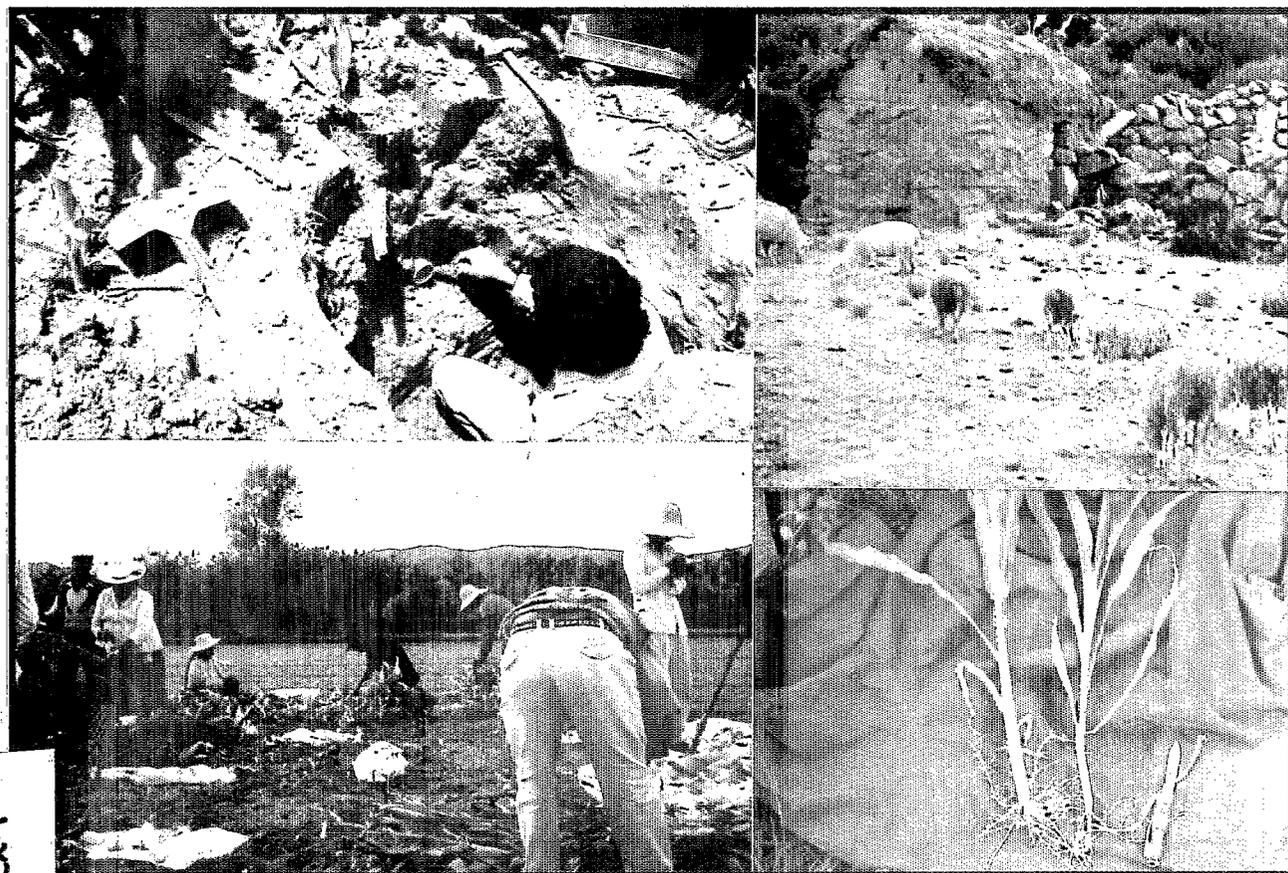


REVISTA DE AGRICULTURA

ORSTOM

Convenio Sistemas de
Cultivo en la región de Cochabamba



B 41822 - 41828 ex1



Facultad de Ciencias Agrícolas
Pecuarias, Forestales y Veterinarias
"Martín Cárdenas"
Cochabamba - Bolivia



UNIVERSIDAD MAYOR DE SAN SIMON
FACULTAD DE CIENCIAS AGRICOLAS, PECUARIAS,
FORESTALES Y VETERINARIAS

“MARTIN CARDENAS”

