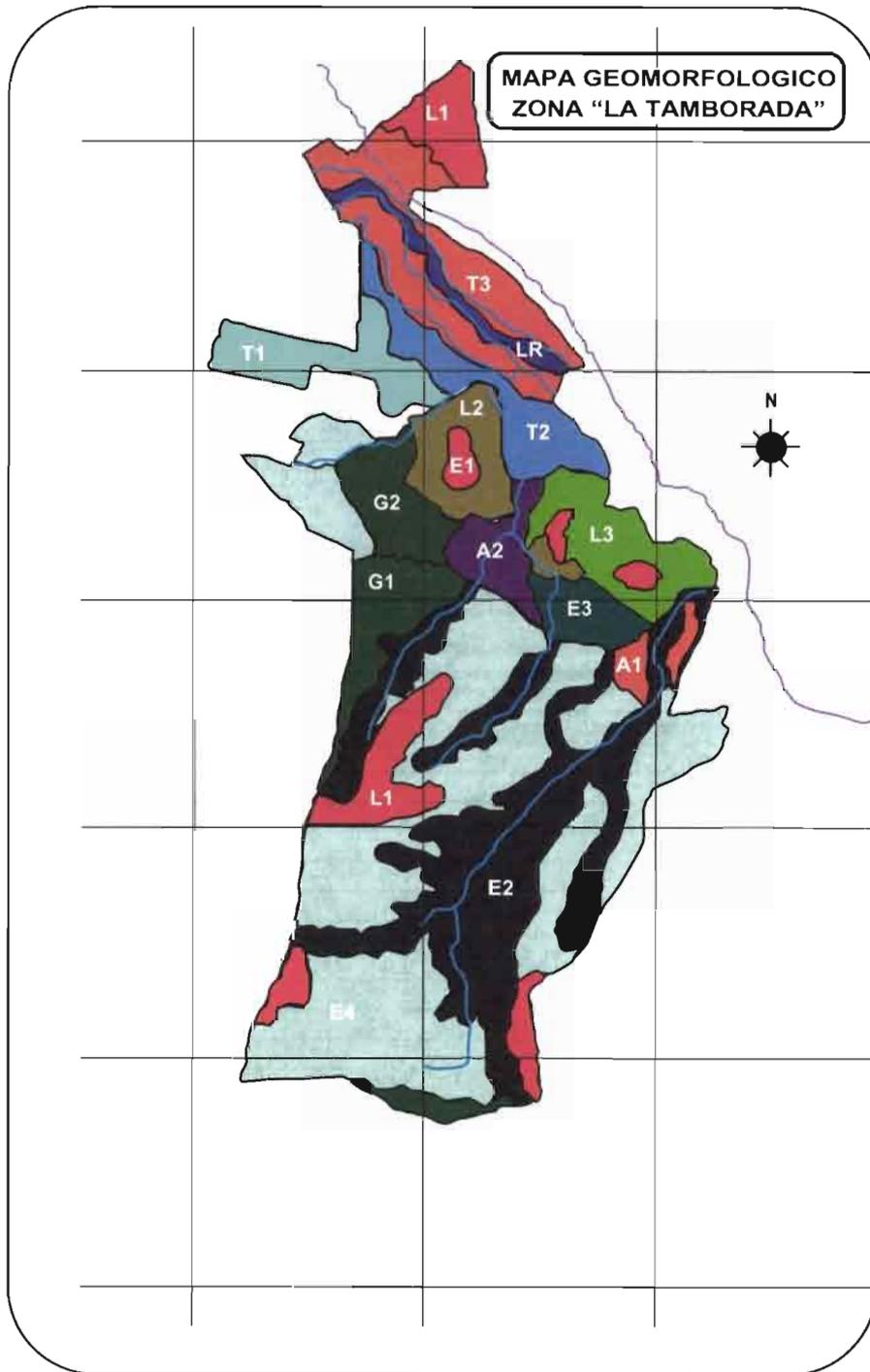


FIGURA 5. Mapa geomorfológico zona "La Tamborada"

CUADRO 3. Descripción geomorfológica de la zona La Tamborada.

Geo-Estructura	Ambiente morfológico	Paisaje	Relieve	Litología	Formas del terreno	Símbolo
Cordillera	Estructural	Montañas	Laderas	Arenisca cuarcítica (Formación San Benito)	Cima	E1
					Pend. Fuertes >55%	E2
					Pend. Modera <55%	E3
					Pend. Ligeras 3 - 7%	E4
				Arenisca lutítica (Form. Uncía)	Cima	L1
					Pend. Modera < 55%	L2
	Pend. Ligeras 3 - 7%	L3				
	Valle	Terrazas	Aluviones	Mod. Ondula 7-12%	T1	
				Lig. Ondula 3-7%	T2	
		Lecho río		Casi plano 0-3%	T3	
					LR	
	Deposicional	Piedemonte	Abanico disectado	Aluviones	Fuertem. Ondulado 8 - 16%	A1
					Ondulado 2 - 8%	A2
Glacis			Aluviones	Pend. Moderada	G1	
				Pend. Ligeras	G2	

CUADRO 4. Cuantificación de las geoformas identificadas en la figura 5.

Unidades geomorfológicas	Símbolo	Superficie (ha)
Abanico disectado	A1	29
Abanico ondulado	A2	50
Cima	E1	96
Cima, ladera	L1	74
Glacis ligeramente ondulado	G2	69
Glacis moderadamente disectado	G1	44
Ladera ligeramente ondulada	L3	102
Ladera moderadamente ondulada	L2	90
Laderas fuertemente inclinadas	E2	356
Laderas ligeramente inclinadas	E4	665
Laderas moderadamente inclinadas	E3	110
Lecho de río	LR	30
Terraza casi plana	T3	178
Terraza moderadamente ondulada	T1	106
Terraza ondulada	T2	92
TOTAL	--	2091

El mapa de Uso de la Tierra fue elaborado a partir de la fotointerpretación de las fotografías aéreas de la zona de estudio, adquiridas del IGM, del año 1992. Las clases identificadas, fueron verificada con visitas de terreno y su consiguiente validación de las unidades observadas.

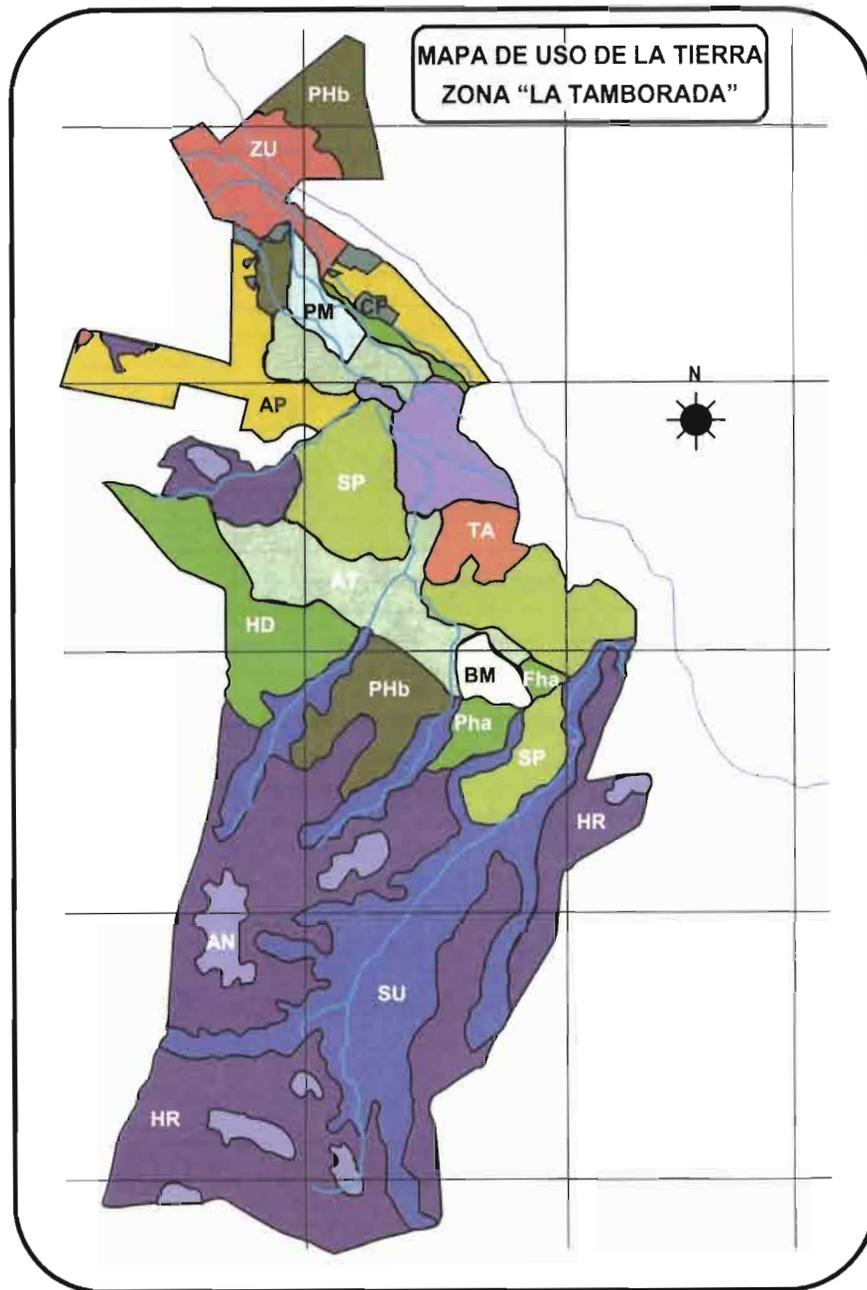


FIGURA 6. Mapa de uso de la tierra zona "La Tamborada"

En el cuadro 5, se observa que el herbazal ralo en suelos pedregosos abarca la mayor parte de la zona. El uso temporal (solo en época de lluvias) y el permanente (posee riego todo el año), tienen una extensión similar abarcando las zonas relativamente planas. La parcela de demostración corresponde al uso silvopastoril. Los procesos erosivos intensos (cárcavas), clasificados como tierras sin uso representan una superficie considerable, para lo cual se hace necesario proponer técnicas de conservación y rehabilitación de suelos.

Los usos silvopastoril, arbustivos y herbazales representan una zona importante, ya que la vegetación arbórea, arbustiva y pastizales son predominantemente nativos. En la actualidad, se tiene

implementadas parcelas de investigación de barreras vivas con especies introducidas, con buenos resultados preliminares. Las estadísticas de las unidades de uso, se representan en el cuadro 5.

CUADRO 5. Cuantificación de las unidades de uso identificadas en la figura 6.

Unidades de uso	Símbolo	Superficie(ha)
Arbustos nativos	AN	78
Basurero municipal	BM	20
Construcciones facultativas	CF	13
Forestal con herbazal alto	Fha	18
Herbazal denso en suelos pedregosos	HD	106
Herbazal ralo en suelos pedregosos	HR	764
Pastoril con herbazal alto	Pha	21
Pastoril con herbazal bajo a mediano	PHb	132
Politécnico militar	PM	26
Silvo pastoril	SP	203
Sin uso (procesos erosivos intensos)	SU	356
Tierras eriales (lutitas)	TA	36
Uso agrícola permanente	AP	126
Uso agrícola temporal	AT	156
Zona urbana	ZU	81
TOTAL	--	2136

El mapa de pendientes (Figura 7), es resultado de la digitalización de las curvas de nivel (cada 20 m) del mapa topográfico del IGM, escala 1: 50.000. Una vez digitalizadas las curvas de nivel, se procedió a la creación de un Modelo Numérico de Elevación (MNE) en el SIG, con el fin de obtener la transformación de los valores del mapa topográfico en valores numéricos, dando la referencia de la altura del MNE y posibilitando la determinación de la longitud y orientación de la pendiente.

Luego se procedió a clasificar las zonas de pendiente, tomando como rangos desde 0 a mayor de 50% de pendientes, éstos valores, se ajustan a las características topográficas de la zona. Es útil para la determinación de las zonas con riesgos de erosión, pues los problemas erosivos, son directamente proporcionales al grado de pendiente del terreno.

El cuadro 6, muestra estadísticamente la superficie ocupada por cada rango de pendientes para la zona estudiada.

CUADRO 6. Cuantificación de los rangos de pendiente identificados en la figura 7.

Rango de pendientes	Símbolo	Superficie (ha)
Plano o ligeramente plano	P1 (0 - 10%)	847
Moderadamente inclinado	P2 (11 - 25%)	672
Inclinado	P3 (26 - 37%)	300
Fuertemente inclinado	P4 (38 - 49%)	129
Muy inclinado	P5 (> 50%)	119
TOTAL	--	2067

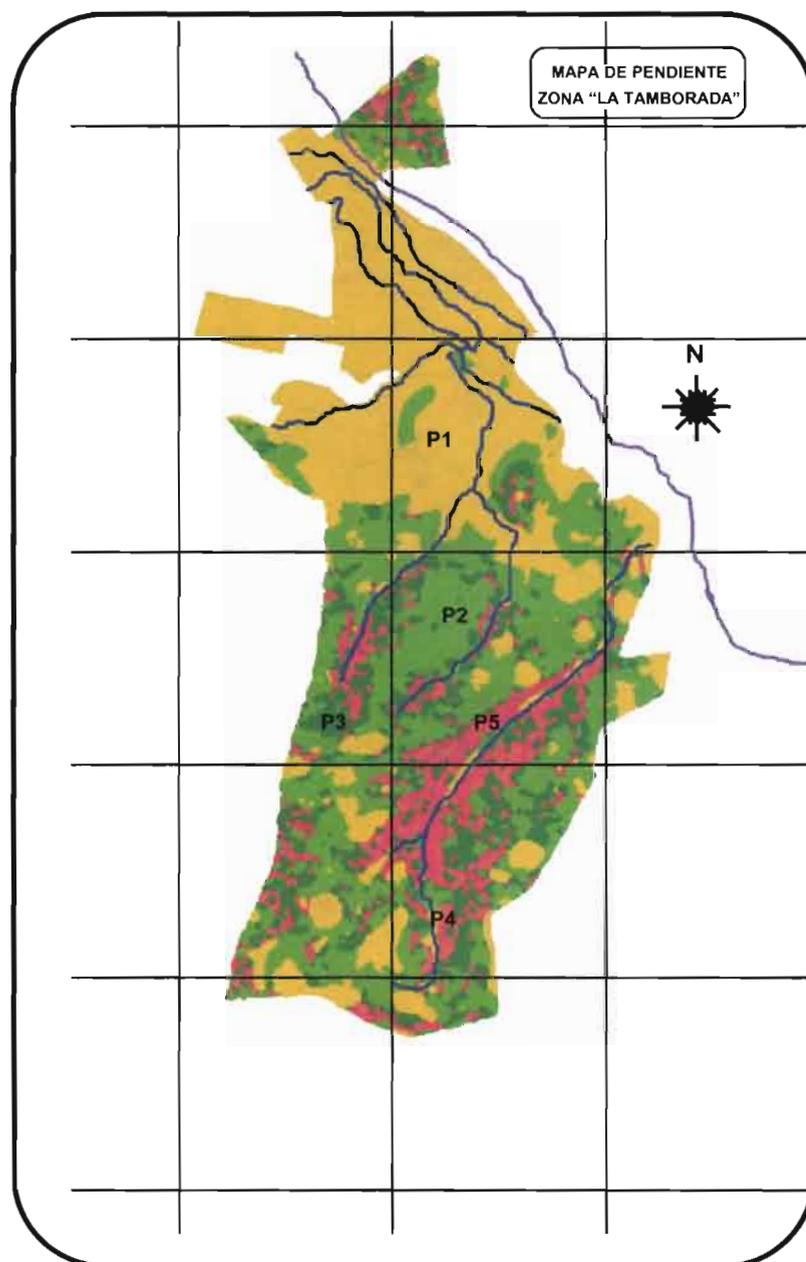


FIGURA 7. Mapa de pendientes zona La Tamborada.

El mapa geológico se obtuvo a partir de la digitalización del mapa geológico de GEOBOL (1992). Este mapa fue importante para identificar los riesgos de erosión, pues la resistencia de los materiales componentes del suelo, determinan el mayor o menor riesgo de erosión.

En la zona de estudio, la mayor superficie la ocupa la formación San Benito, caracterizada por la presencia de cuarcitas gris claras con capas delgadas de limolitas y lutitas. Pertenecen a esta formación los grandes paisajes de relieve colinado y piedemonte. En el cuadro 7, se detallan las superficies de las unidades geológicas.

CUADRO 7. Cuantificación de las unidades geológicas identificadas en la figura 8.

Unidades geológicas	Símbolo	Superficie (ha)
Depósitos aluviales en cantos, gravas y arenas	Qa	56
Depósitos en terrazas, cantos, gravas y arenas	Qf	30
Depósitos flúvio-lacustres gravas, arenas y limos	Qfl	340
Formación Anzaldo, limolitas y niveles de areniscas	Oan	119
Formación Cancaniri, diamicitas marrones	Soc	30
Formación San Benito, cuarcitas gris claro	Osb	1145
Formación Uncía, lutitas grises a verdosas	Sun	355

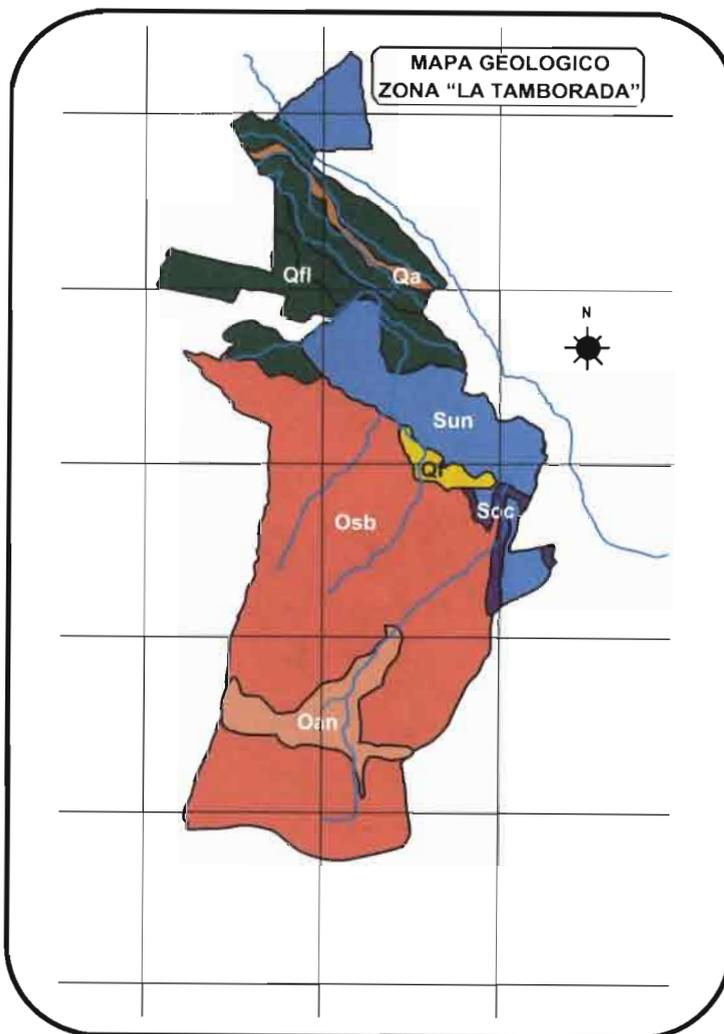


FIGURA 8. Mapa geológico zona "La Tamborada"

El mapa de riesgos de erosión es el resultado del análisis de los mapas anteriores, a los cuales se les asignó una escala de riesgos de erosión, de acuerdo al detalle de matrices de análisis (Figura 10).

Para la elaboración del mapa final de Riesgos de Erosión de la zona de estudio, se realizó el análisis espacial de los mapas temáticos de geomorfología, uso, pendientes y geología. Las matrices de la figura 9, muestran la asignación de valores de riesgo para cada tema los cuales fueron procesados en el SIG.

Resultado de esta modelización de datos obtenidos en los mapas temáticos ya descritos, se identificaron las zonas con mas alto riesgo de erosión a las cuales se hacen necesarias la aplicación de métodos protectores como las barreras vivas y por lo visto en el presente trabajo, falaris tiene muy buena adaptación climática y aceptación por los agricultores.

La modelización de los datos según las matrices permitieron la obtención del Mapa de Riesgos de Erosión con 4 niveles de riesgo. La zona de estudio, se ubica en el área de riesgo moderado, razón por la cual se vienen probando técnicas biológicas de conservación de suelos.

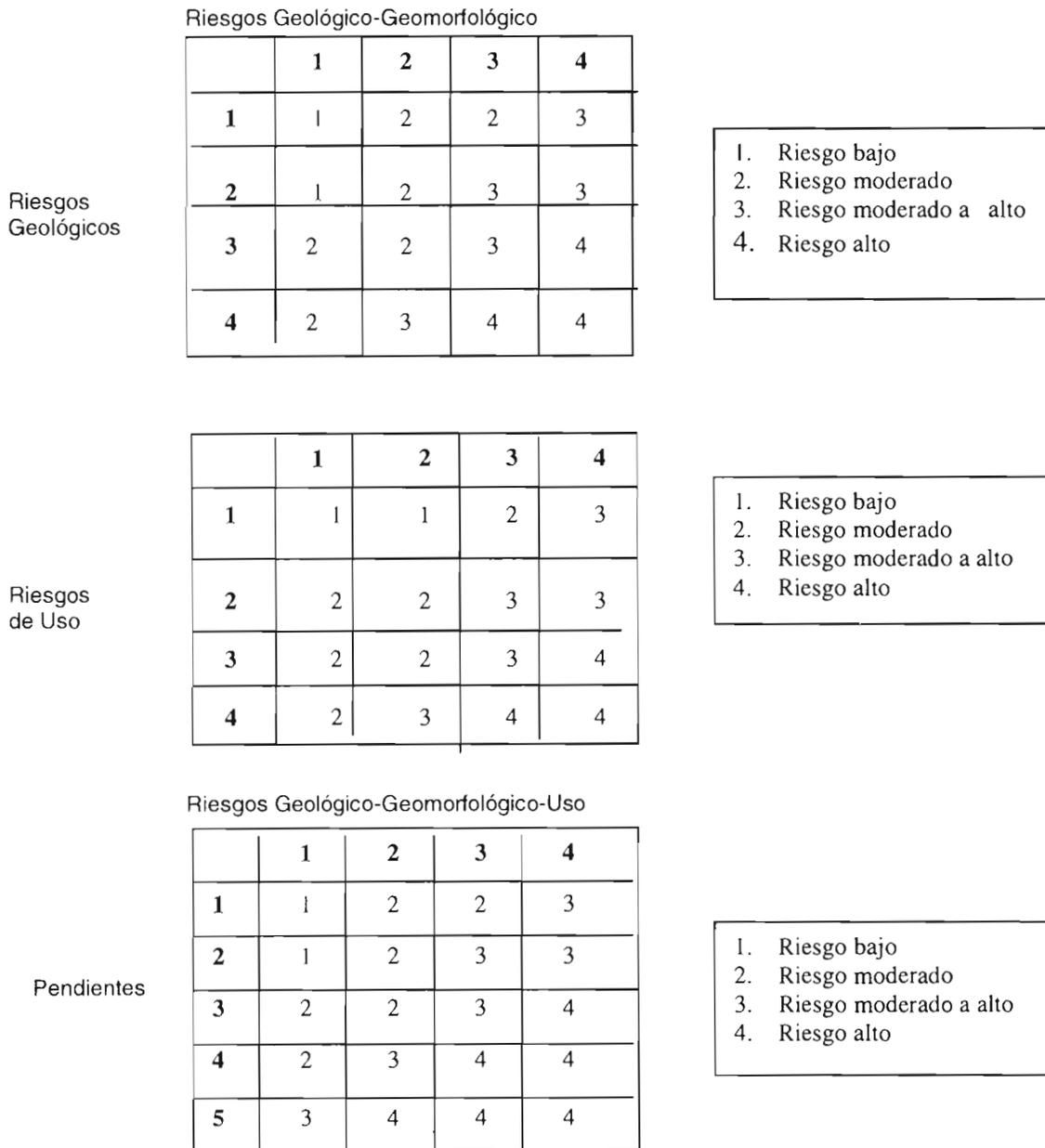


FIGURA 9. Matrices de análisis de Riesgos de Erosión.

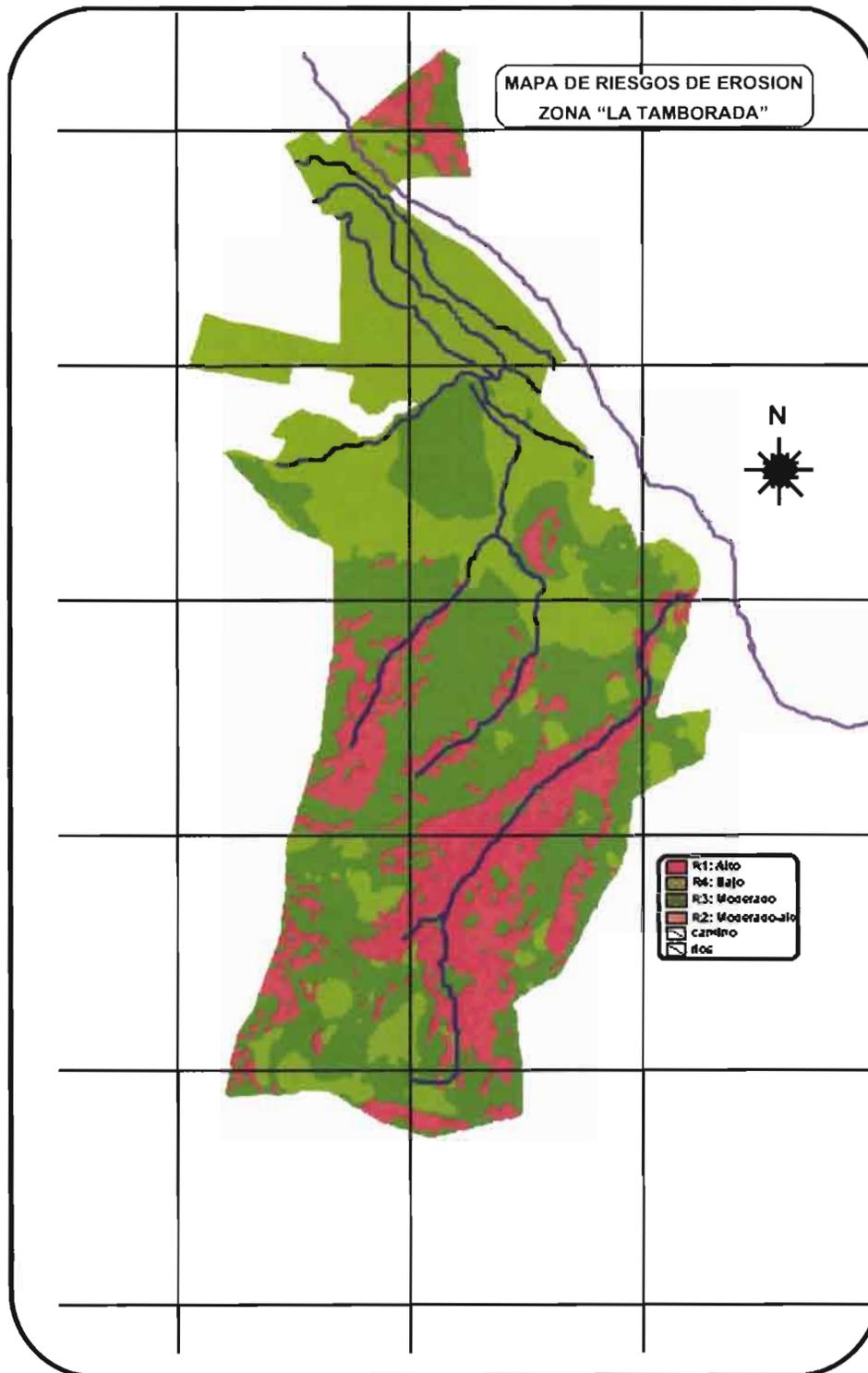


FIGURA 10. Mapa de riesgos de erosión zona "La Tamborada"

CUADRO 8. Cuantificación de los riesgos de erosión identificados en la figura 10.

Riesgos de erosión	Símbolo	Superficie(ha)
Alto	R1	214
Bajo	R4	739
Moderado	R3	883
Moderado – alto	R2	236
TOTAL	--	2071

CONCLUSIONES

- Se ha detectado en la zona de estudio problemas severos de erosión y constantes pérdidas de suelo a causa de deslizamientos, razón por la cual se proponen métodos de control relativamente rápidos y accesibles.
- La percepción remota y el Sistema de Información Geográfica, resultan ser herramientas útiles para la caracterización de zonas con riesgos de erosión.
- Los valores de erosión y sedimentación para los dos años de observación, son muy altos en relación con otros estudios realizados en zonas similares, debido a la distancia y época de toma de datos (fin de cada época lluviosa).
- La sedimentación observada en la barrera viva de falaris, si bien ofrece importantes ganancias de suelo, indica también erosión en las zonas más elevadas de la parcela como efecto del movimiento del suelo a causa de la labranza.
- La opción de las barreras vivas para el control de la erosión, resultó muy aceptada por los agricultores por su fácil implementación, relativamente bajo costo de aplicación, protección del suelo y buena producción de forraje.
- El pasto falaris mostró muy buenos rendimientos en la zona estudiada, por la rapidez en su desarrollo, alto porcentaje de macollamiento y mejor adaptación climática, lo cual aceleró la formación de la barrera viva y en consecuencia la efectividad de retención del suelo en el proceso de sedimentación.
- La vegetación natural, juega un rol importante en la retención del suelo en el proceso de erosión como lo demostró la parcela control en el segundo año de establecimiento.
- Para las condiciones de ladera el proceso de formación lenta de terrazas utilizando falaris, comienza muy pronto y es visible y atractivo para los agricultores.
- La conservación de suelos de ladera con el uso de barreras vivas y cultivos de cobertura, debe ser participativa (con el agricultor), sostenida y por un buen período de tiempo para lograr su éxito.

BIBLIOGRAFIA

- Ayala, A. , 1997. Evaluación de especies vegetales como barrera viva en tres comunidades del departamento de Cochabamba. Cochabamba, Bolivia, Tesis Ingeniero Agrónomo, Facultad de Agronomía, UMSS, pp. 15-40.
- Bergsma, E. 1996. Terminology for soil erosion and conservation. Enschede, The Netherlands, pp. 61, 83.
- CLAS (ITC - UMSS). 1996. Diagnóstico dentro el marco de manejo integral para la cuenca Khenko Mayu. Cochabamba, Bolivia, Tomo I, pp. 9,47,48.
- Department for international development, 1998. Estrategia de Investigación de Recursos Renovables. Londres, Inglaterra, pp. 8 – 9.
- Espinoza, T. y Sims, B., 1977. Desde el satélite hasta la conservación: La aplicación de la teledetección y sistemas de información geográfica en la agricultura sostenible. Cochabamba, Bolivia, Memoria 2º Taller PROLADE, pp 53 – 64.
- Morgan, R.P.C.y Kirby, M.J., 1984. Erosión de suelos. Bedford, Inglaterra, National College of Agricultural Engeneering Bedford, pp. 17 –18.

Flores, L.L.R. , 1998. Efecto de las barreras vivas en la estabilidad de laderas utilizando modelos de simulación. Cochabamba, Bolivia, Tesis Ingeniero Agrónomo, Facultad de Agronomía, Universidad Mayor de San Simón, pp. 1, 44.

FAO, 1992. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. Santiago, Chile. Curso latinoamericano de zonificación agroecológica, Centro de Información de Recursos Naturales (CIREN), Universidad Católica de Chile.

Meza, W. , 1996. Experiencias en conservación de suelos y aguas en laderas de la Cordillera del Tunari. Cochabamba, Bolivia, Memoria 1º Taller PROLADE, pp 61 – 71.

Oblitas, R.M. , 1998. Terrazas de formación lenta con bordo de tierra: método de manejo y conservación de suelo y agua con cultivos de trigo y papa. Cochabamba, Bolivia, Tesis Ingeniero Agrónomo, Facultad de Agronomía, UMSS, pp. 7, 12.

Ortiz, C., 1990. Claves para la taxonomía de suelos. Montecillo, México. Equipo de levantamiento de suelos. Servicio de conservación de suelos, Departamento de agricultura de EUA, 575 p.

Rice, J.S., y Pinkerton, B.W. , 1993. Reed canarygrass survival under cyclic inundation. USA, Journal of Soil and Water Conservation, 48 (2), pp. 132 –135.

Rocha, R., 1998. Evaluación de aptitud agrícola en las tierras de La Tamborada para diferentes tipos de utilización de tierra. Cochabamba, Bolivia, Tesis Ingeniero Agrónomo, Facultad de Agronomía, UMSS.

Rodríguez, V. F., 1997. Resultados preliminares de investigación en barreras vivas y programa futuro. Cochabamba, Bolivia, Memoria 2º Taller PROLADE, pp. 22– 32.

Sims, B.G., 1996. Experiencias y perspectivas en investigación de suelo y agua en América Latina. Cochabamba, Bolivia, Memoria 1º Taller PROLADE, pp. 5 – 8.

Walle, R., 1996. Métodos de investigación y sus mediciones para promover conservación de suelos y agua al nivel del pequeño productor. Cochabamba, Bolivia, Memoria 2º Taller Proyecto Laderas, pp. 47 – 52.

Escuelas de campo: una alternativa en la transferencia de manejo de la fertilidad del suelo

J. Vallejos¹, N. Ortuño¹ y F. Garcia¹

¹ Fundación PROINPA. Casilla 4285. Cochabamba, Bolivia.

RESUMEN

El presente trabajo se está desarrollando en las comunidades de Chullchuncani, Kewiña Pampa y Muyurina de la provincia Carrasco, departamento de Cochabamba. En Chullchuncani se trabaja con un grupo de dieciocho agricultores, mientras en Kewiña Pampa y Muyurina con cuatro agricultores. Se trabaja con un programa de capacitación y transferencia de tecnología basado en las "escuelas de campo", donde se aplican métodos de aprendizaje e investigación propios del proceso de educación informal, que ayudan al agricultor a emplear su propia iniciativa para solucionar las limitantes en la producción.

El uso de abonos verdes fue el tema que permitió desarrollar el trabajo, durante el ciclo cultivo se hicieron conocer las ventajas del cultivo de haba y el momento oportuno de su incorporación al suelo. Se discutió con el agricultor la forma de incorporación del material vegetal y se utilizó el machete manual para el picado del follaje. La finalidad de esta práctica es facilitar la incorporación al suelo del material vegetal. Para su incorporación se utilizó el arado de vertedera con tracción animal, por que el arado de palo para tracción animal no logra incorporar completamente los residuos vegetales. Para la capacitación el primer paso fue determinar una línea de base, a través de una encuesta, con el fin establecer el punto de partida para luego medir los cambios en los conocimientos y prácticas de los agricultores. La capacitación se concentró en la comunidad de Chullchuncani, con un grupo de agricultores que se trabajó en campañas anteriores en el manejo integrado de nemátodos. Se utilizó una guía de capacitación que consta de seis sesiones teóricas complementando con una práctica. En la parte teórica se hace referencia al manejo de los fertilizantes químicos y el manejo del estiércol, principalmente de ovino y bovino, en la parte práctica se discute y se analiza, de manera participativa, acerca de una práctica agrícola ejecutada o por ejecutar.

INTRODUCCION

Las estrategias de manejo del suelo para las diferentes condiciones agroecológicas se eligen de tal manera que permita a los agricultores una producción económicamente rentable, ecológicamente viable y socialmente aceptable. La gran diversidad geomorfológica y climática hace que existan también diferentes sistemas de producción, con factores limitantes heterogéneos, donde la degradación de los suelos por agentes biofísicos es importante.

En los ecosistemas agrícolas de la zona andina, donde la papa es el principal cultivo, se tiende a buscar el incremento de la productividad dejando de lado técnicas básicas de reposición de materia orgánica al suelo, con el consiguiente empobrecimiento de los suelos.

Estos sistemas de producción se caracterizan por excesivos e inoportunos movimientos de tierra en la labranza, la incipiente reposición de materia orgánica al suelo y el uso poco racional de fertilizantes químicos.

Bajos estas condiciones la aplicación de enmiendas orgánicas al suelo es una de las alternativas más importantes para mantener el potencial productivo de los mismos, por los efectos favorables sobre las propiedades físicas, químicas y biológicas del mismo.

La baja reposición de materia orgánica en los sistemas agrícolas tradicionales se debe al desconocimiento de los agricultores de la dinámica de la fertilidad de los suelos, a la escasa disponibilidad de fuentes orgánicas, a su costo y dificultad de traslado a lugares poco accesibles.

Si bien los agricultores tienen ganado que les permite contar con estiércol, este generalmente es insuficiente para ser usado como abono, muchos agricultores recurren a la compra de este insumo u otras fuentes orgánicas como la gallinaza.

Los materiales orgánicos más usados por los agricultores son el estiércol, vacuno, ovino y gallinaza, aplicados generalmente sólo para el cultivo de papa como cabecera del sistema de rotación.

La aplicación de estiércol, en la comunidad, se realiza al momento de la siembra y en forma localizada en el surco. Considerando que la cantidad de abono orgánico utilizada por los agricultores es

relativamente baja y las condiciones que preceden a la siembra son secas, no se justifica la aplicación de estiércol con anticipación a la siembra. Por otra parte, las dosis de fertilizantes inorgánicos aplicados no son las recomendadas, el agricultor algunas veces aplica hasta niveles superiores de 160-160-0, con repercusión en la economía del agricultor. Generalmente la aplicación de la urea en estas zonas se hace en el momento de la siembra. Sin embargo, si consideramos las características de urea, esta práctica no es apropiada en el momento de la siembra por la pérdida de nitrógeno, indispensable para el crecimiento de las plantas de papa.

En orden de importancia los cultivos que se siembran son papa, haba, arveja, cebada y tarwi. La siembra de las leguminosas es una alternativa para mejorar las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelos mediante la incorporación de abonos verdes. Uno de estos cultivos importantes es el haba, es el más utilizado en el sistema de rotación en la región, se caracteriza por una buena producción de biomasa verde.

Por esta razón, la Fundación PROINPA que tiene como principal objetivo desarrollar y transferir tecnologías relacionadas al manejo de la fertilidad del suelo, principalmente con abonos verdes, tomando en cuenta la realidad socioeconómica del sector agrícola, ha iniciado un proceso de investigación participativa. Para cumplir este objetivo se ha institucionalizado la investigación participativa utilizando la metodología IPRA y apoyando a la organización de Comités de Investigación Agrícola Local (CIAL). Se cuenta con un programa de capacitación y transferencia de tecnología basado en las "escuelas de campo", donde se aplican métodos de aprendizaje e investigación propios del proceso de educación informal, que ayudan al agricultor a emplear su propia iniciativa para solucionar las limitantes en la producción. Las "escuelas de campo" no tienen paredes, se enseña en la parcela, con un grupo fijo elegido por el sindicato, el aprendizaje es por descubrimiento que permite al agricultor probar, evaluar, validar y adaptar la tecnología a su medio.

MATERIALES Y METODOS

Parcelas de validación participativa con abono verde

El presente trabajo se esta desarrollando en las comunidades de Chullchuncani, Kewiña Pampa y Muyurina de la provincia Carrasco del departamento de Cochabamba. En Chullchuncani se trabaja con un grupo de dieciocho agricultores, en Kewiña Pampa y Muyurina con cuatro agricultores.

Se hicieron conocer las ventajas del cultivo de haba como abono verde, el momento oportuno de la incorporación al suelo. Si bien, técnicamente el mejor momento de incorporar el cultivo de haba como abono verde es cuando se encuentra en su primera floración, en ese momento el cultivo se encuentra en plena maduración fisiológica (máxima acumulación de materia seca en el follaje) y la concentración de nitrógeno en el follaje se encuentra también en los rangos máximos, no sería prudente esta recomendación por la importancia alimenticia y económica del grano de este cultivo para los agricultores de la zona. Considerando la opinión de los agricultores, se recomendó la incorporación del haba como abono verde luego de la segunda cosecha, momento en el cual el follaje del cultivo mantiene niveles aceptables de nitrógeno en su composición.

Se picó el material vegetal con machete manual, incorporándolo con el arado de vertedera con tracción animal, por que con el arado de palo no se puede incorporar completamente los residuos vegetales.

Para evaluar los efectos de la incorporación del material vegetal se están preparando formularios de encuestas abiertas. Esta encuesta permitirá recabar información de los agricultores acerca de esta práctica de reposición de materia orgánica al suelo.

Capacitación

El primer paso fue determinar una línea de base, a través de una encuesta, para establecer el punto de partida y luego medir los cambios en los conocimientos y prácticas de los agricultores.

La capacitación se concentró en la comunidad de Chullchuncani, por que este grupo trabajó en campañas anteriores en el manejo integrado de nemátodos.

Se capacitó utilizando una guía que consta de seis sesiones, cada una con una parte teórica y una práctica. La parte teórica hace referencia al manejo de fertilizantes químicos y al manejo de estiércol, principalmente de ovino y bovino. En la parte práctica se discute y se analiza, en forma participativa, una práctica ejecutada o por ejecutar.

Las sesiones tratan los siguientes temas:

- Manejo de abonos inorgánicos
- Manejo de abonos orgánicos
- ¿Qué es abono verde y para qué sirve?
- ¿Cuál es el mejor abono verde?
- Manejo del abono verde
- Beneficios de abono verde

Para el seguimiento de los cambios en los conocimientos de los agricultores se realizó una encuesta antes y después de cada sesión, con diez agricultores sorteados al azar del total de participantes.

Al mismo tiempo, se formaron grupos de agricultores evaluadores que instalaron parcelas con la variedad Pairumani¹, en estas parcelas se realizaron evaluaciones del comportamiento de esta variedad y las ventajas que podía tener como abono verde.