Dr. Tonchy Marinkovic Uzqueda
RECTOR

Ing. Alberto Rodríguez Méndez
VICE-RECTOR

Ing. Fernando Quitón Daza
DECANO

Ing. Jaime La Torre Pérez
DIRECTOR ACADEMICO

Ing. José Amurrio Rocha
DIRECTOR DE INVESTIGACION

REVISTA DE AGRICULTURA

Nº D.L. 2-3-336-88
INFORMACION TECNICO-CIENTIFICA
DE LA AGROPECUARIA BOLIVIANA

Año 50 Agosto 1994 Nº 24

Los Autores son responsables por las ideas y conceptos que se expresan en los artículos de esta revista y no representan, necesariamente, los puntos de vista de la Facultad de Ciencias Agrícolas y Pecuarias

Se permite la reproducción de los artículos citando la fuente; se agradecerá el envío de un ejemplar.

REVISTA DE AGRICULTURA

Convenio Sistemas de
Cultivo en la región de Cochabamba



Facultad de Ciencias Agrícolas
Pecuarias, Forestales y Veterinarias
“Martín Cardenas”
Cochabamba - Bolivia

Portada: Trabajos de Investigación
efectuados por ORSTOM

CONTENIDO

Editorial	1
¿Qué es el ORSTOM?	2
Las características radiativas y la evapotranspiración potencial en el altiplano boliviano	4
Decisiones de labranza, consecuencias sobre el suelo y los cultivos. Problemática del altiplano boliviano	12
Sistemas de crianza extensiva en el altiplano boliviano	23
Variaciones de las condiciones agroclimáticas mensuales en los valles de Cochabamba	30
Un enfoque de investigación agronómica en base a la descomposición del rendimiento en componentes: Aplicaciones al cultivo de trigo	37
Control de <i>Spergula arvensis</i> L. en cultivo de trigo	41

La presente Edición de la revista Agricultura es posible gracias a la colaboración del aporte docente, estudiantil y el auspicio de ORSTOM.

COMITE EDITORIAL

Ing. José Amurrio Rocha (FCAPFV)
Ing. Carlos Soria Arauco (FCAPFV)
Ing. Jorge Delgadillo A (CIF)
Teléfonos: 24248 - 23406 - Casilla 992
Cochabamba - Bolivia

Impreso en Colorgraf “Rodríguez” Teléfono 28515

Invitados por la presente edición ORSTOM

El pasado mes de mayo, se efectuó elecciones para Autoridades Facultativas, siendo elegidos con un aporte muy significativo del voto estudiantil, los Ingenieros Fernando Quitón Daza y Jaime La Torre Pérez, como Decano y Director académico respectivamente. Dichas Autoridades se comprometieron a favorecer los cambios necesarios para modernizar y dar más dinámica a la Facultad, en relación estrecha con la energía estudiantil.

También, cabe mencionar el enriquecimiento del membrete de la Facultad con las menciones "Forestales" y "Veterinarias", carreras integradas al curso académico de la Facultad "Martín Cárdenas".

El presente número de la Revista muestra trabajos realizados en cooperación entre instituciones bolivianas de investigación agropecuaria y de formación e investigadores agrónomos franceses. El Convenio "Sistemas de cultivo en la región de Cochabamba" une nuestra Facultad con una Unidad de investigación de ORSTOM, llamada "Dinámica de los sistemas de producción", dentro un Convenio más general entre la Universidad Mayor de San Simón y el ORSTOM.

¿Qué es un sistema de cultivo?

Algunos hablan de sistema para subrayar que la relación causa-efecto no es siempre directa, y que un efecto puede ser considerado como una causa cuando se descompone lo que ocurre. Entonces, un sistema de cultivo puede ser el concepto de ecología aplicado al campo cultivado, donde se considera como un todo la población vegetal, el terreno, el clima y las técnicas utilizadas.

También, el sistema de cultivo puede ser el concepto "corazón" de una disciplina científica que llamaremos Agronomía, que moviliza y sintetiza los conocimientos de Fitotecnia, de Ingeniería y de Desarrollo rural. Esta disciplina analiza los efectos de los factores del medio y de las prácticas de manejo en los cultivos. De manera complementaria, en asociación con las ciencias sociales, intenta analizar las tomas de decisiones de los agricultores, para ayudar a razonar el proceso complejo de la producción agropecuaria y del desarrollo regional. Se interpreta que el sistema ganadero es similar al sistema de cultivo.

Entender el funcionamiento del campo cultivado, o del rebaño, establece un lazo entre una actividad experimental, un trabajo de observación, un enfoque de recomendación y de extensión. Requiere un conjunto de métodos de investigación que integra los diferentes puntos de vista que se pueden adoptar para relacionar, a diferentes escalas de tiempo y de espacio, conocimientos científicos y actividades agropecuarias.

¿QUE ES EL ORSTOM?

Jean LAUNAY (1)

EL ORSTOM (Instituto Francés de Investigación Científica para el Desarrollo en Cooperación), fundado en 1944, es un organismo público dotado de personalidad civil y de autonomía económica. En el marco de la política gubernamental de investigación para el Desarrollo, ORSTOM tiene como misión, fuera de Francia, promover y cooperar con los Institutos nacionales de investigaciones científicas y técnicas que puedan contribuir al progreso de los países en desarrollo a través del estudio de los medios físicos y biológicos de estos países, por intermedio de investigaciones experimentales, de acuerdo con los objetivos propios de desarrollo.

En este marco global, el ORSTOM tiene por misión específica:

- seguir una política de información científica;
- contribuir a la valorización social, económica y cultural de los resultados obtenidos por sus investigadores y los de la contraparte;
- aportar su ayuda en la formación del personal de investigación;
- favorecer, en el marco de convenios, el trabajo conjunto con los organismos que trabajan en el campo de su competencia;
- participar de manera activa en el análisis de la coyuntura científica internacional, con el fin de adaptar mejor sus propias acciones en este campo.

Para llevar a cabo su misión, el ORSTOM, compuesto por 1.600 personas, de las cuales 900 trabajan fuera de Francia, está presente en 40 países.

Las actividades de ORSTOM están estructuradas dentro de los cinco departamentos científicos que son:

1. Tierra - Océano - Atmósfera
2. Aguas Continentales

3. Medios y Actividades Agropecuarios
4. Salud
5. Sociedad, Urbanización, Desarrollo

En Bolivia, la primera intervención del ORSTOM, fue en 1968, con dos geólogos, en el marco de un convenio firmado con el Servicio Geológico de Bolivia para realizar un estudio geológico y estructural de los Andes bolivianos.

Poco a poco, esta cooperación se amplió y se extendió a todos los departamentos científicos y actualmente todos están representados.

Hoy en día, la cooperación del ORSTOM, se desarrolla en las especialidades siguientes: Agroclimatología, Agronomía, Economía, Geología, Hidrología, Farmacognosia (plantas medicinales), Nutrición y Parasitología.

Ahora, permanentemente 28 investigadores están trabajando en Bolivia, y cada año vienen otros de misión de breve duración desde Francia, para brindar ayuda en la buena ejecución de ciertos programas que lo necesitan.

Para terminar, es menester añadir que en su papel de capacitación, ORSTOM Bolivia acoge cada año varios cursillistas franceses, bolivianos y extranjeros para una práctica que puede durar hasta un año.

Todos estos trabajos de investigación siempre se realizan en el marco de convenios firmados con varios organismos bolivianos: así, al nivel agropecuario, con SENAMHI, IBTA y la Facultad de Agronomía de Cochabamba.

RIESGOS Y SECURIZACION DE LA PRODUCCION AGROPASTORIL EN EL ALTIPLANO BOLIVIANO (2)

Objetivos de los programas de investigación

El Altiplano boliviano, situado a una altitud promedio de 4000 msnm, es una de las principales zonas agrícolas de Bolivia. Se caracteriza por:

- rendimientos agrícolas muy bajos
- riesgos de sequía y heladas permanentes

(1) Representante de ORSTOM en Bolivia.