Se preparó la guía de capacitación que consiste en la elaboración metodológica de los principios de la tecnología en forma sistematizada y planificada en función al problema tipificado por los agricultores, esta guía contiene una serie de sesiones en base a la temática del problema con formato definido que toma en cuenta el título, grupo meta, duración de la sesión, propósito, objetivo específico, contenido, equipo y materiales. Además se elaboraron flujogramas de capacitación para el uso del capacitador que contiene el proceso mismo y comprende desde la iniciación al final de la sesión.

Días antes de la capacitación se procede a hacer un simulacro de la sesión, el capacitador hace uso de material como papelografos, material de vidrio, material vegetal, etc. En el simulacro participan técnicos de PROINPA que personifican a agricultores y hacen críticas, desde la forma de expresión hasta la forma de presentación. Después del simulacro el capacitador tiene oportunidad de hacer cambios en su forma de presentación. Una vez seguros del objetivo que se quiere lograr en la sesión se procede a la capacitación misma con los agricultores (Figura 1). Las sesiones son participativas, el capacitador utiliza métodos de aprendizaje e investigación que ayudan al agricultor a emplear su iniciativa y entrar al tema de la discusión para llegar a conclusiones de la práctica.

Ejemplo de Una Sesión:

Para que sirve el abono verde

Sesión 3

Duración: 40 minutos.

Grupo meta: Agricultores con problemas de la fertilidad de suelos en la zona de Chullchuncani.

Propósito: Explicar a los agricultores la importancia de la incorporación del abono verde para que se interesen en usarlo.

Objetivos específicos

Al final de la sesión:

Que los agricultores nombren a menos tres beneficios del uso de abono verde

Que los agricultores puedan diferenciar entre suelos con alta presencia de materia orgánica y otro sin materia orgánica.

Que los agricultores nombren una plaga del suelo y que el abono verde limpie de sus suelos.

Contenido

Introducción

Aclaración de expectativas (orden del día).

Conceptos de textura y materia orgánica.

Explicación de suelo malo y suelo fuerte.

Materiales

Por lo menos cinco botellas transparentes, pala para muestrear suelo, bolsas de plástico, bandejas, cartulina, papel sabana, marcadores, baldes plásticos, tutumas plásticas, otros.

Desarrollo de la sesión

En un papelografo preparar dos preguntas a) suelo cansado y b) suelo fértil, junto a cada pregunta dibujar un flaco y un gordo, en el punto que le corresponde. Estos dibujos deben aparecer tapados con un papel para que el agricultor no se de cuenta de que se trata. Los agricultores dan una lluvia de ideas para responder a las preguntas planteadas. Una vez completadas con la lluvia de ideas de las dos preguntas se hace referencia a los dibujos para esto se destapan los dibujos.

¿Cómo hacer para que un hombre se fortalezca? Se escribe esta pregunta en un papelografo. Para la explicación de esta pregunta dibujar dos individuos, un flaco y un gordo. Al centro de estos dibujos anotar la lluvia de ideas proporcionadas por los agricultores que responden la pregunta.

¿Cómo hacer para que un suelo cansado se vuelva fértil? Escribir esta pregunta en un papelógrafo, junto a las afirmaciones a) suelo cansado y b) suelo fértil. Para responder esta pregunta los agricultores darán una lluvia de ideas, las mismas serán anotadas por el capacitador en el papelógrafo.

¿Qué pasa cuando no se alimenta bien el hombre? Para responder esta pregunta, dibujar tres individuos y en orden creciente de gordura. El agricultor dará una lluvia de ideas para responder esta pregunta.

¿Qué pasa cuando no se alimenta bien al suelo? Para responder esta pregunta se dibujaran tres montones de papa con diferentes números de tubérculos, de menor a mayor número.

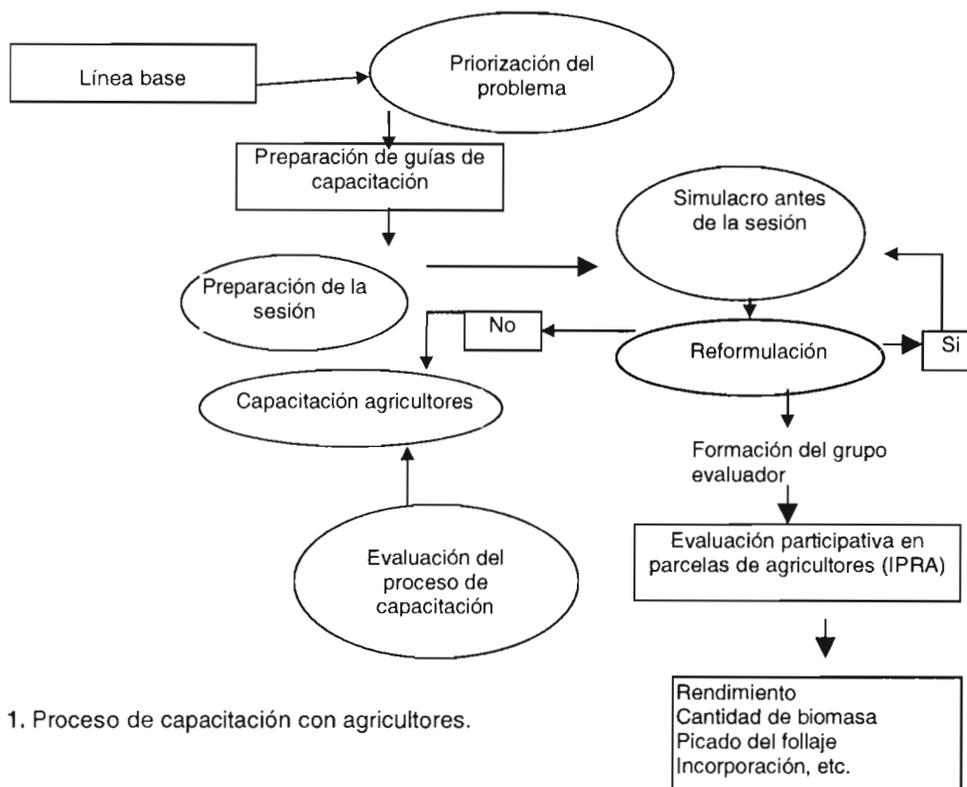


FIGURA 1. Proceso de capacitación con agricultores.

Dinámica grupal

Para resumir esta sesión se monta un juego, donde participan cinco personajes. Cuatro personas hacen de abonos verdes con sus respectivos letreros y una persona hace de suelo, llamada pachamama. El juego comienza, cuando la pachamama entra diciendo "que esta cansada, ya no produce, esta enfermiza, necesita alimentarse". La pachamama entra envuelta con unos pedazos de sogas para simular los nemátodos y la enfermedad, posteriormente entran los abonos verdes llevando alimento a la pachamama (frutas, pan, galletas, etc.) con letreros diciendo "yo soy el abono verde, vengo alimentarte y curarte de las enfermedades para que sigas produciendo". En esta parte los abonos verdes quitan los sogas para liberar a la pachamama de las enfermedades.

La prueba de la botella

Para demostrar el contenido de materia orgánica en el suelo, el capacitador debe llevar al campo a los agricultores y diferenciar los tipos de suelo (negro y blanco). Debe definir lugares de muestreo, los agricultores deberán tomar muestras de suelo con alto contenido de materia orgánica (suelo negro) y suelo con bajo contenido de materia orgánica (blanco). Las muestras deben ser vertidas en botellas, con su respectiva identificación, cada botella debe tener la misma cantidad de agua, luego se agitan

las botellas, se espera unos 10 minutos. Pasado este tiempo se debe preguntar sobre el contenido de materia orgánica de cada botella y someter al agricultor a una discusión sobre la práctica realizada.

CONCLUSIONES

- Las escuelas de campo fueron un instrumento valioso en la transferencia de manejo de la fertilidad de suelos.
- Existe una participación masiva del agricultor en la evaluación de abonos verdes y crea interés en el conocimiento del manejo de abonos orgánicos (estiércoles) e inorgánicos.
- En zonas donde los suelos tienen poca materia orgánica, es recomendable trabajar con agricultores de manera participativa en el tema de abonos verdes para mejorar la fertilidad de los suelos.

BIBLIOGRAFIA

Brian, G., Sims, J. y Bentley, W, s/f. Investigación participativa: un juego de herramientas, pero no la clave del Universo. Reino Unido, Departamento de Desarrollo Internacional, Silsoe, Instituto de Investigación, 1-9 pp.

Gallaher, K. s/f. Las escuelas de campo para agricultores (ECA): un proceso de extensión grupal basado en métodos de educación no formal para adultos. Roma, 1-5 pp.

Jaldin, G., Gandarillas, E y Thiele, G. s/f. Evaluación participativa de barreras vivas en la comunidad de Cebada Jichana (Provincia Tiraque). Cochabamba, Bolivia, Proyecto Laderas y Programa de Investigación de la papa (PROINPA), 1- 11 pp.

Efecto de la extracción de la thola (*Parastrephia quadrangularis*) en la erosión de los suelos de la localidad de Calacoto, provincia Pacajes, departamento de La Paz.

Máx Quelca Quelca¹

¹ Liga de Defensa del Medio Ambiente LIDEMA. Avenida Ecuador 213. Teléfono 353352 – 324909. Fax 591-2-392321. Casilla 11237. La Paz, Bolivia.

RESUMEN

La extracción y la comercialización de la thola para el consumo comercial y doméstico en el municipio de Calacoto van en deterioro del ecosistema de la región, produciendo cambios en el equilibrio de las interacciones existentes entre los componentes del sistema.

La cuantificación de la extracción de la thola y su comercialización por año y el efecto en la erosión de suelos causada por las lluvias y el viento, fueron los objetivos planteados en el proyecto de investigación.

Los resultados son expresados en la comercialización de la thola en fardos por año, lo que refleja áreas deforestadas en hectáreas, la erosión cuantificada en $\text{tn}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{año}^{-1}$ y el número de plantas rebrotadas por tratamientos.

La investigación se realizó en la localidad de Calacoto de la provincia Pacajes del departamento de La Paz, ubicada en el Altiplano Central a una altitud de 3805 msnm a 4000 msnm, temperatura promedio anual de 8°C, una precipitación media anual de 398.16 mm y velocidad media del viento de 8.31 $\text{km}\cdot\text{h}^{-1}$, bajo el enfoque agroecológico empleando la investigación participativa como metodología.

Para cuantificar la erosión hídrica y eólica se establecieron ensayos experimentales al inicio de la época de lluvias, en el mes de diciembre de 1996, y se concluyó con la evaluación final en el mes de abril de 1997 para la erosión hídrica y en el mes de agosto de 1997 para la erosión eólica.

Las unidades experimentales fueron establecidas bajo un diseño de bloques al azar con arreglo factorial, en una pendiente representativa que varía de 2% al 5% y bajo los siguientes tratamientos: T1 = 0%, T2 = 25%, T3 = 50%, T4 = 75% y T5 = 100% de deforestación respectivamente.

Se determinó una densidad de 6800 plantas. ha^{-1} , en función a este dato se ha procedido a la deforestación de 0%, 25%, 50%, 75% y 100% respectivamente que representan a una unidad experimental en las cuales se instalaron estacas graduadas para determinar la erosión del suelo.

El total consumo de la thola en la zona de estudio es de 274 375.67 fardos de thola. año^{-1} , que corresponde a la deforestación de 1371 $\text{ha}\cdot\text{año}^{-1}$, teniendo en cuenta que de una hectárea se extraen un promedio de 200 fardos de thola de 20 - 25 kg.

La erosión hídrica y eólica durante los 10 meses de estudio (diciembre 1996 a agosto de 1997) para los tratamientos de 0%, 25%, 50%, 75% y 100% de deforestación fue de 7.06, 14.33, 31.21, 54.78 y 83.02 $\text{tn}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{año}^{-1}$, respectivamente.

El porcentaje de plantas rebrotadas en los tratamientos de 0%, 25%, 50%, 75%, y 100% de deforestación fue de 0%, 5.88%, 11.76%, 18.62% y 43.15% respectivamente, con una altura promedio de rebrote de 11.72 $\text{cm}\cdot\text{año}^{-1}$.

A ese ritmo de explotación de la thola, tomando en cuenta la estimación de 14,864 ha de pradera nativa tipo tholar estimada en el municipio de Calacoto, en un corto tiempo solo se verán grandes espacios físicos deforestados como consecuencia del manejo y la explotación irracional de los tholares, con la consiguiente degradación paulatina del ecosistema de la región.

INTRODUCCION

La extracción de las especies semileñosas en el Altiplano Central con fines energéticos, uso doméstico, comercial y forrajero, contribuye al deterioro de los ecosistemas, produciendo cambios en el equilibrio de las interacciones existentes entre componentes del sistema, que conllevan a su

inevitable degradación, a un punto donde los recursos vegetales no podrán satisfacer los requerimientos de leña, forraje y otros productos necesarios para alimentar a la población.

En la zona de estudio, la extracción de thola es importante por la cantidad que se extrae y que se comercializa con diferentes fines, es necesario conocer si la cantidad extraída por unidad de superficie permite el rebrote y la regeneración en un determinado tiempo de los tholares, si esto no fuera así entonces estaríamos en un proceso de degradación de los ecosistemas. Por lo expuesto anteriormente, es necesario conocer el destino final que se da a la thola, aunque se sabe que tiene tres destinos definidos como fuente de energía comercial (yeseras), energía doméstica y forraje para los animales, se busca cuantificar la extracción y su comercialización en el tiempo.

Como consecuencia del manejo irracional de los recursos naturales renovables existen espacios físicos deforestados, donde los suelos pierden sus propiedades físicas, químicas y biológicas, llegando a una degradación paulatina, que se refleja en la erosión hídrica y eólica del suelo.

En el suelo se desarrollan especies vegetales que son consideradas como protectoras de la capa arable, cuando se deja sin un manto de protección, el suelo está sujeto a una degradación paulatina y expuesto a los agentes erosivos como las precipitaciones y el viento, por tanto es importante determinar y cuantificar la pérdida de la capa arable del suelo.

MATERIALES Y METODOS

La investigación se realizó en el Altiplano Central de la localidad de Calacoto a 125 km de la ciudad de La Paz, pertenece a la Tercera Sección de la provincia Pacajes del departamento de La Paz, cuya altitud varía entre 3805 msnm a 4000 msnm, con una temperatura media anual de 8°C, precipitación media de 398.16 mm.año⁻¹ y una velocidad de viento de 8.31 km.h⁻¹.

La investigación se ha realizado bajo el enfoque agroecológico y la metodología empleada fue la investigación participativa, la cual tiene como métodos los estudios de casos, conversación directa, acompañamiento a las actividades diarias del agricultor, charlas informales y talleres comunales (Figura 1).

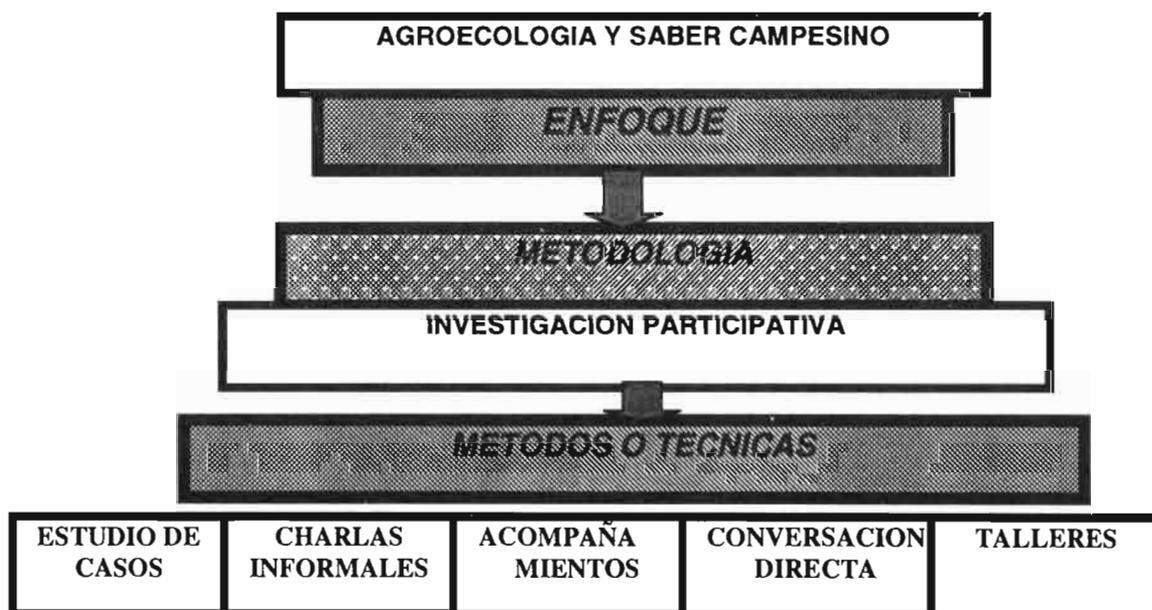


FIGURA 1. Metodología de investigación.

Bajo este enfoque y con la metodología mencionada el trabajo de investigación se dividió en tres fases:

Trabajo de gabinete

En esta fase se realizó la recopilación de información secundaria y experiencias de campo de las instituciones.

La información más importante fue recopilada de:

- Bibliotecas de las Facultades de Agronomía de la Universidad Mayor de San Andrés (UMSA) y la Universidad Mayor de San Simón (UMSS).
- Ministerio de Asuntos Campesinos y Agropecuarios (MACA), Liga de Defensa del Medio Ambiente (LIDEMA), Proyecto Especial Lago Titicaca (PELT) y el Herbario Nacional de Bolivia.
- Servicios Múltiples de Tecnologías Apropriadas (SEMTA), informes anuales y experiencias de campo en la zona.
- Centro de Servicios Integrados para el Desarrollo Urbano (PROA), Informes anuales y experiencia de campo en la zona.
- Mapas cartográficos del Instituto Geográfico Militar (I.G.M.) a escalas 1 : 50.000 y 1 : 250.000.
- Los Planes Anuales Operativos (POAs) del Municipio de Calacoto de las gestiones 1996 - 1997.

Macroplaneamiento

Consistió en identificar y conocer a la comunidad realizando un reconocimiento y diagnóstico, a través de reuniones de aproximación con los dirigentes, bases comunales y las autoridades políticas del municipio, una vez concertada la investigación, se inició con la siguiente subfase.

Importancia de la thola (*P. quadrangularis*)

Este dato fue obtenido por medio de la investigación participativa, verificado y validado en los talleres comunales participativos. Para poder determinar la importancia de la thola, se realizó la identificación de las comunidades proveedoras de thola para su uso comercial y doméstico. Luego, se determinó el número de fardos que se comercializa por día, semana, mes y en un año, que se resume en áreas deforestadas expuestas a los agentes erosivos las precipitaciones y el viento.

Evaluación de la erosión hídrica y eólica.

Identificada la comunidad y el espacio físico para la cuantificación de la erosión hídrica y eólica, se estableció el ensayo experimental al inicio de la época de lluvias en el mes de diciembre de 1996 y se concluyó con la evaluación final con las últimas lluvias en el mes de abril de 1997 para la erosión hídrica y en el mes de agosto de 1997 para la erosión eólica.

Para la cuantificación de la erosión hídrica y eólica:

- Se delimitó el área en donde fue establecido el ensayo, bajo el diseño de bloques al azar con arreglo factorial, teniendo los siguientes tratamientos: T1 = 0% de deforestación, T2 = 25% de deforestación, T3 = 50% de deforestación, T4 = 75% de deforestación, T5 = 100% de deforestación y con tres repeticiones.
- La pendiente determinada en el ensayo experimental fue de 2% a 5% de orientación oeste, con una superficie por tratamientos de 50 m² que representa una unidad experimental, 250 m² por bloque y una superficie total de tres bloques de 750 m².
- Para efectuar el porcentaje de extracción ó deforestación de los tratamientos, previamente se determinó la densidad de plantas, obteniéndose 6800 plantas.ha⁻¹.
- Se realizó la deforestación al azar de las plantas de thola al 0%, 25%, 50%, 75% y 100%.
- El siguiente paso, fue instalar las estacas graduadas de madera con punta afilada, cuyas dimensiones fueron de 50 cm de longitud y 3 cm de diámetro quedando bajo el suelo 30 cm y 20 cm sobre la superficie del suelo.
- La toma de datos de pérdida de la capa arable del suelo (degradación), se realizó cada 15 días durante la época de lluvias y la época seca, de forma separada.
- Se determinó el área monticular y el área de los espacios intertholares a través de la toma de datos al azar del diámetro de los montículos ocupados por las plantas. Considerando el porcentaje de deforestación y la densidad de plantas de 34 plantas cada 50 m², se tiene 34.70 m² ocupados por los espacios intertholares para todos los tratamientos y 1.35, 3.80, 7.65, 11.48 y 15.30 m² de montículo deforestado, cuando los tratamientos son de 0%, 25%, 50%, 75% y 100% de deforestación, en base a estas áreas reales se realizó el cálculo del suelo erosionado (Cuadro 1).