(2) A cargo de los agrónomos "paceños" de ORSTOM

- una riqueza excepcional de especies vegetales y animales adaptadas a estas condiciones climáticas extremas
- prácticas agropastoriles mantenidas durante siglos por poblaciones que han conservado su cultura original, aunque estén afectadas desde algunos decenios por transformaciones profundas (diferenciación socio-económica, éxodo rural, actores exteriores múltiples, pérdida de referencias culturales, etc.)

Frente a estas problemáticas, los investigadores de ORSTOM (agrónomo, agroclimatólogos, zootecnista y antropólogo), conjuntamente con sus colegas bolivianos del IBTA y del SENAMHI y egresados de Universidades, realizan un programa de investigación sobre "los riesgos y la securización de la producción agropastoril en el altiplano boliviano". El objetivo general de este programa es de caracterizar los riesgos climáticos y los sistemas agrarios del altiplano para proponer técnicas agropastoriles adaptadas al funcionamiento de las unidades de producción en comunidades campesinas, que aumenten y securicen la producción. Para lograr este objetivo se ve la necesidad de interrelacionar conocimientos sobre el clima, los suelos, los cultivos, los animales, las prácticas agrícolas y las sociedades humanas consideradas.

Los agroclimatólogos analizan los riesgos de sequía y de heladas y su influencia sobre la producción agrícola; asimismo proponen medios de lucha como la rehabilitación de infraestructuras agrícolas de origen precolombina, técnicas culturales, variedades de cultivo andinos, cubiertas sobre cultivos, que permiten un aumento sensible de los rendimientos.

Para el agrónomo, el zootecnista y el antropólogo, se trata de conocer la dinámica de los sistemas de producción, precisar sus potencialidades y explicar las decisiones de los campesinos en base a sus criterios biotécnicos y socioculturales. Se revela así los eventuales disfuncionamientos, tanto al nivel de la unidad de producción familiar que de la comunidad. Los resultados permiten evaluar las posibilidades de adopción de alternativas técnicas.

Acciones de investigación

- Caracterización y zonificación de los riesgos de sequía y heladas mediante un análisis estadístico de los datos meteorológicos, una determinación de la ETM, y en base a fotos satélites (NOAA, SPOT).

- Estudios agrofisiológicos y de rendimiento de tubérculos andinos, quinoa, cebadas, con un estudio específico del comportamiento hídrico y fotosintético frente a la sequía.
- Caracterización de las relaciones tróficas entre herbívoros (camélidos, ovinos y bovinos) y recursos forrajeros (comportamiento alimenticio, digestibilidad, balances nutricionales) y sus repercusiones sobre el funcionamiento del sistema de crianza.
- Prácticas campesinas e itinerarios técnicos alternativos orientados a securizar la producción: trabajo del suelo, riego, selección de variedades, fertilización nitrogenada, etc.
- Balances de fertilidad: fósforo, materia orgánica, malezas, nemátodos, actividad microbiológica.
- Relaciones agricultura-ganadería y diagnóstico de los sistemas forrajeros: tipología, análisis cuantitativo (cobertura, biomasa) y cualitativo (valor nutritivo) de los recursos forrajeros.
- Reducción del descanso de la tierra y dinámicas socio-económicas. Esta investigación pluridisciplinaria se articula en tres puntos:
 - ◆ demografía histórica y acceso a la tierra
 - ◆ estado del medio y fertilidad según la edad del descanso
 - ◆ efecto de la reducción de la duración del descanso sobre el funcionamiento de las unidades de producción y de la comunidad.
- Pronósticos climáticos: indicadores indígenas del clima y adivinación.
- Concepción aymara de la desgracia y de la enfermedad: sistemas simbólicos y representaciones en la cosmovisión andina.

Estos trabajos pretenden proveer una caracterización fina a la vez de los comportamientos biológicos de plantas cultivadas y animales domésticos, y de las prácticas campesinas en el contexto de alto riesgo del altiplano. Para ello, se integran diferentes niveles de percepción, desde las plantas, el suelo, la parcela, el animal hasta el funcionamiento de las unidades de producción y las comunidades campesinas.

Estos diagnósticos en condiciones reales permiten plantear alternativas de desarrollo adaptables por los campesinos del altiplano.

LAS CARACTERISTICAS RADIATIVAS Y LA EVAPOTRANSPIRACION POTENCIAL EN EL ALTIPLANO BOLIVIANO

Jean Joinville VACHER (1)
Edgar IMAÑA (2)
Elisa CANQUI (3)

I. INTRODUCCION

En el altiplano boliviano, la producción de los cultivos se ve limitado por frecuentes sequías. La escasez y la irregularidad de las precipitaciones son factores determinantes del déficit hídrico. Sin embargo el estudio de la sequía no puede circunscribirse al análisis de las precipitaciones, sino también a un conocimiento preciso de las necesidades en agua de los cultivos, sea la evapotranspiración potencial (ETP).

Frente a la ausencia de medición directa de la ETP en el altiplano, o de estimaciones verificadas a casi 4000 m.s.n.m., la ORSTOM en colaboración con el Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología (SENAMHI), inició un estudio preciso de las características radiativas en el altiplano y de la evapotranspiración potencial con fórmulas y con mediciones directas por lisimetría. Ha sido demostrado teóricamente y experimentalmente (Prestley y Taylor, 1972; Perrier, 1975; Lhomme y Montheny, 1982) que la evapotranspiración era, ante todo un fenómeno energético, en el cual el resultado del balance radiativo, la radiación neta, tiene un papel determinante. Este factor principal no fue nunca medido en el altiplano, pero siempre estimado con fórmulas nunca verificadas, cuando Frere et al. (1978) habían señalado la influencia significativa de la altura sobre las características radiativas y el balance radiativo.

En este estudio se presentarán los resultados correspondiendo por una parte a un análisis de las características radiativas medidas durante 4 años en el altiplano, análisis de primera importancia para estimar la ETP y para determinar la energía radiativa disponible para la fotosíntesis y por otra parte a una determina-

ción durante un año de la ETP por lisimetría; determinación que permite además evaluar la precisión de las fórmulas empíricas frecuentemente utilizadas.

II. MATERIALES Y METODOS

El balance radiativo se determinó con la fórmula siguiente:

$$R_n = (1-a)R_g - R_t + R_a$$

donde:

R_n	=	Radiación neta resultado del balance radiativo
R_g	=	Radiación solar global
a	=	Albedo
R_t	=	Radiación terrestre
R_a	=	Radiación atmosférica
$(1-a)R_g$	=	Balance radiativo de onda corta
$R_t - R_a$	=	Balance radiativo de onda larga

Desde 1987 se instalaron dos estaciones meteorológicas automáticas en el altiplano boliviano, una en Viacha y una en Patacamaya. Viacha ubicada a 40 km al Sur de La Paz, tiene un promedio anual de precipitaciones de 660 mm y presenta riesgos elevados de helada, esta estación es representativa de las condiciones agroclimáticas del Altiplano Norte. Patacamaya ubicada a 100 km al Sur de La Paz, tiene un promedio anual de precipitaciones de 420 mm y presenta riesgos muy intensos de helada, es representativa de las condiciones agroclimáticas del Altiplano Central.

En estas dos zonas se realizaron durante 4 años mediciones de radiación solar global con un piranómetro CIMEL y mediciones de radiación neta con un piradiómetro SCHENK. Se estimó la radiación terrestre a partir de la medición de la temperatura de superficie y utilizando la fórmula de Stefan - Boltzmann:

$$R_t = \sigma \epsilon T_s^4$$

(1) Doctor Agroclimatología, investigador ORSTOM CP 9214 La Paz-Bolivia.

(2) Ing. SENAMHI CP 10993 La Paz-Bolivia

(3) Ing. Agr. UTO Oruro

donde:

- σ = Constante de Stefan Boltzmann
- ϵ = Emisividad de la superficie
- T_s = Temperatura de superficie en °Kelvin

Con las estaciones meteorológicas automáticas se midieron también, la temperatura, la humedad del aire, el viento y las precipitaciones.

En 1990 se instaló en Patacamaya dos lisímetros de drenaje de 4 m² de superficie distante de 12 m, con una cámara de drenaje donde se recepcionó el agua excedente de los lisímetros.