CUADRO 1. Area espacio intertholar (EIT) y monticular (m²)

Tratamientos	Porcentaje de deforestación	Area espacio intertholar	Area monticular deforestada	Area monticular sin deforestar	Total m ²
1	0%	34.70	1.35	13.95	50
2	25%	34.70	3.80	11.50	50
3	50%	34.70	7.65	7.65	50
4	75%	34.70	11.48	3.80	50
5	100%	34.70	15.30	-	50

- Luego se procedió a realizar el cálculo del suelo erosionado por las precipitaciones y el viento en $\text{tn.m}^{-2}.\text{año}^{-1}$ en los montículos y en los espacios intertholares a través de la siguiente fórmula:

$$PSE = Dap \times Prof \times Sup.$$

Donde:

PSE = Peso del suelo erosionado en $\text{tn.m}^{-2}.\text{año}^{-1}$.

Dap = Densidad aparente del suelo en estudio en tn.m^{-3} en los espacios intertholares y en los montículos.

Prof = Lámina del suelo erosionado en m (promedio de las estacas de erosión en los espacios intertholares y en los montículos).

Sup = Superficie en m²

- Se realizó la transformación del suelo erosionado a $\text{tn.ha}^{-1}.\text{año}^{-1}$ por factor de conversión, considerando una superficie real de erosión de 50 m².
- Finalmente los resultados cuantificados, de la pérdida del suelo por erosión, fueron presentados en un taller comunal participativo para ser analizados, discutidos, complementados y validados.

Después de seguimiento en campo desde diciembre de 1996 a diciembre de 1997, en las mismas parcelas donde se cuantificó la erosión del suelo, se determinó el número de plantas rebrotadas y la altura de crecimiento en cada uno de los tratamientos.

Una vez cuantificado el número de plantas rebrotadas, se realizó la comparación con la densidad de las plantas antes de la deforestación, para luego determinar el porcentaje de rebrote en cada uno de los tratamientos.

Se hizo la entrega de la investigación a la comunidad para su análisis, discusión, complementación y aprobación.

RESULTADOS Y DISCUSION

Comunidades proveedoras de thola.

El municipio de la Tercera Sección de Calacoto se caracteriza por tener una buena parte de su territorio cubierto por pradera nativa tipo tholar. En el cuadro 2 se ven las comunidades que fueron identificadas con pradera nativa tipo tholar.

Estudios realizados de fotointerpretación han permitido estimar la superficie de pradera nativa tipo tholar en 14,864 ha en el municipio de Calacoto (Quispe, 1997).

CUADRO 2. Comunidades con pradera nativa tipo tholar.

Comunidades	Estancias
Copacati	Callanca, Anantoco, Calahuancani, Aguada, Totorpata.
Contorno Calacoto	Zona A, Zona B, zona C.
Taracollo Condoroca	Cumaravi, Ticapata, Papata, Villa Pampa, Jankochallhuani, Condor Iquiña, Bamburuta, Macuri
Junuta Condoroca	Agua Rica, Janko Marca, Challuyo, Calama, Villa Mercedes
Sora	Suntura.
Ninoca	Catavi, Caluta, Choquequillacani, Challapujo, Pococollo
Collana Baja	Max Toledo, Romero pampa, Vilacollo, Pasancuta

Fuente: Elaboración propia en base a datos de campo.

Proceso de extracción, enfardelado y comercialización

La extracción de la thola se realiza desde la raíz, con picotas de ala grande y punta fina. Su extracción depende del tipo de suelo, época del año y la habilidad del leñador, el número de fardos que se recogen de una hectárea es aproximadamente de 200.

El enfardelado se realiza mediante el uso de parantes de piedra ó de madera que se instalan para este propósito, las herramientas que se utilizan son alicates, guantes, palos para tezar y el alambre para formar el fardo de leña de 20 kg de peso como promedio.

La comercialización de los fardos de thola se realiza en camiones de 120 qq y 280 qq de capacidad, que transportan de 160 fardos y 260 fardos respectivamente, que son distribuidos en los hornos de pan de Calacoto y las yeserías del Cantón José Manuel Pando.

Para cuantificar en forma objetiva el consumo de thola en toda la zona de estudio y por año se han determinado cuantos fardos de leña tienen como destino las yeserías del cantón José Manuel Pando, los hornos de pan de Calacoto y el consumo doméstico.

CUADRO 3. Consumo comercial y doméstico de la thola

Destino	Consumidores		Número de fardos de thola			Número de camiones		
	Total	Individual	Día	Mes	Año	Día	Mes	Año
Yeserías	56	4.695	262.92	8019.07	96228.83	1.32	40.09	481.14
Hornos pan	7	0.32	2.24	68.32	819.84	0.011	0.34	4.10
Doméstico	969	0.50	484.50	14777.25	177327.00	2.42	73.89	886.63
Total	-	-	749.66	22864.64	274375.67	3.75	114.32	1371.87

Fuente: Elaboración propia en base a talleres comunales participativos

Las yeserías del cantón José Manuel Pando utilizan como fuente de energía la thola para la calcinación de piedras de sulfato de calcio dihidratado, que se comercializa en fardos de 20 - 25 kg de peso, los que son transportados y comercializados desde las comunidades del municipio de Calacoto en camiones de 120 qq y 280 qq de capacidad.

Considerando que trabajan regularmente siete hornos de pan, se tiene un consumo promedio por día de 2.24 fardos y 68.32 fardos por mes, que equivale a un consumo promedio por año de 819.84 fardos de thola de 20 - 25 kg que corresponden a 4.1 camiones por año.

El consumo diario de thola estimado para la cocción de los alimentos de una familia de 5 miembros fue de 0.50 fardos, considerando 969 familias con acceso directo a pradera nativa tipo tholar. Por tanto, se tiene un consumo promedio por día de 484.50 fardos y un consumo anual de 177,327 fardos de thola por año de 20 - 25 kilogramos aproximadamente (Cuadro 3).

Análisis de la precipitación y el viento

Los datos de las precipitación y las velocidades de viento fueron proporcionados por Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología (SENAMHI).

Comparando la precipitación normal 398 mm.año^{-1} y la precipitación durante la época de estudio que fue de 735 mm.año^{-1} , cuya diferencia es de 336 mm.año^{-1} , que representa una precipitación superior en un 84.60% en relación a la precipitación normal, la cual incide sobre la erosión del suelo de forma significativa. La velocidad media normal del viento es de 8.31 km.h^{-1} y durante la época de estudio fue de 12.22 km.h^{-1} , la diferencia es de 3.91 km.h^{-1} , que representa velocidades de viento superiores en un 47.05% en relación a la velocidad media normal, que incide de forma significativa en la erosión del suelo (Cuadro 4).

Las diferencias de la precipitación y velocidades de viento durante la época de estudio y los datos promedios de los años 1943 - 1996, se atribuyen a cambios climatológicos de la región considerados aislados y que se presentan cada cierto tiempo.

CUADRO 4. Precipitaciones y velocidades de viento de los años (1943 - 1996) y durante la época de estudio (1996 - 1997).

Tiempo (meses)	Datos de los últimos 53 años		Datos durante la época de estudio (96 - 97)	
	Precipitaciones (mm.año ⁻¹)	Velocidad de viento (km.h ⁻¹)	Precipitación (mm.año ⁻¹)	Velocidad de viento (km.h ⁻¹)
Enero	108.88	7.96	216.60	-
Febrero	79.69	8.51	260.90	-
Marzo	56.10	6.79	61.90	-
Abril	15.15	7.33	28.60	9.26
Mayo	3.94	8.04	-	12.96
Junio	3.92	7.68	-	12.96
Julio	1.13	8.41	-	9.26
Agosto	6.10	8.75	-	16.67
Septiembre	10.84	10.33	-	-
Octubre	13.25	9.50	-	-
Noviembre	27.40	8.52	-	-
Diciembre	71.75	7.89	166.90	-
Promedio	398.16	8.31	735.00	12.22

Fuente: SENAMHI, Estación Calacoto Pacajes 1997.

Cuantificación de la erosión del suelo.

Se realizaron la apertura de calcatas de 1 m de ancho y 2 m de largo a una profundidad de 1.5 m en los montículos y en los espacios intertholares, con el propósito de realizar la descripción de los diferentes horizontes ó estratos que presentan.

Las características morfológicas de los horizontes en los montículos se muestran en el cuadro 5, las mismas presentan una secuencia de horizontes de Ao, A11, A12, B1 y C1, el horizonte Ao representa el área monticular. En el cuadro 6 se ven las características morfológicas de los horizontes en los espacios intertholares, donde se aprecia una secuencia de horizontes de A11, A12, B1 y C1, no existe el horizonte Ao, por que el área sin vegetación.

CUADRO 5. Características morfológicas de los horizontes en montículos.

Horizontes	Profundidad (cm)	Descripción
Ao	0-5	Pardo: (10YR 5/4) en seco, pardo oscuro (10YR 3/4) en húmedo; franco arenoso, estructura migajosa, ligeramente adherente no plástico, friable en húmedo, blando en seco, raíces finas pocas y medianas, límite gradual plano.
A1	5-15	Pardo (10YR 5/4) en seco, pardo amarillento oscuro (10YR 3/6) en húmedo, franco arenoso, tendiendo a franco arcillo arenoso, estructura migajosa, ligeramente adherente y ligeramente plástico friable, raíces finas y medianas comunes, límite gradual plano.
A2	15-27	Pardo oscuro (10YR 4/3) en seco, pardo oscuro (10YR 3/4) en húmedo, franco arcillo arenoso, con grabilla, y no plástico, pocas raíces finas y medianas, límite gradual plano.
B	27-44	Pardo rojizo (5YR 4/4) en seco, pardo rojizo oscuro (5YR 3/3) en húmedo, arcillo arenoso con grabilla, adherente no plástico, firme en húmedo, y duro en seco, límite gradual ondulado.
C	44-110	Pardo claro (10YR 6/3) en seco, pardo oscuro (10YR 3/4) en húmedo, arenoso con grabilla, sin estructura, debilmente cementado.

CUADRO 6. Características morfológicas de los horizontes en espacios intertholares

Horizontes	Profundidad (cm)	Descripción
A1	0 – 10	Pardo (10YR 5/4) en seco, pardo amarillento oscuro (10YR 3/6) en húmedo, franco arenoso, tendiendo a franco arcillo arenoso, estructura migajosa, ligeramente adherente y ligeramente plástico friable, pocas raíces finas y medianas, límite gradual plano.
A2	10 – 22	Pardo oscuro (10YR 4/3) en seco, pardo oscuro (10YR 3/4) en húmedo, franco arcillo arenoso, con grabilla, y no plástico, límite gradual plano.
B	22 – 39	pardo rojizo (5YR 4/4) en seco, pardo rojizo oscuro (5YR 3/3) en húmedo, arcillo arenoso con grabilla, adherente no plástico, firme en húmedo, y duro en seco, límite gradual ondulado.
C	39 – 105	Pardo claro (10YR 6/3) en seco, pardo oscuro (10YR 3/4) en húmedo, arenoso con grabilla, sin estructura, debilmente cementado.

Las características físico-químicas del suelo en los espacios intertholares y en los montículos en la zona de estudio se resume en el cuadro 7. La composición granulométrica determinada en los montículos y en los espacios intertholares es franca y franco arenosa, para ambos casos. La densidad aparente en los montículos fue de 1.18 y en los EIT fue de 1.30 g.cm⁻³, estos valores fueron usados en el cálculo del suelo erosionado.

La materia orgánica y el nitrógeno total determinado en los montículos fueron de 5.09 % y 0.23 %, y en los espacios intertholares de 2.45 % y 0.13 % respectivamente, apreciándose mayor concentración de materia orgánica y nitrógeno en los montículos.

Molina (1991), establece que los suelos del Altiplano Central tienen una concentración de 2.50 % de materia orgánica, 6.96 ppm. de fósforo, 0.63 meq. de potasio con un pH de 6.85.

Montecinos (1994), determinó el porcentaje de nitrógeno, ppm de fósforo, meq de potasio y porcentaje de materia orgánica en los montículos y espacios intertholares de: 0.19, 26.27, 1.30 y 9.91. y de 0.15, 16.90, 0.84 y 2.50 respectivamente para suelos similares.

CUADRO 7. Características físico-químicas del suelo.

Características	Area monticular	Area espacio intertholar (E.I.T)
Textura	franco, franco arenoso	franco, franco arenoso
Densidad aparente (Dap) g.cm ⁻³	1.18	1.30
Materia orgánica (M.O.)%	5.09	2.45
Nitrógeno total %	0.23	0.13
Ca meq.100g ⁻¹ de suelo	5.90	4.80
Mg meq.100g ⁻¹ de suelo	2.10	2.60
Na meq.100g ⁻¹ de suelo	0.64	0.53
K meq.100g ⁻¹ de suelo	2.12	1.35
TBI meq.100g ⁻¹ de suelo	10.76	9.28
CIC meq.100g ⁻¹ de suelo	11.86	9.84
% Saturación de bases.	90.90	94.16
Fósforo disponible ppm	39.50	30.66
PH	5.80	5.58
CE mmhos.cm ⁻³	0.076	0.032

Fuente: Laboratorio de Suelos y Aguas, Facultad de Agronomía UMSS Cochabamba 1997.

En el cuadro 8, se analiza la erosión hídrica y eólica del suelo en los espacios intertholares y en los montículos, de forma separada, ya que las características físico-químicas del suelo son diferentes en cada una de ellos.

CUADRO 8. Erosión hídrica y eólica en los E.I.T. y en los montículos en $\text{tn.ha}^{-1}\text{año}^{-1}$

Tratamientos	Porcentaje de Deforestación	E.I.T.		Total	Montículo		Total
		Lluvias	Viento		Lluvias	Viento	
1	0%	4.51	2.71	7.22	0.32	(-0.48)	(-0.16)
2	25%	7.22	4.51	11.73	1.97	0.63	2.60
3	50%	12.63	7.21	19.84	8.12	3.25	11.37
4	75%	18.04	12.63	30.67	17.07	7.04	24.11
5	100%	21.65	19.85	41.50	27.08	14.44	41.52

Fuente: Elaboración propia en base a datos de campo.

La sumatoria de la erosión hídrica y eólica en los espacios intertholares fueron de 7.22, 11.73, 19.84, 30.64 y 41.50 $\text{tn.ha}^{-1}\text{año}^{-1}$ cuando los tratamientos son de 0%, 25%, 50%, 75% y 100% de deforestación respectivamente.

La sumatoria de la erosión por las lluvias y el viento en los montículos fueron de (-0.16), 2.60, 11.37, 24.11 y 41.52 $\text{tn.ha}^{-1}\text{año}^{-1}$ cuando los tratamientos son de 0%, 25%, 50%, 75% y 100% de deforestación respectivamente.

Realizando la suma de las erosiones hídrica y eólica en los montículos, se aprecia en el tratamiento al 0% de deforestación una ganancia neta de suelo de 0.16 $\text{tn.ha}^{-1}\text{año}^{-1}$, resultado que nos demuestra la importancia del manejo racional de los recursos naturales renovables.

La erosión total cuantificada durante la época de estudio en los espacios intertholares y en los montículos en los diferentes tratamientos para la erosión hídrica y eólica se aprecia en el cuadro 9.

CUADRO 9. Erosión hídrica y eólica.

Tratamientos	Porcentaje de deforestación	Erosión hídrica ($\text{tn.ha}^{-1}\text{año}^{-1}$)	Erosión eólica ($\text{tn.ha}^{-1}\text{año}^{-1}$)	Total erosión por lluvias y el viento ($\text{tn.ha}^{-1}\text{año}^{-1}$)
1	0%	4.83	2.23	7.06
2	25%	9.19	5.14	14.33
3	50%	20.75	10.46	31.21
4	75%	35.11	19.67	54.78
5	100%	48.73	34.29	83.02

La erosión total es la suma de las erosiones hídrica y eólica durante los 10 meses de estudio y seguimiento en campo donde los resultados para los tratamientos de 0%, 25%, 50%, 75% y 100% de deforestación fueron de 7.06, 14.33, 31.21, 54.78 y 83.02 $\text{tn.ha}^{-1}\text{año}^{-1}$ respectivamente.

La cobertura vegetal disminuye la velocidad de caída de las gotas de lluvia y amortigua la velocidad del viento, así nos demuestran los resultados de la proporcionalidad de la pérdida del suelo por erosión en relación al porcentaje de deforestación.

Aquino (1996), determinó una pérdida de suelo de 4.71 $\text{tn.ha}^{-1}\text{año}^{-1}$ en condición de vegetación natural, mientras que bajo cultivo de maíz la pérdida de suelo oscila entre 22.6 a 90.00 $\text{tn.ha}^{-1}\text{año}^{-1}$, para una precipitación media anual de 2441.4 mm.año^{-1} .

La pérdida de suelo debido a las precipitaciones en cultivo de arroz en los pendientes de 30 % y 40 % fueron: 39.27, 43.84 y 53.44 tn.ha^{-1} por campaña y de 43.95, 49.86 y 69.97 tn.ha^{-1} por campaña respectivamente, considerando una densidad de siembra de 40, 30 y 20 kg.ha^{-1} para una precipitación de 1959.81 mm.año^{-1} (Corino 1996).

Molina (1991), para una precipitación de 283.20 mm.año^{-1} , determinó la erosión del suelo en 0.71 $\text{tn.ha}^{-1}\text{año}^{-1}$ cuando se cultiva en sentido de la pendiente, en cambio en cultivos con surcos en sentido contrario a la pendiente fue de 0.18 $\text{tn.ha}^{-1}\text{año}^{-1}$ y de 0.26 $\text{tn.ha}^{-1}\text{año}^{-1}$ para cultivos sin surco.

El promedio de rebrote y regeneración en cada uno de los tratamientos (0%, 25%, 50%, 75% y 100% de deforestación) fue de 0, 2, 4, 6.33 y 14.67 plantas respectivamente. El porcentaje de plantas que creció nuevamente para cada uno de los tratamientos fue de 0, 5.88, 11.76, 18.62 y 43.15 % respectivamente, con una altura promedio de 11.72 cm.año^{-1} (Cuadro 10).

La densidad de rebrote en relación a la densidad anterior, es inferior al porcentaje de deforestación para cada uno de los tratamientos, con un incremento de los espacios intertholares susceptibles a la degradación física del suelo.

CUADRO 10. Número de plantas porcentaje y altura de rebrote.

Tratamientos	Porcentaje de deforestación	Número de Plantas	Porcentaje (%)	Altura (cm)
1	0%	0.00	0.00	0.00
2	25%	2.00	5.88	10.00
3	50%	4.00	11.76	13.70
4	75%	6.33	18.62	10.17
5	100%	14.67	43.15	13.00
Promedio				11.72

La precipitación, las nevadas y el control de pastoreo favorecen el rebrote y crecimiento de las plantas. Las heladas, sequía, granizo, sobrepastoreo, manejo inadecuado de praderas nativas tipo tholar y la existencia de plagas y enfermedades perjudican el rebrote y el crecimiento.

Lojan (1992), señala que el pastoreo elimina la regeneración natural porque las ramas tiernas son palatables para los camélidos y ovinos, especialmente cuando escasea otro tipo de forrajes blandos.

Mallea (1996), establece que el crecimiento de la thola es variable dependiendo de las condiciones del suelo, agua y la ubicación del terreno, por tanto el incremento medio anual (IMA) es de 9.6 cm.año⁻¹ y el incremento promedio anual (IPA) es de 9.5 cm.año⁻¹.

Por su parte Quispe (1997) hace notar que la thola presenta un incremento medio anual de 9.21 cm.año⁻¹ y tardará más de 10 años para llegar a la altura comercial de 80 cm y 1.06 kg de peso, el tiempo de recuperación natural de una parcela deforestada será de 15 o 20 años.

CONCLUSIONES

- Al ritmo de explotación de la thola, tomando en cuenta la estimación de 14,864 ha de pradera nativa tipo tholar en el municipio de Calacoto, en un corto tiempo solo se verán grandes espacios físicos deforestados como consecuencia del manejo y la explotación irracional de los tholares con la degradación paulatina del ecosistema de la región.

BIBLIOGRAFIA

Aquino, C. E., 1996. Erosividad de las lluvias y su relación con la erodabilidad de los suelos en la localidad de San Buena Ventura. La Paz, Bolivia, Tesis de Grado Universidad Mayor de San Andrés, pp. 155 - 156.

Corino, R., 1996. Efecto de las lluvias en la erosión de suelos cultivados con arroz (*Oriza sativa*) en la localidad de Alto Beni. La Paz, Bolivia, Tesis de Grado, Universidad Mayor de San Andrés, pp. 107 108.

Lojan, I., 1992. El verdor de los Andes. Quito, Ecuador, Editorial Luz de América, pp. 72 - 75.

Mallea, J., 1996. Importancia de las especies leñosas dentro de un sistema de producción tradicional en el altiplano central. La Paz, Bolivia, Tesis de Grado, Universidad Mayor de San Andrés, pp. 190 - 191.

Molina, J. P., 1991. Efecto de tres formas y dos densidades de siembra en cebada sobre la erosión hídrica de un suelo en el altiplano central. La Paz, Bolivia, Tesis de Grado Universidad Mayor de San Andrés, Facultad de Agronomía, pp. 81 - 82.