Como cultivo de referencia y según las normas internacionales de medición de la ETP se utilizó un Ray grass inglés (*Lolium perenne*), presentando al inicio de las mediciones (1ro. de enero 1991) una cobertura de 100 %. Para limitar el efecto de la advección sobre la ETP, los lisímetros se encontraban en una zona de Ray grass regada de 1000 m². El riego dentro de los lisímetros se realizó a diario. En el anillo de protección el riego se concentró cada 3 días. Las mediciones de drenaje se efectuaron diariamente.

Recordaremos que el método del lisímetro a drenaje se basa sobre el balance hídrico al nivel de un volumen de suelo:

$$ETP = P + R - Dr \pm \Delta S$$

donde:

- P = Precipitación medida en la parcela
- R = Riego medido en la parcela
- Dr = Drenaje medido en la cámara de drenaje
- ΔS = Variación de agua en el suelo

En un experimento de lisimetría de drenaje, se provoca un drenaje constante para poder considerar $\Delta S = 0$. En nuestro experimento para verificar esta hipótesis se realizaron mediciones semanales de la humedad del suelo con una sonda de neutrones.

III. RESULTADOS Y DISCUSION

3.1. Características Radiativas en el Altiplano

3.1.1. La Radiación Solar Global

La radiación solar global en el altiplano boliviano presenta valores muy elevados. Los

promedios anuales para Viacha y Patacamaya son de 2125 J cm⁻² d⁻¹ y 2248 J cm⁻² d⁻¹ sea 247 W m⁻² y 261 W m⁻² por un día de 24 horas y 494 W m⁻² y 522 W m⁻² por un tiempo diurno de 12 horas (cuadro 1). Estos valores son ligeramente superiores a los estimado por Frere *et al.* (1978) en el estudio agroclimático de la zona andina. La radiación solar global alta en el altiplano se explica por la altura de la zona estudiada (casi 4000 m) y el clima seco durante una gran parte del año. El menor espesor de la atmósfera, la presión atmosférica baja (alrededor de 650 mb), y la reducida presión parcial de vapor de agua (< 6 mbar) disminuyen la absorción de la radiación solar por la atmósfera. Los coeficientes elevados de la radiación solar frente a la radiación solar al tope de la atmósfera (Rg/Rgo) corroboran la alta transparencia del aire en el altiplano.

Podemos observar en el cuadro 1 una clara variación estacional con un mínimo en junio y un máximo en noviembre, lo que corresponde a la variación de la radiación solar que entra en la atmósfera. Recordaremos que el sol tiene su máximo de inclinación el 21 de junio y pasa 2 veces a la vertical del altiplano el 24 de noviembre y el 17 de febrero, pero esta última fecha corresponde a la temporada de lluvia con un cielo nublado.

La amplitud de la variación estacional es reducida (23 % para Viacha y 28 % para Patacamaya), debido a la coincidencia de la época lluviosa con el verano, y de la época seca con el invierno. Se observa valores máximos de Rg/Rgo en junio, julio y agosto, meses con promedios de humedad relativa del aire inferiores a 50 %. Hay que subrayar que a pesar de tener un cielo altamente despejado durante los meses de junio y julio la radiación solar esta en promedio inferior a los meses de la época lluviosa en enero y febrero. Los valores de Rg más alto para Patacamaya corresponden a su ubicación en una zona más árida, con menor nebulosidad y menor humedad atmosférica.

Se registraron valores máximos diarios de 3400 J cm⁻² d⁻¹ y de 3150 J cm⁻² d⁻¹ para Patacamaya y Viacha respectivamente, sean 790 W m⁻² y 732 W m⁻² por día de 12 horas de sol; con máximos al mediodía superiores a 1300 W m⁻² llegando casi a los valores de la radiación solar al tope de la atmósfera (1370 W m⁻²).

La radiación solar global elevada durante toda la temporada agrícola favorecerá la foto-

síntesis de los cultivos. Sin embargo, el aumento importante de la proporción de U.V. con la altura (Gates y Janke, 1966; in Barry, 1992), puede provocar algunos stress (Levitt, 1980) .

3.1.2. La Radiación Neta

Los valores promedios anuales para Viacha y Patacamaya son de $875 \text{ J cm}^{-2} \text{ día}$ y de $898 \text{ J cm}^{-2} \text{ día}$, sea 102 W m^{-2} y 104 W m^{-2} (cuadro 1). La R_n representa respectivamente para estas dos estaciones 41 % y 40 % de la R_g . Estos valores son ligeramente superiores a los estimados por Frère et al. (1978) para la zona andina y Voloshina 1966 (in Barry, 1992) para el Cáucaso.

Sin embargo la R_n medida en el altiplano corresponde a las extrapolaciones que determinaron Frère *et al.* (1978) sobre una disminución de la R_n con la altura de $85 \text{ J x cm}^{-2} \text{ x día}^{-1}$ por cada 1000 m.

Como para la R_g se puede observar una variación estacional con una mínima en junio-julio, pero la máxima corresponde a los meses de enero y febrero.

En el análisis del balance radiativo de onda larga se verá que las máximas de R_n coinciden con una humedad relativa alta durante la época de lluvia.

La influencia de este factor sobre la radiación neta no permite en el altiplano tener buena correlación entre la R_g y la R_n y así la imposibilidad de utilizar la R_g para tener una buena estimación de la R_n en el altiplano.

Las mínimas obtenidas para Patacamaya son bastante inferiores a las obtenidas para Viacha, como veremos posteriormente, esta diferencia se debe a una atmósfera mucho más seca para Patacamaya durante el invierno.

Los valores máximos absolutos diarios son de $1630 \text{ J cm}^{-2} \text{ día}^{-1}$ para Viacha y $1851 \text{ J cm}^{-2} \text{ día}^{-1}$ para Patacamaya sean 188 W m^{-2} y 215 W m^{-2} respectivamente. Estos valores altos durante la temporada agrícola anuncian una ETP bastante elevada para esta temporada a pesar de la disminución debido a la altura.

3.1.3. El Balance Radiativo de Onda Larga

El balance radiativo de onda larga se define por la diferencia entre la radiación de onda larga emitida por la cobertura vegetal o radia-

ción terrestre (R_t) menos la radiación de onda larga emitida por la atmósfera hacia la tierra, o radiación atmosférica (R_a).

La radiación terrestre fue estimada a partir de las mediciones de temperatura de superficie con un termómetro en la superficie y ligeramente cubierto por el pasto corto sobre el cual se instaló el piradiómetro. La radiación atmosférica es deducida del balance radiativo tomando un albedo de 0.20. Los valores de R_t y R_a se encuentran en el cuadro 2.

Los promedios de R_t y R_a son para Viacha y Patacamaya de $3350 \text{ J cm}^{-2} \text{ d}^{-1}$ y 2528 J cm^{-2} (387 W m^{-2} y 292 W m^{-2}), $3434 \text{ J cm}^{-2} \text{ d}^{-1}$ y $2560 \text{ J cm}^{-2} \text{ d}^{-1}$ (397 W m^{-2} y 296 W m^{-2}) con un balance radiativo de onda larga de $822 \text{ J cm}^{-2} \text{ d}^{-1}$ (95 W m^{-2}) y $873 \text{ J cm}^{-2} \text{ d}^{-1}$ (101 W m^{-2}). Estos datos subrayan la importancia del déficit del balance radiativo de onda larga, déficit que corresponde a los valores reducidos de la radiación atmosférica.

En el altiplano, los valores bajos para la radiación atmosférica corresponden por una parte al efecto de la altura y por otra parte a un clima árido 8 meses por año lo que determina una humedad muy baja del aire. Además, datos de radiosondeo indican una reducción de 40 % de la presión de vapor de agua entre 4000 y 5000 m y de 60 % entre 4000 y 6000 m.

Frère *et al.* (1978), señalan una reducción significativa de la Radiación atmosférica y un aumento de 20 % del cociente $(R_t - R_a)/R_g$ entre 0 y 4000 m en los andes.

Sauber in Dirmhirn (1985 in Barry 1992) observaron para los Alpes Austríacos una disminución de 25 a 30 % de Radiación atmosférica entre 1000 y 3000 m. Sin embargo si en los Alpes se puede observar una reducción importante de la radiación terrestre con la altura y así un casi constante balance radiativo de onda larga, en el altiplano, la temperatura máxima de superficie es todo el año, superior a 15 °C y produce así una R_t del orden de 400 W m^{-2} .