Montecinos, J., 1995. Factores edáficos seleccionados como indicadores de degradación de una pradera nativa tipo tholar del altiplano semiárido. La Paz, Bolivia, Tesis de Grado Universidad Mayor de San Andrés. pp. 117-118.

Proyecto Especial Lago Titicaca (PELT), 1993. Inventariación y evaluación del proyecto de riego en el sistema TDPS (Titicaca, Desaguadero, Poopó - Salar), Sub Comisión Mixta Peruano Boliviano para el Desarrollo de la Zona de la Integración de Lago, La Paz, Bolivia, pp. 2-3.

Quispe, J., 1997. Uso de la supo thola en la pequeña industria yesera. Estudio de caso: Pacajes, La Paz. La Paz, Bolivia, Tesis de Grado Universidad Mayor de San Andrés, pp. 79, 80, 90.

Ranaboldo, C., 1990. Estrategia Agroeconómica de Pacajes. Servicios Múltiples de Tecnologías Apropriadas. La Paz, Bolivia, Editorial Huellas SRL, pp. 104 - 105.

Rist, S., 1995. La investigación participativa en comunidades campesinas. Cochabamba, Bolivia, Agroecología Universidad Cochabamba (AGRUCO), Universidad Mayor de San Simón.

Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología (SENAMHI), 1997. Datos climáticos de Bolivia, Estación Calacoto.

Caracterización del sitio de plantación con un objetivo de manejo sostenible del suelo

Piere-Henri Dimanche¹

¹Proyecto FAO Holanda. Casilla 223. Potosí, Bolivia

RESUMEN

Desde 1991 el proyecto Desarrollo Forestal Comunal en el Altiplano Boliviano viene promoviendo, en el departamento de Potosí, la incorporación de cobertura vegetal en el manejo sostenible de los recursos naturales. Aceptando el reto que imponen las condiciones extremas de clima y de suelo del departamento, se ha considerado importante un mejor conocimiento de las potencialidades y limitaciones del sitio de plantación para el establecimiento de especies forestales. Con este fin, se ha propuesto una metodología de caracterización de sitio de plantación para técnicos y profesionales comprometidos con el desarrollo integral.

INTRODUCCION

El proyecto Desarrollo Forestal Comunal en el Altiplano Boliviano FAO/Holanda/Prefectura viene promoviendo la incorporación del árbol, arbusto y/o pasto conjuntamente con el manejo sostenible del agua y suelo. Con el manejo de los recursos naturales por los propios campesinos, se busca lograr una mayor productividad por área.

La incorporación de la vegetación y el manejo de los recursos está íntimamente ligado al tipo y calidad de suelo, a su uso y también a las características climáticas del lugar. Tanto campesinos como proyecto, aceptando el reto de las condiciones extrema de clima y suelo del departamento de Potosí, están convencidos de la necesidad de dar mayor importancia a las potencialidades y limitaciones del sitio de plantación.

MATERIALES Y METODOS

Se propone una metodología de caracterización de sitio que toma en cuenta los parámetros de clima, suelo y agua, topografía y vegetación.

Caracterización climática

La caracterización climática debe contemplar una combinación de los datos pluviométricos, de las temperaturas extremas de los vientos (dirección, fuerza y épocas) y de los días de heladas (números y épocas). La conjugación de los datos climáticos y de los datos topográficos permitan elegir las especies forestales.

A partir de los registros de 18 estaciones meteorológicas repartidas en las provincias atendidas por el proyecto, manejadas por el Servicio de Meteorología e Hidrología durante los últimos 30 años, se tiene datos básicos que pueden determinar el clima de las zonas de trabajo del proyecto. Pero, conociendo la gran variabilidad espacial del clima, se ha considerado necesario tener una mayor precisión en los lugares de trabajo, se decidió instalar 30 pluviómetros y termómetros más en las áreas donde se trabaja.

Los datos pluviométricos, de temperaturas, número de días de heladas y la intensidad del viento son anotados en una hoja de registros.

Características del suelo y agua

La caracterización del suelo puede contemplar hasta 10 pasos, pero no todos serán necesariamente realizados en cada sitio de plantación. La caracterización física y química será efectuada en función de la información necesaria.

Presentamos en este artículo una visión global de los diferentes pasos útiles para la caracterización del suelo. El primer paso para identificar un suelo es la observación de su perfil que es caracterizado por una sucesión de horizonte. Para eso, se necesita abrir una calicata que debe tener, según la dureza del suelo, las dimensiones siguientes : ancho de 0.6 a 1 m, largo 0.6 a 1 m, profundidad de 1 a 1.5 m Una vez lista la calicata, se procede a observar el perfil y se identifican los horizontes (se

distinguen por la estructura, textura y colores diferentes), ver el límite inferior de cada horizonte, medir el espesor y anotar los resultados.

La presencia de piedras y/o afloramiento rocoso sobre o cerca de la superficie del suelo, pueden molestar la actividad de plantación. Generalmente, las piedras de un diámetro inferior a 25 cm pueden ser desplazadas sin dificultad para realizar la plantación, la caracterización de la pedregosidad superficial considera las piedras con un diámetro superior a 25 cm y los afloramientos rocosos. Para la evaluación de este parámetro se puede tesar sobre el suelo una cuerda de 10 m de largo en cualquier dirección y anotar la eventual presencia de afloramientos en un rayo de 50 cm. Si no se presenta ningún afloramiento rocoso en este largo, colocar una segunda y tercera vez la cuerda en la prolongación de la primera medida y notar la presencia de afloramiento. Se debe repetir esta acción 10 veces al azar en el sitio de plantación. Con este método, se puede evaluar de manera sencilla y rápida el espacio promedio entre afloramientos y el porcentaje de suelo cubierto por ellos.

La presencia de piedras en el perfil puede limitar o molestar el desarrollo de las raíces en profundidad, es importante evaluar el porcentaje de pedregosidad en el perfil comparando lo observado en la pared de descripción de la calicata con algunos esquemas de referencia.

En la caracterización del sitio, la textura representa un parámetro importante como indicador de las condiciones físicas del suelo, de su régimen hídrico y de su fertilidad. La textura va influir fuertemente en la elección de la especie que se puede plantar. La textura es la proporción de constituyentes minerales de la tierra fina, diferenciados en arcilla, limo y arena. Conociendo el porcentaje de cada elemento, la clasificación se realiza mediante el empleo de un triángulo de textura. Dos métodos pueden ser utilizados para caracterizar la textura: el método al tacto y el análisis de laboratorio. El método al tacto consiste en frotar y amasar el suelo previamente humedecido en la mano, palpando la granulación, cohesión y plasticidad del material.

La estructura es el ordenamiento espacial de los componentes del suelo, influye significativamente en los regímenes de aire y agua del suelo, como a su vez en la arraigabilidad. La caracterización de la estructura puede ser realizada comparando lo observado en la pared de descripción de la calicata con las estructuras que se presentan en esquemas.

En la caracterización química, la interpretación de los resultados analíticos, necesita una síntesis de los diversos factores observados teniendo en cuenta en particular el tipo de suelo y el tipo de cultivo o plantación previsto. En la interpretación de los análisis de suelo, es necesario distinguir la noción de riqueza de un suelo en los diferentes elementos, valor definido por el análisis, y la noción de fertilidad que es la aptitud de un suelo para un determinado cultivo, este es un valor más difícil de definir. Los principales parámetros químicos que necesitan conocer son: pH, salinidad, calcio, magnesio y el azufre. La caracterización de la fertilidad se hace principalmente a través del análisis de elementos como la materia orgánica, el nitrógeno, el fósforo y el potasio

Cada uno de esos parámetros tiene un rol bien preciso en el desarrollo de la planta, directamente como constituyente de la planta tal como el nitrógeno, el fósforo, el potasio, etc. o indirectamente como la salinidad, el pH o la materia orgánica, al constituirse en factores limitantes en el crecimiento de las plantas, afectando la actividad biológica normal.

La profundidad fisiológica o arraigable es la profundidad potencial del suelo arraigable, desde la que las plantas pueden extraer agua y elementos nutritivos necesarios para su desarrollo. Depende de las propiedades físicas y química del suelo para determinar sus consideraciones favorables para el desarrollo de las raíces o condiciones limitantes absolutas y permanentes, con horizontes de alta densidad, concentración de sales, nivel freático, etc.

Después de realizar los análisis físicos y químicos, es posible definir la profundidad fisiológica.

La caracterización del agua en el sitio de plantación nos ayuda a identificar y notar la presencia de fuentes de agua potenciales o que se están utilizando para riego. Se hace un análisis químico del agua a fin de detectar una eventual contaminación que podría ser dañina para las plantaciones y/o cultivos. Además de las características ya mencionadas se debe tomar en cuenta la posición del sitio que trata de describir el sitio (ladera, playa, etc.) y su ubicación (cumbre, dorso, ladera alta, etc.), esta información nos da una idea de la hidrografía del sitio. Otro elemento a tener en cuenta es la altitud, es un dato importante para la elección de la(s) especies (s) a plantar. Al mismo tiempo el dato de pendiente puede servir para tener una idea del drenaje interno y de la infiltración que puede servir para tener una idea del drenaje interno y de la infiltración del sitio de plantación.

Las formas de laderas más comunes son: homogéneamente inclinada, convexa, cóncava y forma de terraza. Explica las variaciones del suelo además que da una información sobre el régimen hídrico del

sitio. Otro elemento importante es la exposición, nos sirve como indicador de la temperatura y de la radiación del sitio. Una ladera con una exposición al norte por ejemplo recibe más sol y es en consecuencia más caliente que una ladera con exposición al sur.

Se debe buscar trazas de erosión o huellas como erosión laminar, surcos, cárcavas y de riberas. Para tener un indicador de la susceptibilidad del suelo al proceso de erosión, sirve para elegir las técnicas de plantación y la (s) especie (s) a plantar.

Caracterización de la vegetación

La vegetación natural es indicadora de las condiciones de sitio e influye a su vez en la formación del suelo. Es necesario entonces describir la vegetación presente en el sitio, las especies botánicas presentes, con indicación de las dominantes. Si el terreno está bajo uso, se debe describir su naturaleza (pastoreo, cultivos, plantación).

Después de caracterizar el sitio y sus limitantes, la selección de las especies solo puede ser realizada conociendo sus características ecológicas. En el caso de la zona de intervención del proyecto, las características ecológicas de las principales especies fueron identificadas y presentadas en el cuadro 1.

CUADRO 1. Características ecológicas de las principales especies forestales y frutales presentes en el departamento de Potosí.

Especie	Textura	Profundidad. Fisiológica	Estado hídrico	Salinidad	Resistencia heladas	msnm
Alamo <i>Populus nigra</i>	Suelta	Medianamente Profundo	Húmedo	Resistente	Sensible en el prendimiento	< 3600
Algarrobo <i>Prosopis laevifata</i>	Arenosa	Profundo	Resistente a Sequía	Tolerante	Sensible	< 3300
<i>Atriplex ssp.</i>	Indiferente	Superficial	Mod. Tolerante	Resistente	Relativamente Resistente	< 3600
Ciprés <i>Cupressus macrocarpa</i>	Indiferente	Medianamente Profundo	Relativamente Húmedo	Sensible	Relativamente Resistente	< 4000
Eucalipto <i>Eucalyptus globulus</i>	Arcilla-arenosa Hasta limosa	Profundo	Seco a Suhúmedo	Sensible	Sensible	< 3900
Jarca <i>Acacia visco</i>	Arenosa y Franco arenosa	Superficial	Seco a Subhúmedo	Tolerante	Sensible	< 3300
Kishuara <i>Buddleia coriacea</i>	Liviana	Medianamente Profundo	Seco a subhúmedo	¿?	Resistente	< 4400
Molle <i>Schinus molle</i>	Indiferente	Superficial	Seco a húmedo	Resistente	Tolerante	<3700
Olmo <i>Ulmus pumila</i>	Indiferente	Medianamente	Seco	¿?	Resistente	< 4200
Pino <i>Pinus radiata</i>	Franco a franco Arenosa	Medianamente Profundo	Subhúmedo Sensible a sequía	Sensible	Tolerante	< 4000
Queviña <i>Polylepis tomentella</i>	Franco a franco Arcillosa	Superficial, rocoso	Poca humedad	Tolerante	Resistente	< 4700
Retama <i>Spartium junceum</i>	Franco arcillosa	Medianamente profundo	Humedad moderada	¿?	Sensible	< 3800
Sauce llorón <i>Salix babylonica</i>	Suelta	Profundo	Abundante	Resistente	Resistente	< 3800
Sauce real <i>Salix humboldtiana</i>	Arenosa	Profundo	Húmedo	¿?	Sensible	< 3400
Tuna <i>Opuntia ficus-indica</i>	Franco a Arcillosa	Superficial	Seco Resistente a sequía	Sensible	Sensible	< 3500

CONCLUSIONES

- Conocer y analizar los diferentes parámetros presentados en este documento sirve para definir mejor el ¿Dónde plantar? ¿Para qué plantar? y las especie adecuadas para el lugar de plantación. Con esta metodología de trabajo, se espera lograr un mayor rendimiento y desarrollo de las plantas en el departamento de Potosí.

BIBLIOGRAFIA

Bofnetau, E., 1997. Propagación de plantas para el desarrollo forestal comunal en los Andes Bolivianos. Potosí. Proyecto FAO/ Holanda/ Prefectura. 224 pp.

Dimanche, P-H., 1998. Interpretación de los análisis de suelo y estimación de su fertilidad. Potosí, Documento de trabajo N° 4, Proyecto FAO / Holanda/Prefectura.

Torrigo, Peca C., Beck, S. y García, E, 1994. Leñosas útiles de Potosí. Potosí, Proyecto FAO/Holanda/CDF, 469 pp.

Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología, 1997. Boletín meteorológico del departamento de Potosí, 375 pp.

Soil Science of America 1992: Soils clasification. Ed. Soil Science Society of America, 658 pp

RESUMENES

La taxonomía de suelos del USDA y su aplicación en el manejo sustentable de suelos: Experiencia Ecuatoriana

Marcelo Calvache¹

1 Comisión Ecuatoriana de Energía Atómica. Universidad Central del Ecuador. email:calvache@uio.satnet.net

RESUMEN

La taxonomía de suelos es una herramienta que permite caracterizar los suelos de una región, seleccionar sus propiedades y relacionarlas con el manejo más adecuado para cada tipo y definir algunas características básicas del clima para el establecimiento y desarrollo de los cultivos.

En el enfoque de sistemas de cultivo, la taxonomía contribuye con información sobre el manejo de los suelos de los sistemas de cultivo, incluyendo monocultivos y sus relaciones con la ubicación taxonómica, la cual a su vez depende de las propiedades que el suelo presente. El objetivo principal de este documento es el de presentar una síntesis de las principales características del sistema de clasificación de suelos que rige en el Ecuador (Taxonomía del USDA, 1994) y discutir algunos aspectos de la clasificación relacionados con el manejo y fertilización de suelos.

Los objetivos de la clasificación de suelos se pueden describir brevemente como: 1) organizar el conocimiento, 2) conocer y entender las relaciones entre diferentes tipos de suelos, 3) recordar las propiedades de los suelos que se estudia, 4) agrupar a los suelos que tienen características similares, 5) aprender nuevos principios y relaciones acerca de la población y 6) establecer clases de suelos que le permitan identificar su mejor uso, estimar su productividad, predecir su comportamiento y extrapolar la información obtenida.

El sistema permite clasificar un suelo en diferentes niveles de detalle y con este criterio fue diseñado en 6 categorías: 11 ordenes, 60 subórdenes, 310 grandes grupos, 2,377 subgrupos, más de 5,000 familias y miles de series. En el sentido que aumenta el grado de detalle, aumenta el trabajo de campo, la cantidad de análisis de laboratorio y las características del suelo que se evalúan. Las características se agrupan en horizontes diagnósticos (epipedones y endopedones), regímenes de humedad de los suelos, regímenes de temperatura del suelo y otras características diagnósticas (textura, profundidad, mineralogía, consistencia, pendiente, etc.).

En la descripción de los perfiles de suelos deben establecerse con claridad los horizontes diagnóstico, los regímenes de humedad y temperatura, el mayor número de características diagnóstico que permitan clasificarlo en el ámbito de familia. Luego se debe buscar en la taxonomía las categorías de Orden, Suborden, Gran grupo, Subgrupo y Familia, es decir se debe comprobar si el suelo es un Histosol o un Spodosol o un Andisol o un Entisol o un Inceptisol, etc, hasta encontrar aquel orden correspondiente. Luego se pasa a las claves de subordenes, a las de grandes grupos, a las de subgrupos y de las familias. Las características que permiten definir a las series como el nombre que debe darse no está definido en el sistema y generalmente se da el nombre del lugar en el que se encuentra el suelo en estudio, con la colaboración del departamento de mapeo de suelos del Ministerio de Agricultura.

La familia es el nivel categórico más adecuado para hacer recomendaciones de manejo de los suelos, ya que en esta categoría están definidas las características diagnósticas adecuadas y permiten agrupar suelos que tienen propiedades físicas, químicas y biológicas muy similares. Si se utilizan informes de levantamientos de suelos para hacer recomendaciones de uso y manejo de suelos, se debe verificar la validez y actualidad de la información, ubicar bien en el mapa de suelos en estudio y establecer cuáles son los suelos dominantes y cuáles las inclusiones en la unidad de mapeo.

De un grupo de artículos sobre fertilidad de suelos publicados en la Revista Suelos Ecuatoriales, solamente un 3% se clasificó a nivel de familia y un 66% se clasificó a nivel de gran grupo, contrastando con los resultados obtenidos al hacer el mismo análisis en una revista especializada de Estados Unidos en 1995, donde un 80% de suelos fueron clasificados a nivel de familia y un 7% a nivel de gran grupo, lo que garantiza un buen agrupamiento de suelos y un conocimiento adecuado de ellos para hacer recomendaciones de manejo sustentable.

Levantamiento general de suelos y clasificación de tierras para agricultura a secano y pasturas de las subregiones II,VI y VII del trópico de Cochabamba

Constantino Soto G.¹ y Walter Vargas S.¹

1 Proyecto IBTA/Chapare. EE La Jota. Teléfono 0411-4317. Cochabamba, Bolivia.

RESUMEN

El proyecto IBTA/CHAPARE dentro de los objetivos a desarrollar y transferir alternativas tecnológicas, en 1995 decidió impulsar el levantamiento de los suelos en el trópico de Cochabamba correspondiente a las subregiones II, VI y VII.

De acuerdo al levantamiento de los suelos a nivel de reconocimiento, los mejores suelos encontrados en las subregiones II,VI Y VII del trópico de Cochabamba corresponden, dentro el nivel del gran grupo a indifluvents, tropopsamments, dystropepts y paleudults, en donde las clases de tierras III y IV predominan con un 43.5 y 27.5% respectivamente.

Los análisis de laboratorio muestran que el elemento fósforo se encuentra en cantidades suficientes, en los suelos estudiados, para satisfacer los requerimientos nutritivos de los cultivos actuales, por consiguiente no se justifica usar los fertilizantes de fórmulas completas de macronutrientes.

Los nutrientes nitrógeno y potasio son insuficientes y deben ser suplementados, de acuerdo a los requerimientos del cultivo. La aplicación de urea como fuente nitrogenada, necesariamente debe realizarse en condiciones de baja radiación solar o mejor si es acompañada con una leve llovizna.

Por las condiciones de extrema acidez, altos contenidos de aluminio intercambiable, alto grado de lixiviación y tolerancia relativa de los cultivos, se tiene que incluir dosis de dolomita en algunos cultivos específicos para cada unidad de mapeo en particular e incorporarla para no perderla por escurrimiento superficial.

Los micronutrientes como el cobre, zinc, boro, molibdeno y azufre, son deficientes en los suelos estudiados, por las condiciones de extrema acidez no se encuentran disponibles para los cultivos.

La coloración y consistencia del terreno como indicador de la calidad del suelo en la agricultura de Caquiaviri, provincia Pacajes del departamento de La Paz

L. D. García Rospigliosi¹ y L. M. Barrón Vargas¹

1 PRADERA Consultores SRL. Calle Loayza N° 349, piso 1, Of. 10. Teléfono-Fax: 591-2-361193. La Paz, Bolivia

RESUMEN

El presente estudio se plantea a partir de la necesidad de tener alternativas a los actuales estudios de suelos, determinando una interpretación dinámica, donde se resalten los términos tradicionales usados por los campesinos. Se propone identificar los parámetros de color y consistencia de las tierras de uso agrícola como indicadores de la calidad de los suelos. Los objetivos del trabajo fueron identificar la utilidad de los parámetros de color y consistencia de las tierras de uso agrícola como indicadores de calidad de suelos y determinar la concordancia existente entre los parámetros de calidad identificados con los rendimientos agrícolas.

De acuerdo a las anteriores variables, los resultados obtenidos permiten sistematizar la información teniendo en cuenta dos parámetros iniciales basados en los antecedentes agrícolas propios del lugar y la calidad del suelo, relacionada con los rendimientos obtenidos en función al color y la consistencia de los mismos expresados en quintales por hectárea.

Es así, que el aspecto más importante dentro del presente estudio se refiere a la determinación del rendimiento en función al color del suelo, tomando en cuenta la percepción campesina, que se ve condicionada por la cantidad de tierra disponible y las técnicas tradicionales de manejo.

Como se observará en el estudio, se pudieron identificar los criterios para la denominación de los suelos de los agricultores, se puede afirmar que los parámetros descritos constituyen elementos de mucha utilidad en las aproximaciones necesarias para identificar la calidad de los suelos.

Modelización cartográfica de riesgos potenciales de erosión mediante un SIG y percepción remota. Aplicación de la ecuación universal de pérdidas de suelo de Wischmeier (USLE) en una micro región de la provincia Tiraque, Cochabamba , Bolivia

José Luis Delgado Alvarez¹

1 BOLFOR. Calle Goytia N°162. Teléfono-fax 02 – 319712, 01965797. La Paz, Bolivia.

RESUMEN

La modelización de los riesgos de erosión potencial en cartografía numérica mediante la aplicación de Sistemas de Información Geográfica y Percepción Remota, es un proceso que implica un análisis espacial de diferentes variables (climáticas, pedológicas, fisiográficas, vegetativas y prácticas de lucha antierosiva). La aplicación de la Ecuación Universal de Pérdidas de Suelo por Erosión de Wischmeier, se presenta como una alternativa aplicable dentro el campo de la modelización numérica mediante un SIG. El presente trabajo muestra un ejemplo de esta modelización, aplicada a una micro región de la provincia Tiraque, Cochabamba.

Implementación de un sistema de monitoreo del manejo integral de cuencas en la cuenca piloto Taquiña utilizando las variables de uso y erosión

Omar Vargas¹

1 Programa Manejo Integral de Cuencas. Av. Atahualpa final, Parque Tunari. Casilla 4909. Teléfono/Fax 291095. Cochabamba, Bolivia. email: promic@pino.cbb.entelnet.bo.

RESUMEN

El Programa Manejo Integral de Cuencas ve como una urgente necesidad el disponer de un sistema de monitoreo, manejable y transferible, a partir del análisis de las variables de uso de la tierra, cobertura vegetal y las unidades erosivas.

Este sistema permitirá identificar zonas en las cuales, producto de las intervenciones y acciones, los procesos erosivos y degradativos estén disminuyendo, con la posibilidad de efectuar proyecciones de 10 años en una cuenca. Así mismo, el sistema permitirá complementar intervenciones en zonas donde el impacto de obras, inicialmente implementadas, aún no se conoce.

El objetivo de este estudio es el de disponer de un sistema que, a partir del análisis de las variables de uso de la tierra y erosión, refleje los cambios que vienen efectuándose en la cuenca piloto Taquiña producto de las intervenciones.

El área de estudio se halla ubicada a 4 km al norte de la ciudad de Cochabamba, en el cantón Linde, provincia Cercado del departamento de Cochabamba, cuenta con una superficie aproximada de 19.7 km.

La metodología que se ha seguido tiene varias etapas que comprenden el relevamiento de las características agronómicas, fisiográficas y geológicas más importantes que permitieron la construcción de diferentes mapas temáticos y el análisis comparativo de los Riesgos de Erosión, 1998 y 1993, en las unidades erosivas.

Los sistemas de información geográfica (SIG) en la planificación del uso de la tierra comunal

Rigel F. Rocha López

RESUMEN

A pedido de PROSANA, el PEIRAV establece una metodología para la producción de mapas georeferenciados a escala y la estructuración de un Sistema de Información Geográfica (SIG) de Planes Comunales de Uso de Tierras.

Para tal fin, se realizan planes comunales de uso de tierras en nueve comunidades de la provincia Arque del departamento de Cochabamba, conformando un equipo de trabajo, con técnicos de ONG's, PROSANA y PEIRAV.

La metodología incluye técnicas de recolección, ordenamiento y procesado de información a partir de fotografías aéreas, recorridos de campo y talleres comunales, para la producción de mapas georeferenciados a escala, que permitan poder anexar a estos mapas la información básica recogida y ordenada en una base de datos, constituyendo un SIG que permite delinear la visión comunal del futuro de sus tierras, a partir de la solución de los problemas del uso actual y el aprovechamiento de las potencialidades.

Como resultados se tienen los mapas de unidades de tierra, de uso actual, de aptitud de uso y de uso futuro, así como también, un SIG, que maneja información relacionada con las características de la comunidad, los potenciales y limitantes de sus tierras, el uso actual y uso futuro concertado de las tierras.

Recuperación de tierras en riberas de ríos

R. Nain¹ y P. Poquechoque¹

¹ Proyecto FAO/HOLANDA/PREFECTURA. Avenida Litoral N° 507. Teléfono 062 27287 - 27288. Fax 00591 062- 27289. Casilla N° 223. email : faopts @ cedro.pts.entelnet.bo. Potosí - Bolivia

RESUMEN

El trabajo de protección y recuperación de tierras en el departamento de Potosí ha tenido muchos años de investigación en diferentes proyectos como el proyecto Cotagaita San Juan del Oro, el proyecto CIAC y en estos últimos años el proyecto FAO/HOLANDA/PREFECTURA, que continuó la tarea de los anteriores proyectos, rescatando los trabajos buenos y malos que se tenía hasta el momento.

El rescate de las formas de protección de tierras, en forma tradicional, ha tenido aceptación dentro el trabajo que realiza el proyecto FAO/HOLANDA/PREFECTURA, con la construcción de defensivos tipo Chosconti, Pata de Gallo, encadenado y otros, que sin una plantación forestal como defensivo vivo no tendrían resultado alguno.

Los trabajos posteriores son los de incorporación de tierra para la formación de terrazas, para ganar espacios al río, y su posterior habilitación con el diseño de plantaciones frutícolas o simplemente para el manejo de la producción agrícola por los campesinos del sur de Potosí. Se busca aprovechar los sedimentos arrastrados por los ríos desde la parte superior de las cuencas para incorporarlos en los defensivos vivos, para la habilitación de tierras, realizando bancos de colmataje donde se depositan las mejores tierras de la cuenca con el uso de recursos vegetales existentes en el lugar y piedras que arrastra el río.

Respuesta de la papa a varios niveles de fósforo y potasio en el suelo

E. Panique¹ y J. Flores¹

¹ Instituto Boliviano de Tecnología Agropecuaria, IBTA. Tarija, Bolivia

RESUMEN

En diferentes suelos con niveles de P y K, que variaban de bajos, medios y altos, en dieciocho experimentos de campo fueron concluidos en 1996 y 1997, donde dos niveles de P (0 y 120 kg.ha⁻¹) y dos niveles de K (0 y 100 kg.ha⁻¹) fueron aplicados en banda al momento de la siembra de dos variedades de papa (*Solanum tuberosum* L). Nitrógeno y fósforo (en el caso del experimento con potasio) y/o nitrógeno y potasio (en el caso del experimento fósforo) fueron aplicados en cantidades suficientes.

Significativo incremento en el rendimiento se obtuvo con la adición de P en todos los suelos con niveles iniciales de P menores a 12.5 ppm, en cambio, los suelos con niveles iniciales de P superiores a 12.5 ppm, no mostraron incrementos significativos en el rendimiento. De manera similar, se obtuvo un incremento significativo en el rendimiento con la adición de K en los suelos con niveles de K menores de 195 ppm, en los suelos con niveles de K por encima de este valor, no mostraron aumentos significativos en el rendimiento con la adición de K.

El incremento en el rendimiento estuvo asociado a un aumento en el tamaño del tubérculo. Por otro lado, la ausencia de incremento en el rendimiento en los suelos con niveles de P y K por encima de 12.5 y 195 ppm, respectivamente, fue debido al nivel elevado de P y K en el suelo.

En base a los resultados obtenidos en relación a los niveles iniciales de P y K en el suelo, este estudio sugiere 12.5 y 195 ppm de P y K, respectivamente, como niveles críticos de P y K en el suelo para la producción de papa.

Uso de rastrojo y abono verde de arveja en el cultivo del maíz

E. Panique¹ y F. Carranza¹

¹ Instituto Boliviano de Tecnología Agropecuaria, IBTA. Tarija, Bolivia.

RESUMEN

Un experimento fue conducido con la finalidad de estudiar el efecto del uso de cobertura y abono verde de arveja, en la retención de humedad y el efecto en el rendimiento del cultivo de maíz, variedad IBTA Erquis-1. Cinco tratamientos fueron considerados, dos de los cuales contenían dos formas de cobertura con residuos de arveja, otros dos con incorporación de la biomasa de arveja como abono verde en dos estados fenológicos y un tratamiento sin abono verde ni cobertura (práctica del agricultor).

Se encontraron diferencias de humedad significativas ($p < 0.05$) entre los tratamientos, los mayores niveles de humedad correspondieron a los tratamientos con cobertura. Los tratamientos donde se incorporó el abono verde también mostraron un efecto favorable en los contenidos de humedad del suelo, pero más bajo que los tratamientos con cobertura. También se encontraron diferencias de rendimiento significativas ($p < 0.05$) entre los tratamientos. Los rendimientos más altos correspondieron a los tratamientos con cobertura y al tratamiento donde se incorporó la biomasa de arveja a la floración, en tanto que el rendimiento más bajo se registró en el tratamiento con la tecnología del agricultor.

Además de la influencia favorable de la cobertura y el abono verde en el rendimiento del maíz, se observó un mejor llenado de mazorca y una disminución de la pudrición en las parcelas con cobertura. Este último efecto, parece ser debido a la mineralización del nitrógeno de la cobertura proporcionando una mayor disponibilidad de este elemento en la última fase del período vegetativo, sin embargo, dicho efecto necesita ser más estudiado.

Establecimiento de ocho accesiones de maní forrajero (*Arachis pintoï*), en diferentes zonas agroecológicas

M.S. Viera ¹, J. Lazcano ¹ y J. Pijnenborg ²

1 Proyecto Rhizobiología. CIAT. Santa Cruz, Bolivia.

2 Wagenigen Agricultural University, Países Bajos.

RESUMEN

Con el objetivo de evaluar ocho accesiones de maní forrajero (*Arachis pintoï*), en diferentes zonas agroecológicas (Santa Cruz y Cochabamba), en ensayos de campo, se estudio el establecimiento, la relación tallo/hoja, nudos de enraizamiento, materia seca de la parte aérea y longitud acumulada de estolones de dicho cultivo. Se estudió el efecto de sombra (50%), la inoculación con *Bradyrhizobium* y la peletización con superfosfato neutralizado y calcita. En este ensayo se estudiaron cinco accesiones introducidas del CIAT (Colombia): CIAT 17434, CIAT 18744, CIAT 18748, CIAT 18751, CIAT 221160, y tres nacionales provenientes de Guarayos, San Ignacio y San José. En cada localidad se realizó análisis físico químico de los suelos y durante el período de estudio fueron registrados los factores climáticos. El diseño experimental fue el de parcelas subdivididas, con tres factores y dos reiteraciones.

La evaluación del número de plantas establecidas permitió verificar que las accesiones introducidas se adaptan mejor en las diferentes zonas donde fueron estudiadas. Las accesiones nativas prácticamente desaparecieron. Fue observada una alta dependencia del régimen de precipitación para todas las accesiones estudiadas.

Se encontró una fuerte interacción accesión – sombra en la mayoría de los sitios, indicando que la sombra protegió a las plántulas de la radiación directa favoreciendo al establecimiento. La peletización fue perjudicial para el establecimiento de las plantas en la mayoría de los sitios, todo indica que el superfosfato y la calcita podrían favorecer el desecamiento de los estolones. La inoculación con *Bradyrhizobium* no tuvo ningún efecto.



ESTATUTOS Y REGLAMENTO

Sociedad Boliviana de la Ciencia del Suelo (SBCS)

Aprobados en La Paz el 30 de julio de 1999

ESTATUTOS DE LA SOCIEDAD BOLIVIANA DE LA CIENCIA DEL SUELO

TITULO I

DENOMINACION - DECLARACION FUNDAMENTAL - DOMICILIO - OBJETO - DURACION

ARTICULO 1. DE LA DENOMINACION: La Sociedad, se constituye bajo la denominación de Sociedad Boliviana de la Ciencia del Suelo (SBCS).

ARTICULO 2. DE LA DECLARACION FUNDAMENTAL: La Sociedad Boliviana de la Ciencia del Suelo es una organización privada sin fines de lucro, constituida como Asociación Civil de conformidad a lo establecido en el Art. 58 del Código Civil, para realizar acciones técnico-científicas y educativas dirigidas a la conservación, manejo adecuado y recuperación del recurso suelo, y al desarrollo de las geociencias básicas y aplicadas. La misma no se encuentra ligada a partidos políticos, actividades proselitistas, ni vinculación con credo o secta religiosa alguna.

ARTICULO 3. DEL DOMICILIO: El domicilio legal de la Sociedad queda establecido en la ciudad de La Paz, pudiendo establecerse otras oficinas regionales en el interior de la República por decisión de la Asamblea General Ordinaria.

ARTICULO 4. DE LA DURACION: El tiempo de duración de la Sociedad se fija en el término de noventa y nueve años, salvo prórroga.

TITULO II

DE LOS OBJETIVOS

ARTICULO 5. DE LOS OBJETIVOS: Los objetivos de la Sociedad son:

General

El objetivo general de la Sociedad es promover y desarrollar las diferentes ramas de la ciencia del suelo y sus aplicaciones y proporcionar respaldo a los científicos relacionados con esta materia en sus iniciativas y actividades profesionales. Asimismo, concentrar y difundir el conocimiento del recurso suelo en Bolivia para una mejor planificación de su uso y manejo, un ordenamiento territorial adecuado, una legislación moderna en materia de suelo y una mejor administración de los recursos naturales.

Específicos:

- Coadyuvar la labor del Estado y a la Sociedad Civil en el ordenamiento territorial, el uso del suelo de acuerdo a su vocación y el diseño de políticas nacionales referentes a los recursos naturales, mediante el debate, generación y difusión del conocimiento científico sobre el recurso suelo.
- Promover en Bolivia la lucha contra la degradación de suelos en sus diversas formas, tales como la desertificación, salinización, erosión, y procesos que reducen la capacidad productiva, mediante la formulación de programas y proyectos de concientización sobre la situación del recurso suelo y sus consecuencias, investigación, capacitación, difusión de conocimiento, recuperación, conservación y manejo de suelos y otros recursos naturales.
- Promover estudios detallados y semidetallados de suelos para mejorar la planificación y manejo de la base productiva.
- Reunir a profesionales, científicos e investigadores para analizar la situación del recurso suelo, difundir sus trabajos y acumular sistemáticamente el conocimiento sobre la ciencia del suelo en el país.
- Implementar una base de datos relacionada a profesionales y trabajos realizados sobre el recurso suelo en Bolivia, aspecto que permitirá a muchas instituciones evitar la duplicación de esfuerzos y el malgasto recursos económicos y ayudara a profesionales del ramo.

ARTICULO 6. DE LAS ATRIBUCIONES : Para alcanzar los objetivos anteriormente detallados la Sociedad queda autorizada para :

- Realizar estudios especiales de interés general, ejecución de planes, programas, proyectos, seminarios, congresos, excursiones, reuniones, talleres, ediciones y publicaciones de trabajos inherentes al tema y demás actividades que coadyuven al cumplimiento de los objetivos de la Sociedad.
- Recopilar, sistematizar y difundir documentación científica y tecnológica relacionada con los objetivos de la Sociedad y mantener un intercambio de información con entidades nacionales y extranjeras.
- Proporcionar servicios de capacitación y asistencia técnica a organizaciones públicas y privadas y comunidades productivas del área urbana y rural, en función a los programas y proyectos definidos y/o convenios específicos.
- Promover acuerdos con agencias de cooperación técnica y financiera tanto del país como del exterior con objeto de realizar tareas afines a los propósitos de la Sociedad.
- Realizar todas las acciones que sean necesarias para la consecución de sus fines, hallándose plenamente capacitada para adquirir bienes, contraer derechos y obligaciones, así como realizar todo tipo de actos que están permitidos por la ley, con personas naturales y jurídicas, o entidades públicas, privadas, autónomas, o de cualquier otra índole, del país o del extranjero.

ARTICULO 7. DE LAS FACULTADES: Para el cumplimiento de los fines y objetivos descritos en el artículo anterior, la Sociedad podrá: a) Ejecutar y realizar con personalidad propia todos los actos, convenios, contratos, gestiones y acciones necesarias para alcanzar sus fines; b) Establecer relaciones, coordinación y contactos con instituciones públicas o privadas, cualquiera sea su naturaleza; c) Emitir opiniones o dictámenes sobre temas o asuntos de su especialidad; d) Adquirir bienes, enajenarlos, aceptar donaciones, administrarlos y, en general, realizar todos los actos necesarios, sin más restricciones que las establecidas por las leyes de la República; e) Establecer relación y coordinación con los Colegios, Sociedades y otras entidades relacionadas con el objeto de la Sociedad Boliviana de la Ciencia del Suelo.

TITULO III DE LOS MIEMBROS DE LA SOCIEDAD

ARTICULO 8. DE LAS CATEGORIAS: Los miembros de la Sociedad tendrán las siguientes categorías:

- a) Miembros Fundadores,
- b) Miembros Regulares,
- c) Miembros Honorarios,
- d) Miembros Estudiantes,
- e) Miembros Institucionales.

ARTICULO 9. DE LOS MIEMBROS FUNDADORES: Son todas aquellas personas naturales que hubieran aceptado y suscrito el Acta de Fundación de la Sociedad y el presente Estatuto, serán consideradas como miembros fundadores, quienes gozan de los mismos derechos y adquieren las mismas obligaciones establecidas para los miembros regulares en el Artículo 10 del presente Estatuto.

ARTICULO 10. DE LOS MIEMBROS REGULARES: Son miembros regulares los que han sido incorporados con posterioridad a la suscripción del Acta de Fundación de la Sociedad, estando sus deberes y atribuciones en el presente Estatuto y en el Reglamento Interno de la sociedad. La calidad de miembro regular de la Sociedad se adquiere mediante la aceptación de una solicitud presentada al Directorio, en la que se manifieste el deseo de pertenecer a la Sociedad y los motivos que lo impulsan para ello. Toda solicitud deberá ser aprobada necesariamente por mayoría relativa de los miembros del Directorio, en votación secreta. Una vez admitido, el nuevo miembro regular de la Sociedad deberá cumplir con las siguientes obligaciones:

- a) Inscribirse en el Registro de Miembros Regulares de la Sociedad;
- b) Pagar las cuotas ordinarias y extraordinarias, propuestas por el Directorio y aprobadas por la Asamblea General Ordinaria, desde el momento de su incorporación.
- c) Participar en las actividades de la Sociedad, asistir a las reuniones o asambleas de los miembros y recibir regularmente información sobre la marcha de la entidad y los resultados de la gestión económica;
- d) Cumplir con las tareas, cometidos y actividades que le encomiende la Sociedad, con puntualidad y eficiencia;
- e) Participar con voz y voto en las Asambleas Generales de la Sociedad y ser elegible para cualquiera de los puestos del Directorio;
- f) Asumir la representación y llevar a cabo las comisiones que le sean conferidas por el Directorio o la Asamblea General, dentro de los fines de la Sociedad.

ARTICULO 11. DE LA PERDIDA DE CONDICION DE MIEMBRO REGULAR: La condición de miembro regular se perderá por cualquiera de las siguientes causales;

- a) Por renuncia escrita presentada ante el Directorio;
- b) Por incumplimiento de las estipulaciones del presente Estatuto, el Reglamento Interno o las resoluciones de la Asamblea o del Directorio, negligencia u obstrucción reiterada a las actividades de la Sociedad, deslealtad e inconducta en su calidad de miembro de la Sociedad, sanción que deberá, por las causales señaladas, necesariamente ser establecida como legítima consecuencia del procesamiento interno previsto en el Reglamento Interno.

ARTICULO 12. DE LOS MIEMBROS HONORARIOS: La Sociedad podrá designar en calidad de miembros honorarios a aquellas personas que se hubiesen destacado, dentro o fuera del país, en campos o materia afines a los propósitos de la Sociedad, o que hubieran colaborado con eficiencia en actividades propias de la Sociedad o con evidente beneficio general. La designación se hará en reunión de Directorio, por dos tercios de votos, a propuesta escrita y motivada por un mínimo de cuatro miembros regulares. Los miembros honorarios tendrán derecho a participar con voz pero sin voto en las Asambleas y/o reuniones de la Sociedad, y no pagarán las cuotas o contribuciones obligatorias para los demás miembros.

ARTICULO 13. DE LOS MIEMBROS ESTUDIANTES: Todas aquellas personas naturales, que son parte de la Sociedad y cursan estudios en instituciones de enseñanza superior en carreras inherentes a los objetivos de la Sociedad, gozarán de los mismos derechos de miembros regulares, excepto los referidos a votar en las Asambleas y ser postulados a cargo directivos del Comité Electoral o del Tribunal de honor y adquirirán las obligaciones establecidas para los miembros regulares de la Sociedad en el Artículo 10. En lo referente las cuotas o contribuciones que estos miembros deberán cancelar, la periodicidad y monto de estas serán propuestas por el Directorio y aprobadas por la Asamblea General Ordinaria.

ARTICULO 14. DE LOS MIEMBROS INSTITUCIONALES: Serán considerados miembros institucionales, todas las personas jurídicas, de derecho privado o público, nacionales o extranjeros que tengan atribuciones, objetivos o fines relacionados a la Sociedad. Al efecto, podrán designar un representante ante la Sociedad con derecho voz pero sin voto en las Asambleas. Se establece que dichos miembros tendrán la obligación de cancelar cuotas o contribuciones cuya periodicidad y monto serán propuestos por el Directorio y aprobados por la Asamblea General.

TITULO IV

DE LOS ORGANOS DE DIRECCION Y ADMINISTRACION

ARTICULO 15. DE LOS ORGANOS: La Sociedad se regirá por los siguientes órganos de dirección y administración:

- a) Asamblea General
- b) Directorio
- c) Consejo de Delegados Departamentales

CAPITULO 1 DE LA ASAMBLEA GENERAL

ARTICULO 16. DEL CARACTER: La Asamblea General es el máximo órgano de dirección de la Sociedad, estará formada por los miembros fundadores y los regulares. Cada miembro tendrá derecho a voto, sin excepción. Los miembros honorarios, estudiantes e institucionales participarán de ella solamente con derecho a voz. La Asamblea General podrá delegar parte o la totalidad de sus funciones a un Concejo de Delegados Departamentales, el cual se define en el Artículo 23 del presente Estatuto.

ARTICULO 17. DE LAS CLASES: Las Asambleas Generales serán Ordinarias y Extraordinarias. Las Asambleas Generales Ordinarias se reunirán por lo menos una vez cada año, en la ciudad capital del Departamento que sea elegido para el efecto. Las Asambleas Generales Extraordinarias podrán convocarse a solicitud escrita de un tercio de los miembros de la Sociedad o a iniciativa del Directorio, para considerar los asuntos para los cuales fueran expresamente convocadas.

ARTICULO 18. DE LAS ATRIBUCIONES DE LA ASAMBLEA GENERAL ORDINARIA: La Asamblea General Ordinaria considerará:

- a) El desenvolvimiento general de la Sociedad y el desarrollo de sus actividades;
- b) El movimiento económico y los balances de gestión.
- c) Planes de trabajo y presupuestos.
- d) Nominación o revocación de acuerdo a este Estatuto y Reglamento, de los miembros del Directorio;
- e) Aprobar o rechazar los informes y memoria a que se refiere este Artículo.
- f) Aprobar el presupuesto general de la Sociedad.
- g) Aprobar las cuotas ordinarias para los miembros de la Sociedad, propuestas por el Directorio.
- h) Asuntos de interés general.
- i) Modificar los Estatutos de la Sociedad y sus Reglamentos, el momento que sea considerado necesario.

ARTICULO 19. DE LAS ATRIBUCIONES DE LA ASAMBLEA GENERAL EXTRAORDINARIA: Son atribuciones de la Asamblea General Extraordinaria:

- a) Establecer las normas, directivas y políticas que deben regir las actividades de la Sociedad;
- b) Aprobar las cuotas o contribuciones extraordinarias propuestas por el Directorio;
- c) Aprobar el establecimiento de filiales, agencias o representaciones;
- d) Ratificar la aprobación por parte del Directorio para la adquisición de bienes, aceptación de legados y/o donaciones.
- e) Aprobar la propuesta del Directorio para la venta o cualquier enajenación de bienes cuando el valor de estos sobrepasen los montos establecidos en los Reglamentos.
- f) Ordenar auditorías financieras externas si existiesen causales;
- g) Aprobar o rechazar por dos tercios, el fallo de primera instancia que sea puesto a su consideración por el Tribunal de Honor, respecto al procesamiento interno de cualquier miembro de la Sociedad.

h) Aprobar o rechazar la fijación de remuneraciones en favor de los miembros del Directorio.

ARTICULO 20. DE LA CONVOCATORIA: La convocatoria a Asamblea General Ordinaria o Extraordinaria se hará con una anticipación de por lo menos un mes de la fecha de su celebración, debiendo el Secretario en ambos casos, comunicar la fecha y el orden del día de la Asamblea mediante dos publicaciones con un intervalo de siete días a ser efectuados en un órgano de prensa de circulación nacional, sin perjuicio de emplearse otros medios de comunicación.

ARTICULO 21. DEL QUORUM: Para que una Asamblea General Ordinaria o Extraordinaria pueda sesionar validamente se requiere la presencia de cuando menos la mitad más uno de los miembros con derecho a voto. Si la Asamblea no pudiera celebrarse en la hora señalada por falta de quórum, se repetirá la citación dentro de dos horas después, momento en el cual la Asamblea podrá reunirse validamente con el número de miembros presentes.

ARTICULO 22. DE LAS RESOLUCIONES: Las resoluciones de la Asamblea General Ordinaria y Extraordinaria se adoptarán por simple mayoría y dos tercios de votos de los miembros regulares presentes respectivamente, salvo en los casos previstos en este mismo Estatuto y Reglamento.

ARTICULO 23. DEL CONSEJO DE DELEGADOS DEPARTAMENTALES: El Concejo de Delegados Departamentales estará conformado por representantes de los departamentos que cuenten con miembros regulares activos. El número de Delegados se define en el Reglamento Interno. Los Delegados Departamentales serán elegidos por los miembros fundadores y regulares de cada departamento presentes en Sesión de Asamblea General Ordinaria durante la realización de Congresos Nacionales.

CAPITULO 2 DEL DIRECTORIO

ARTICULO 24. DEL CARÁCTER Y ELECCION: La administración y representación legal de la Sociedad quedan encomendadas al Directorio, el cual se compone de un Presidente, dos Vicepresidentes, un Secretario, un Tesorero y hasta nueve vocales representantes de las Filiales Departamentales de la Ciencia del Suelo. Los miembros del Directorio son elegidos por simple mayoría de votación en Asamblea General Ordinaria. Los miembros del Directorio de la anterior gestión que no hubieran sido re-elegidos serán invitados a las reuniones de Directorio y tendrán derecho a voz.

ARTICULO 25. DE LA FORMA DE LA ELECCION: Se deberá elegir a cada miembro del Directorio en forma separada, correspondiendo a los miembros fundadores y regulares elegirlos en Asamblea General Ordinaria.

ARTICULO 26. DE LOS REQUISITOS: Para formar parte del Directorio se requiere ser miembro regular en ejercicio de la Sociedad, gozar de capacidad jurídica, y tener al día las cuotas o contribuciones a la Sociedad, pudiendo ser reelegido a la terminación de su mandato.

ARTICULO 27. DE LA DURACION: La duración de las funciones de los miembros del Directorio, será equivalente al período transcurrido entre los Congresos Nacionales a ser llevados a cabo por la Sociedad cada dos años, donde en Asamblea General Ordinaria, los miembros de la S.B.C.S. podrán elegir o reelegir a dichos miembros.

ARTICULO 28. DE LAS ATRIBUCIONES DEL DIRECTORIO: Son funciones del Directorio, las siguientes:

- a) Ejercer tareas de gestión y administración de la Sociedad;
- b) Cumplir y hacer cumplir los presentes Estatutos y Reglamentos, las normas y políticas de la Sociedad y las Resoluciones de las Asambleas Generales sean estas Ordinarias o Extraordinarias;

- c) Elaborar los planes y programas de trabajo de corto, mediano y largo plazo, y en general, el plan general de actividades de la Sociedad;
- d) Velar por la calidad y eficiencia de todas las actividades de la Sociedad.
- e) Elevar anualmente a consideración de la Asamblea General Ordinaria la memoria sobre el estado de las finanzas en la Sociedad y el informe técnico sobre las actividades desarrolladas y los resultados de la gestión;
- f) Convocar a Asamblea General Ordinaria
- g) Convocar a Asamblea General Extraordinaria, cuando requerido por el directorio o en caso de solicitud de por lo menos dos Filiales Departamentales de la S.B.C.S..
- h) Sugerir la admisión a membresía y la separación de los miembros de la Sociedad, lo cual se aprueba en Asamblea General;
- i) Proponer el monto para las cuotas ordinarias y extraordinarias, las mismas que serán ratificadas por la Asamblea General Ordinaria o Extraordinaria, respectivamente;
- j) Aprobar convenios de cooperación o asociación con entidades nacionales o extranjeras;
- k) Examinar el proyecto de presupuesto propuesto por el Presidente y ponerlo en consideración de la Asamblea Ordinaria.
- l) Poner en consideración de la Asamblea General la adquisición o enajenación de bienes, la aceptación de donaciones o legados cuando la suma de estos, sobrepase aquellos montos especificados en los reglamentos para este efecto. Cuando tal monto no sea superior al establecido en el reglamento, el Directorio queda facultado para la autorización y aceptación de los mismos; sin requerirse la aprobación de la Asamblea General Extraordinaria.

ARTICULO 29. DE LAS REUNIONES: El Directorio se reunirá ordinariamente de acuerdo al plan de trabajo establecido y extraordinariamente cuando lo convoque el Presidente o a solicitud escrita de uno de sus miembros.

ARTICULO 30. DE LA PERDIDA DE MANDATO: La condición de miembro del Directorio se perderá por cualquiera de las siguientes causas:

- a) Por renuncia motivada y escrita presentada ante el Directorio;
- b) Por razones de fuerza mayor: como ser por razones académicas, enfermedad, o haber sido designado en cualquier cargo público con facultades jurisdiccionales.
- c) Por abandono, el que se producirá automáticamente en caso de ausencia injustificada a tres reuniones consecutivas o seis no consecutivas, en el lapso de un año calendario.
- d) Por decisión de la Asamblea General Ordinaria, invocando motivo justificado y previo proceso interno.

CAPITULO TERCERO DE LAS ATRIBUCIONES DE LOS MIEMBROS DEL DIRECTORIO

ARTICULO 31. DEL PRESIDENTE: Son atribuciones del Presidente:

- a) Representar legalmente a la Sociedad ante instituciones, autoridades y personas jurídicas y particulares, sean estas publicas o privadas;
- b) Dirigir y orientar la gestión de la Sociedad;
- c) Supervisar las actividades, trabajos y compromisos de la Sociedad;
- d) Propiciar y fortalecer las relaciones de la Sociedad con todo tipo de organizaciones públicas y privadas, nacionales y extranjeras;
- e) Hacer cumplir los Estatutos y Reglamentos y las Resoluciones de las Asambleas y del Directorio;
- f) Poner en consideración del Directorio los proyectos de presupuesto, balances, estados de cuentas y otra información relativa al movimiento financiero de la Sociedad;
- g) Suscribir conjuntamente el Secretario los contratos o convenios autorizados por el Directorio, sea con personas jurídicas o naturales, nacionales o extranjeras, de derecho privado o público;
- h) Firmar la correspondencia oficial, informes, resoluciones, etc., en representación del Directorio;
- i) Firmar con el Tesorero las órdenes de pago, cheques, transferencias, etc.;

- j) Convocar y presidir las reuniones del Directorio y presidir las Asambleas;
- k) Adoptar, con cargo de aprobación del Directorio, decisiones sobre diferentes aspectos de la marcha de la Sociedad que requieran un tratamiento de urgencia;
- l) Mantener permanentemente informado al Directorio sobre el desenvolvimiento de la Sociedad.

ARTICULO 32. DE LOS VICEPRESIDENTES: Son atribuciones de los Vicepresidentes:

- a) El Primer Vicepresidente reemplazará con carácter temporal al Presidente en caso de ausencia o impedimento de este; y realizar los actos pertinentes que sean requeridos para el normal funcionamiento de la Sociedad.
- b) El Primer Vicepresidente asumirá la Presidencia en caso de renuncia del Presidente por el tiempo que falta para el cumplimiento del mandato original.
- c) El Segundo Vice-Presidente reemplazará automáticamente al Primer Vicepresidente, en caso de ausencia o impedimento legal del mismo.

ARTICULO 33. DEL SECRETARIO: Las atribuciones del Secretario son:

- a) Llevar el libro de actas de las reuniones del Directorio, así como las de las Asambleas Generales Ordinarias y Extraordinarias;
- b) Recibir y contestar la correspondencia, junto con el Presidente ;
- c) Mantener al día la documentación y archivos de la Sociedad y encargarse de la conservación y cuidado del material bibliográfico, estudios, proyectos, publicaciones, etc., que se le hayan confiado;
- d) Llevar el registro de los miembros de la Sociedad, así como la documentación individual de cada uno de ellos;
- e) Hacer notificaciones y convocatorias para las reuniones de Directorio y Asambleas cuando lo autorice el Presidente y, en general, todas las otras inherentes a su cargo.
- f) Firmar con el Presidente los contratos y convenios autorizados por el Directorio, sea con personas jurídicas o naturales, nacionales o extranjeras, de derecho privado o público;

ARTICULO 34. DEL TESORERO: Son atribuciones del Tesorero:

- a) Controlar y fiscalizar los bienes y el movimiento económico de la Sociedad;
- b) Tener a su cargo la contabilidad de la Sociedad y preparar conjuntamente el Presidente los proyectos de presupuesto, balances, estados de cuenta y demás documentos relativos al estado financiero de la Sociedad;
- c) Firmar, junto con el Presidente, los cheques y otros documentos mercantiles;
- d) Cobrar las cuotas de ingreso, cuotas regulares y contribuciones extraordinarias.

TITULO V DE LOS ORGANOS AUXILIARES

ARTICULO 35. DE LOS ORGANOS AUXILIARES: Son órganos auxiliares para el funcionamiento normal y legal de la Sociedad:

- a) El Comité Electoral
- b) El Tribunal de Honor
- c) El Consejo Consultivo
- d) Las Comisiones

CAPITULO 1 DEL COMITE ELECTORAL

ARTICULO 36. COMPOSICION Y FACULTADES: La Sociedad tendrá un Comité Electoral compuesto por un miembro de cada una de las Filiales Departamentales de la S.B.C.S, el mismo que tendrá a su cargo la convocatoria a elecciones, recepción e invalidación de postulaciones, el control y seguimiento del proceso electoral en todas sus fases.

ARTICULO 37. DE LOS RECURSOS DE FUNCIONAMIENTO: La Sociedad, mediante su Directorio aprobará un presupuesto para el cumplimiento de los fines electorales por parte del Comité Electoral.

ARTICULO 38. DE LA ORGANIZACIÓN DE LAS ELECCIONES: El Comité Electoral es autónomo en cuanto se refiere a la organización de las elecciones, debiendo en cada convocatoria para el efecto, fijar los requisitos para los candidatos, cargos, plazo de postulación, causales de invalidación de candidaturas. Se reserva el derecho de declarar suspendido o inhabilitado el proceso eleccionario, en caso que el mismo se haya desarrollado en forma claramente anómala.

CAPITULO 2 DEL TRIBUNAL DE HONOR

ARTICULO 39. DE SU COMPOSICION , DURACION Y FACULTADES: El Tribunal de Honor es un órgano completamente autónomo al Directorio de la Sociedad, se encontrará compuesto por tres miembros, elegidos en la Asamblea General Ordinaria, y durarán en sus funciones el término de 4 años y tendrán las siguientes facultades:

- a) Conocer en primera instancia de las denuncias de oficio o a petición de Parte, que sea formulada contra algún miembro de la Sociedad, sea de cualquier categoría o se encuentre en cargo electivo por actos contrarios a lo establecido en el presente Estatuto o su Reglamento Interno.
- b) Emitir fallo de primera instancia por las denuncias que hubieran sido Conocidas y legalmente tramitadas, de acuerdo a las normas establecidos para el procesamiento interno establecido en el Reglamento. Dicho fallo será puesto en consideración ante la Asamblea General para su aprobación o no.

ARTICULO 40. DE LA EXCUSA DE SUS MIEMBROS: Cualquier miembro del Tribunal de Honor que tenga grado de parentesco o afinidad, amistad o enemistad con el miembro a ser juzgado, o ser su acreedor o deudor, deberá excusarse dentro el plazo de 48 horas de conocida la denuncia, en consecuencia los otros miembros del Tribunal podrán convocar a un miembro reemplazante sólo para el conocimiento de dicha denuncia. También la excusa podrá ser planteada a petición de parte, invocando causales legales y debidamente fundamentadas para el efecto.

ARTICULO 41. DE LA EJECUCION DE FALLOS: Conocido el veredicto de la Asamblea General, respecto a la confirmación o revocatoria del fallo presentado, el Tribunal de Honor deberá ordenar al Directorio por escrito, el cumplimiento de dicho fallo en el plazo de tres (3) días de su comunicación.

CAPITULO 3 DEL CONSEJO CONSULTIVO

ARTICULO 42. DE SU COMPOSICION Y FACULTADES: El Consejo Consultivo, estará representado por asesores independientes, que a criterio del Directorio sean necesarios para el cumplimiento de fines específicos a favor de la sociedad, sus remuneraciones serán previamente aprobadas por el Directorio.

CAPITULO 4 DE LAS COMISIONES

ARTICULO 43. DE SU CONFORMACION, DURACION Y ATRIBUCIONES: El Directorio podrá elegir comisiones y designar a sus integrantes, para el cumplimiento específico de fines investigativos, académicos o científicos que tenga la sociedad, éstas comisiones podrán estar compuestos de miembros de la sociedad o no, y la duración de sus funciones será determinada por el Directorio.

TITULO VI DE LOS RECURSOS ECONOMICOS

ARTICULO 44. DE LOS RECURSOS: La Sociedad se sustentará con los recursos provenientes de:

- a) Aportes o cuotas de ingreso de los miembros de la Sociedad propuestas por el Directorio y aprobadas por la Asamblea General;
- b) Cuotas regulares propuestas por el Directorio y aprobadas por Asamblea General;
- c) Contribuciones extraordinarias fijadas por el Directorio para situaciones especiales;
- d) Recursos económicos que se obtengan por contribuciones o donaciones;
- e) Ingresos por la realización de trabajos que correspondan al campo de sus actividades a favor de terceros;
- f) Rentas, e intereses de sus bienes y valores.

ARTICULO 45. DEL PATRIMONIO: El patrimonio de la Sociedad estará constituido por todos los bienes muebles, inmuebles, instalaciones, equipos, valores y derechos que la misma adquiera por compra, donación, asignación, registro u otro título.

ARTICULO 46. DE LA FACULTAD DE DISPOSICION: La Asamblea General tendrá, por voto de la mayoría absoluta de sus miembros fundadores y regulares, facultades para autorizar la venta y transferencia de los bienes de la Sociedad, cuando estos superen el monto especificado en el Reglamento para este efecto. En caso de montos menores al señalado, la autorización para la venta y transferencia de los bienes de la Sociedad será atribución del Directorio.

La Asamblea General Extraordinaria tendrá también facultades para disponer el uso de los recursos económicos, establecer las reservas de capitalización y fijar remuneraciones.

TITULO VII DE LA DISOLUCION

ARTICULO 47. DE LAS CAUSAS DE DISOLUCION: La disolución de la Sociedad será resuelta por la Asamblea General Extraordinaria, convocada especialmente para este efecto; por dos tercios de votos, por las siguientes causas:

- a) Por decisión voluntaria de los miembros de la Sociedad;
- b) Por cumplimiento del plazo de duración, sin que no se hubiera operado la prórroga correspondiente;
- c) Por factores que imposibiliten el desarrollo de sus actividades.
- d) Por decisión judicial, en aplicación del Artículo 64 del Código Civil.

ARTICULO 48. DEL PROCEDIMIENTO DE DISOLUCION: Resuelta la disolución, la Asamblea General Extraordinaria convocada para el efecto nombrará dos liquidadores, quienes asumirán personería por la Sociedad. La misma Asamblea señalará las pautas para la liquidación y aprobará los estados. El saldo y los bienes que resulten, una vez pagadas las obligaciones, se destinarán a cualquier Asociación o Fundación con fines similares, por decisión de la Asamblea o en caso de no disponerse nada, pasarán a la Universidad Pública Boliviana.

TITULO VIII VOTACIONES ESPECIALES

ARTICULO 49. DE LAS VOTACIONES ESPECIALES: El Directorio y el Comité Electoral podrán solicitar votaciones especiales a los miembros regulares y fundadores por correo cuando lo consideren necesario. Las votaciones especiales serán sujetas de ratificación o anulación por las Asambleas Generales Ordinaria o Extraordinaria, dependiendo del caso.
Para la validez de las votaciones especiales, se requerirá el pronunciamiento expreso del miembro sobre el asunto sujeto a votación, así como el nombre y la firma del citado miembro.
Para tal efecto el miembro una vez recibida la comunicación del Directorio o el Comité Electoral deberá emitir su voto especial en el termino máximo establecido en la comunicación.

TITULO IX DE LA REFORMA DE LOS ESTATUTOS

ARTICULO 50. DE LA MODIFICACION: Los presentes Estatutos y Reglamentos solamente podrán modificarse por decisión de la Asamblea General Extraordinaria de la Sociedad, siendo necesario contar con por lo menos la mitad mas uno de los votos.

REGLAMENTO INTERNO DE LA SOCIEDAD BOLIVIANA DE LA CIENCIA DEL SUELO

CAPITULO 1

FINALIDAD Y APLICACION

ARTICULO 1. DE LA FINALIDAD: El presente Reglamento Interno de la Sociedad Boliviana de la Ciencia del Suelo tiene como finalidad:

- a) Mantener la legalidad, imparcialidad y eficiencia de la administración del Directorio.
- b) Mantener la legalidad de la situación de cualquier miembro en la Sociedad.
- c) Regular las relaciones entre los miembros del Directorio.
- d) Regular las relaciones entre los miembros del Directorio y los demás miembros de la Sociedad y los órganos auxiliares como son el Comité Electoral, el Tribunal de Honor, el Consejo Consultivo y las Comisiones.

ARTICULO 2. DE LA APLICACION: A las disposiciones del presente Reglamento quedan sometidos todos los miembros del Directorio, miembros fundadores, miembros regulares, miembros estudiantes y miembros institucionales de la Sociedad; asimismo, se someten al presente Reglamento los miembros honorarios en los Artículos a ellos inherentes.

ARTICULO 3. DE LA DIFUSION, APLICACION Y CONOCIMIENTO DEL REGLAMENTO: La difusión y aplicación del presente Reglamento es responsabilidad del Directorio.

Todos los demás miembros del Directorio, miembros fundadores, regulares, estudiantes e institucionales están obligados al cumplimiento del presente Reglamento, ya que declaran expresamente su conocimiento a las presentes disposiciones y del Estatuto, al momento de ser admitidos en la Sociedad.

CAPITULO 2

DE LAS CONDICIONES DE INGRESO DE LOS MIEMBROS Y MANTENIMIENTO DE DERECHOS

ARTICULO 4. DE LOS REQUISITOS DE ADMISION: Para ingresar a la Sociedad y ser admitido como miembro de esta, son necesarios los siguientes requisitos :

- a) Llenar formularios de solicitud de admisión.
- b) Presentar en forma escrita la justificación de las razones de su aplicación a la membresía de la Sociedad.
- c) Presentar los documentos que acrediten que el postulante ejerce actividades de trabajo, estudio o científicas relacionadas a los objetivos de la Sociedad Boliviana de la Ciencia del Suelo.
- d) Cancelar las cuotas de ingreso propuestas por el Directorio y aprobadas por la Asamblea General.

ARTICULO 5. DE LA ADMISION O DENEGACION DEL INGRESO: El Directorio de la Sociedad emitirá una resolución debidamente motivada por la cual declara procedente o improcedente la admisión de la persona que ha solicitado su ingreso.

En caso afirmativo, se le extenderá al nuevo miembro la credencial respectiva.

ARTICULO 6. DEL MANTENIMIENTO DE LOS DERECHOS: Los derechos establecidos en el Capítulo 3, se mantendrán vigentes de acuerdo a la categoría de miembro que uno pertenezca, siempre y cuando:

- a) Mantenga el pago de sus cuotas al día.
- b) No haya recibido por parte de la Asamblea General Extraordinaria, resolución confirmatoria de fallo del Tribunal de Honor, que hubiera recomendado su expulsión de la Sociedad.
- c) No tenga sentencia ejecutoriada emitida por la justicia ordinaria por la comisión de cualquier delito.

CAPITULO 3

DE LOS DERECHOS Y OBLIGACIONES DE LOS MIEMBROS DE LA SOCIEDAD

ARTICULO 7. DE LOS DERECHOS DE LOS MIEMBROS FUNDADORES Y REGULARES: Cada miembro, sea fundador o regular tendrá los siguientes derechos:

- a) Asistir a las Asambleas Ordinarias o Extraordinarias con derecho a voz y voto.
- b) Postularse a cargos directivos y elegir a miembros directores, cuando se convoque a comicios.
- c) Suscribirse a publicaciones especializadas que edite la Sociedad.
- d) Recibir gratuitamente, boletines o cualquier otro material impreso que apruebe el Directorio para el efecto.
- e) Asistir en calidad de invitado, a todo seminario, congreso, debate, foro y excursión que organice la Sociedad.
- f) Recibir su credencial de miembro afiliado a la Sociedad.
- g) Recibir y solicitar toda la información inherente al funcionamiento de la Sociedad, sin prohibición alguna.
- h) Solicitar su membresía a la Unión Internacional de la Ciencia del Suelo mediante la Sociedad, pagando su derecho de inscripción y cuotas anuales correspondientes.
- i) Ser nombrado como Delegado Departamental.

ARTICULO 8. DE LOS DERECHOS DE LOS MIEMBROS HONORARIOS, ESTUDIANTES E INSTITUCIONALES: Cada miembro sea honorario, estudiante o institucional tendrá los siguientes derechos:

- a) Asistir a las Asambleas Ordinarias o Extraordinarias con derecho a voz .
- b) Suscribirse a publicaciones especializadas que edite la Sociedad.
- c) Recibir gratuitamente, boletines o cualquier otro material impreso que apruebe el Directorio para el efecto.
- d) Asistir en calidad de invitado, a todo seminario, congreso, debate, foro y excursión que organice la Sociedad.
- e) Recibir su credencial de miembro afiliado a la Sociedad.
- f) Solicitar su membresía a la Unión Internacional de la Ciencia del Suelo mediante la Sociedad, pagando su derecho de inscripción y cuotas anuales correspondientes.
- g) Sugerir al Directorio, cualquier actividad lícita que conduzca a cumplir los objetivos de la Sociedad.

ARTICULO 9. DE LAS OBLIGACIONES DE LOS MIEMBROS DE LA SOCIEDAD: Cada miembro fundador, regular, estudiante o institucional tendrá las siguientes obligaciones:

- a) Pagar y mantener vigentes las cuotas que sean aprobadas por la Asamblea General.
- b) Respetar los derechos intelectuales de obras científicas de terceros.
- c) No involucrar a la Sociedad en asuntos personales.
- d) Introducir en las publicaciones periódicas de la Sociedad, los títulos de los trabajos por ellos realizados con los objetivos de la misma, a fin de permitir a la Sociedad contar con una base de datos centralizada que impida la duplicación de esfuerzos y facilite el intercambio de información con instituciones nacionales y entidades extranjeras.
- e) Mantener el espíritu de respeto y camaradería entre todos los miembros.
- f) Todo trabajo realizado a nombre de la Sociedad por cualquiera de sus miembros, será de propiedad de la Sociedad.

CAPITULO 4

DE LA ELECCION DE LOS MIEMBROS DEL DIRECTORIO

ARTICULO 10. Cuando el Comité Electoral, en uso de sus atribuciones convoque a elecciones para los cargos directivos, los candidatos postulantes deberán presentar sus candidaturas por escrito y estar respaldadas por la firma de al menos cinco miembros regulares de la Sociedad.

La Elección deberá realizarse en conformidad a lo estipulado en los artículos 24, 25, 36, 37 y 38 de los Estatutos de la Sociedad Boliviana de la Ciencia del Suelo.

CAPITULO 5 DE LAS OBLIGACIONES DE LOS MIEMBROS DEL DIRECTORIO

ARTICULO 11. El Directorio, además de las atribuciones fijadas en los Estatutos, debe fijar el orden del día de las asambleas, excursiones, debates y reuniones de la Sociedad y admitir o denegar el ingreso de nuevos miembros, mediante resolución motivada.

ARTICULO 12. El Presidente deberá presidir y dirigir los debates, reuniones y otros eventos organizados por la Sociedad, en su reemplazo lo hará el 1er. Vice-Presidente.

ARTICULO 13. El Directorio designará los miembros que representarán a la Sociedad Boliviana de la Ciencia del Suelo ante la Unión Internacional de la Ciencia del Suelo, ya sea como delegados, miembros o parte de la Directiva.

ARTICULO 14. El Directorio mantendrá informada a la Asamblea Ordinaria o Extraordinaria sobre cualquier asunto sobre el cual solicite documentación o informes.

ARTICULO 15. Los miembros del Directorio no podrán involucrar a la Sociedad, ni utilizar su cargo para satisfacción de situaciones o intereses personales.

CAPITULO 6 DEL CONCEJO DE DELEGADOS DEPARTAMENTALES

ARTICULO 16. DE LA REPRESENTATIVIDAD: El Concejo de Delegados Departamentales, una Asamblea General Ordinaria o Extraordinaria, gozarán de la representatividad de todos los miembros de la Sociedad, sin que esta pueda ser objetada en la adopción de sus resoluciones.

ARTICULO 17. DE LA COMPOSICION: El Concejo de Delegados Departamentales estará integrado por dos miembros titulares o sus dos miembros suplentes de cada una de las Filiales Departamentales de la Sociedad Boliviana de la Ciencia del Suelo; cada Delegado tendrá derecho a voz y voto en la consideración y resolución de los asuntos atinentes a la Asamblea General Ordinaria o Extraordinaria, respectivamente.

ARTICULO 18. DE LA ELECCION DE LOS DELEGADOS: En cada Congreso Nacional realizado por la Sociedad, se procederá a elegir en forma separada a cada uno de los Delegado Departamentales.

ARTICULO 19. DE LA DURACION DE SUS FUNCIONES: La duración de las funciones de los Delegados Departamentales, será la correspondiente al periodo entre Congresos Nacionales a ser realizados por la Sociedad, en la cual se procederá a elegir nuevos Delegados o a ratificar a la totalidad, o a parte de los Delegados anteriores.

ARTICULO 20. DE LOS REQUISITOS PARA SER DELEGADO: Para que un miembro pueda ser postulado y designado como miembro del Concejo de Delegados Departamentales, deberá contar con los siguientes requisitos:

- a) Ser postulado por la Filial de su Distrito.
- b) Ser miembro regular de la Sociedad, con el pago al día de sus cuotas.
- c) No tener proceso interno pendiente con la Sociedad o encontrarse procesado penalmente por la comisión de cualquier delito.
- d) No ejercer cargo publico con facultades jurisdiccionales.

ARTICULO 21. DE LA PERDIDA DE CALIDAD DE DELGADO: La calidad de Delegado Departamental se presentara cuando se presenten las siguientes causales:

- a) Renuncia voluntaria.
- b) Por término de su mandato.
- c) Abandono de sus funciones; esta situación se extenderá por la inconcurrencia sin causal justificada a mas de tres Asambleas Ordinarias o Extraordinarias de la Sociedad.
- d) Por resolución de la Asamblea General Extraordinaria convocada para el efecto, que ratifique el fallo condenatorio de primera instancia del Tribunal de Honor o por la existencia de cualquiera de las causales establecidas en el Artículo 24 del presente Reglamento.

CAPITULO 7 DE LAS PUBLICACIONES

ARTICULO 22. DE LA REVISTA: La Sociedad editará una revista científica sobre el recurso suelo en Bolivia, la que será publicada periódicamente y a la cuál podrán suscribirse los miembros de la Sociedad o terceras personas. Los artículos a ser publicados en la revista, deberán estar referidos a la Ciencia del Suelo y podrán ser enviados tanto por los miembros de la Sociedad como por otras terceras personas que puedan contribuir con sus trabajos a los objetivos trazados en los Estatutos.

Una Comisión de redacción presidida por un jefe de redacción estará compuesta por dos miembros de la Sociedad inmersos en el ámbito científico, quienes serán designados por la Asamblea General de la Sociedad a proposición del Directorio.

El mandato de los miembros del Comité de redacción tendrá una duración de cinco años, después de los cuales podrá ser renovado.

Cada año, el jefe de redacción someterá a consideración del Directorio un reporte de la gestión pasada y un plan tentativo de trabajo para la gestión siguiente. Esta documentación deberá estar previamente aprobada por todos los miembros del Comité de redacción y ratificada por el Directorio.

ARTICULO 23. DE LA AUTORIA DE ARTICULOS: La Revista, no comprometerá a la Sociedad frente a terceros por situaciones de plagio, sino que el autor de cada artículo será responsable del mismo.

CAPITULO 8 DEL PROCESAMIENTO INTERNO

ARTICULO 24. DE LA DENUNCIA: Cualquier miembro fundador, regular o estudiante podrá ser sometido a proceso interno, de oficio o denuncia de tercero, por las siguientes causales:

- a) Indisciplina, comportamiento o conducta inmoral en la persona del miembro procesado.
- b) Actitud antiética frente a los intereses de la Sociedad, incluyendo el plagio de proyectos ú obras intelectuales.
- c) Violación o incumplimiento del Estatuto o del presente Reglamento Interno en cuanto se refiera a obligaciones fundamentales o prohibiciones.
- d) Hacer uso de la Sociedad para la satisfacción de fines e intereses personales, políticos o de grupo.
- e) Falsedad de documentos presentados para lograr su admisión en la sociedad.
- f) Haber recibido sentencia ejecutoriada por parte de la justicia ordinaria por la comisión de cualquier delito.

ARTICULO 25. DEL PROCEDIMIENTO: El Tribunal de Honor al momento de recibir la denuncia por parte de tercero, deberá solicitar las generales de ley del denunciante, cuando sea de oficio, deberá establecer en la denuncia tal hecho.

Conocida y admitida la denuncia, se citará al miembro denunciado, para que en el plazo de 7 días hábiles comparezca ante el Tribunal de Honor, a objeto que conozca los cargos que se le imputan y

de la personería del denunciante, en esa audiencia se le advertirá que tiene el término de quince días (15) días hábiles a contar de la fecha de la audiencia para que el mismo asuma defensa amplia, a cuyo vencimiento se realizará una audiencia de recepción de pruebas y podrá en forma escrita o verbal presentar su defensa, acompañar las pruebas o los medios de prueba de descargo que vea por conveniente.

Podrá asistir sólo o con un abogado patrocinante a dicha audiencia. El Tribunal de Honor podrá si el caso amerita, señalar una nueva audiencia descargo, cuando exista motivo justificado del miembro sometido a proceso.

Terminada la audiencia de descargo, el Tribunal de Honor señalará día y hora para audiencia de lectura de resolución interna, en un plazo no mayor a diez (10) días de verificada la última audiencia. Con anterioridad a dicha fecha los miembros del tribunal se reunirán en forma reservada, las veces que juzgue necesario, para analizar, discutir el caso presentado.

ARTICULO 26. DE LAS RESOLUCIONES: El Tribunal de Honor podrá dictar las siguientes resoluciones:

- a) Declarativa de inocencia de los cargos imputados al procesado.
- c) Declarativa de culpabilidad de los cargos imputados al miembro procesado, indicando el grado de responsabilidad y recomendando la sanción a ser aprobada por la Asamblea General Extraordinaria de la Sociedad.

Cualquiera sea la clase de resolución, la misma subirá de oficio en consulta ante la Asamblea General para que su sesión extraordinaria, confirme o revoque dicho fallo, el mismo que no admitirá recurso ulterior de ninguna clase.

ARTICULO 27. DE LAS EXCUSAS DE OFICIO O A PETICION DE PARTE: A efecto de las excusas de oficio o a petición de parte se estará a lo dispuesto por el art. 40 del Estatuto de la Sociedad.

ARTICULO 28. DE LAS SANCIONES: En caso que se dicte una resolución de culpabilidad por los cargos denunciados en contra del miembro procesado, se recomendará a la Asamblea General Extraordinaria la aplicación de cualquier de las siguientes sanciones:

- a) Llamada de atención mediante nota escrita.
- b) Suspensión de la calidad de miembro por el lapso de cinco meses, no pudiendo en consecuencia ejercitar sus derechos como tal.
- c) Expulsión de la Sociedad, disponiéndose la eliminación del nombre del miembro de las listas de la Sociedad, la devolución de la credencial respectiva y si el caso amerita, obtener la autorización del fiscal de turno, para la publicación de la resolución correspondiente en un órgano de prensa de circulación nacional.

En caso de existir la presunción de la comisión de delitos por parte de cualquier miembro procesado internamente, el Tribunal de Honor instruirá al Directorio de la Sociedad, la denuncia correspondiente en forma inmediata a los Organismos de Control Oficial del Estado, asignados para el levantamiento de las diligencias de policía judicial correspondientes.

ARTICULO 29. DE LA EJECUCION DE FALLOS: Se estará sujeto a lo dispuesto por el art. 41 del Estatuto de la Sociedad.

CAPITULO 9

DE LOS MONTOS DE DISPOSICION DE PATRIMONIO DE LA SOCIEDAD

ARTICULO 30. De conformidad a lo dispuesto por el Artículo 28. I) de los Estatutos, el Directorio podrá disponer mediante venta o cualquier tipo de enajenación los bienes de la Sociedad que tengan un valor de hasta \$US20.000.

La Asamblea General dispondrá por mayoría relativa (cincuenta por ciento mas uno) de los votos de sus miembros, la venta o enajenación de bienes de la Sociedad que tengan un valor mayor a \$US20.000.

CAPITULO 10 DE LAS DISPOSICIONES FINALES Y TRANSITORIAS

ARTICULO 31. DE LA REFORMA DEL REGLAMENTO: La Sociedad se reserva el derecho de reformar, introducir nuevas disposiciones o efectuar modificaciones totales o parciales en este Reglamento, en cualquier tiempo, para tal efecto y de conformidad a lo establecido por el art. 17 se deberá contar con el quórum suficiente de la Asamblea General Ordinaria convocada para dicha finalidad.

ARTICULO 32. DE LAS DISPOSICIONES COMPLEMENTARIAS: Se considerarán parte complementaria de este Reglamento los acuerdos suscritos vigentes, instructivos y normas que imparta la Sociedad, debiendo las mismas ajustarse al Estatuto de la Sociedad y a las disposiciones legales vigentes.

ARTICULO 33. DE LA VIGENCIA DEL REGLAMENTO: El Presente Reglamento Interno regirá la Sociedad Boliviana de la Ciencia del Suelo por tiempo indefinido y entrará en vigencia el momento de la aprobación de la personalidad jurídica de la Sociedad por la autoridad pública correspondiente.

Miembros del Directorio AD-HOC de la Sociedad Boliviana de la Ciencia del Suelo

1.	Dr. Vladimir Orsag Céspedes	PRESIDENTE
2.	Ing. M.Sc. Edgar Gutierrez Rodriguez	PRIMER VICE-PRESIDENTE
3.	Ing. M.Sc. Maria Orlando Diaz Zambrana	SEGUNDO VICE-PRESIDENTE
4.	Ing. M.Sc. Marco Antonio Flores Maldonado	SECRETARIO
5.	Dr. Ivo Luis López Bakovic	TESORERO
6.	Ing. Antonio José Michel Calvimontes	VOCAL
7.	Dr. Carlos René Valenzuela	VOCAL
8.	Ing. Milton Reynaldo Rocha	VOCAL
9.	Ing. Humberto Blanco Canqui	VOCAL
10.	Ing. Rodolfo Velasquez Zambrana	VOCAL
11.	Ing. David Ruiz Alderete	VOCAL
12.	Ing. Linder Espinoza Márquez	VOCAL
13.	Ing. Juan José Triveño Mercado	VOCAL

**COMITE DE ORGANIZACIÓN
DEL PRIMER CONGRESO BOLIVIANO DE LA CIENCIA DEL SUELO**

Dr. Vladimir Orsag Céspedes	PRESIDENTE
Ing. M.Sc. Edgar Gutierrez Rodriguez	PRIMER VICE-PRESIDENTE
Ing. M.Sc. Mario Orlando Dìoz Zambrana	SEGUNDO VICE-PRESIDENTE
Dr. Ivo Luis López Bakovic	TESORERO
Ing. Adolfo Muñoz	Vocal (Tarija)
Ing. M.Sc. Humberto Blanco	Vocal (Oruro)
Ing. Freddy Villarroel	Vocal (Chuquisaca)
Ing. Oscar Siles (†)	Vocal (La Paz)
Ing. Angel Beltrán	Vocal (La Paz)
Dr. Diego Sánchez de Lozada	Vocal (La Paz)

Comisiones de Trabajo

Comisión Científica

Ing. M.Sc. José Amurrio
Ing. M.Sc. Edgar Gutierrez
Ing. M.Sc. Constantino Soto
Ing. M.Sc. Marco Flores
Ing. Reynaldo Rocha

Comisión Normativa

Ing. Alfredo Cáceres
Ing. Constantina Soto
Ing. Juan Bellat
Ing. M.Sc. Marco Flores
Ing. Ruben Ledezma

Comisión de Financiamiento

Dr. Ivo Lopez
Ing. Jaime Sejas
Ing. Eliseo Quino

Comisión Logística

Dr. Diego Sanchez de Lozada
Ing. M.Sc. René Chipana

Comisión Relaciones Públicas

Dr. Diego Sanchez de Lozada
Ing. Roberto Miranda

**Comisión de Elaboración de
Estatutos y Conformación Legal de la SBCS**

Ing. M.Sc. Edgar Gutierrez

Comisión Historial de la Ciencia del Suelo en Bolivia

Ing. Manuel Quisbert
Ing. Jaime Sejas
Ing. Oscar Siles (†)

Comisión Legal

Dr. Diego Sanchez de Lozada
Ing. Gabriel Bustillos
Ing. Marina Dockoweiller de Bolivion

Comisiones de apoyo

- Estudiantes Facultad de Agronomía - UMSA
- Estudiantes Carrera de Geografía - UMSA