Las variaciones mensuales de R_t y R_a muestran una clara evolución estacional; para la R_t la mínima se produce en junio y la máxima en diciembre siguiendo así las variaciones de la radiación solar global. La variación intermensual es reducida, inferior a 20 %.

La radiación atmosférica muestra mínima en los meses de junio, julio, agosto y máxima

en enero, febrero; lo que corresponde precisamente a las variaciones de humedad del aire. La amplitud de la variación intermensual es de 20 a 25 %.

El balance radiativo de onda larga tiene un promedio de $850 \text{ J cm}^{-2} \text{ día}^{-1}$, sea alrededor de 100 W m^{-2} . Este valor bastante alto explica los valores relativamente reducidos de R_n y la disminución importante de la temperatura durante la noche. Las variaciones intermensuales no muestran una evolución estacional muy nítida, la máxima corresponde a los meses de septiembre, octubre, noviembre, con una radiación solar global bastante elevada, y una atmósfera relativamente seca; y la mínima el mes de enero con una radiación atmosférica elevada.

3.2. LA ETP EN EL ALTIPLANO BOLIVIANO

3.2.1. Determinación de la ETP por lisimetría

Las mediciones de la ETP fueron determinadas por lisimetría a drenaje por ser un método muy fiable y preciso, y tener así una referencia exacta.

El cuadro 3 representa la evolución de la ETP medida por lisimetría en Patacamaya el año 1991. Estos resultados integran las correcciones efectuadas con las variaciones de humedad en el suelo medidos por la Sonda de Neutrones, estas variaciones que fueron solamente para todo el experimento de 3 mm con un máximo mensual de 2 mm. Estos resultados confirman la hipótesis de una casi constante humedad del suelo con un drenaje continuo.

El valor anual total de la ETP fue por el año estudiado de 1538.3 mm sea un promedio de 4.21 mm/día. El total de los meses correspondiendo a la temporada agrícola (noviembre a marzo) fue de 767.3 mm sea 5 mm/día.

Tomando como hipótesis una cierta estabilidad interanual de la ETP y utilizando los promedios de 20 años de precipitación el déficit hídrico para la temporada agrícola es de 450 mm sea un déficit hídrico (I-P/ETP) de 42 %. Estos resultados subrayan el problema de la sequía para la zona del Altiplano Central.

La evolución mensual de la ETP muestra un máximo en diciembre de 5.7 mm/día y un mínimo en julio de 2 a 3 mm. Se obtuvieron un máximo diario de 6.5 mm en diciembre y un mínimo

diario de 1.6 mm en julio, un máximo decadal con un promedio de 5.6 mm/día y un mínimo decadal con un promedio de 2.2 mm/día, la década permite reducir las variaciones de humedad en el suelo que pueden ocurrir de un día al otro.

Hay que analizar con cierta prudencia los valores mínimos de la ETP determinada por lisimetría en el altiplano. A pesar que el Ray grass mostró una excelente resistencia a las temperaturas bajas invernales, no se puede excluir la posibilidad de un descanso fisiológico del cultivo durante la temporada más fría. La comparación de estos datos con los valores de la ETP estimada por el método de Penman nos permitirán evaluar este efecto fisiológico.

Para determinar la influencia de los factores meteorológicos sobre la ETP se realizó un análisis de correlación y regresión simple con la temperatura media (T_m), la temperatura máxima (T_x), la humedad relativa, la radiación neta R_n y el viento por periodos de 10 días.

Se puede observar los valores de los coeficientes de regresión y de las ecuaciones de regresión en los cuadros 4 y 5.

La R_n aparece como el factor principal de la ETP, verificando así su papel primordial en la evapotranspiración como fuente energética.

3.2.2. Estimación de la ETP por la fórmula de Penman

Frente a la ausencia de referencia exacta sobre la estimación de ETP por fórmulas empíricas y utilizando los resultados sobre el balance radiativo, hemos analizado la calidad de la fórmula de Penman para el altiplano comparándola con la ETP de lisimetría. Por su fuerte base teórica y su mínimo ajuste empírico, la fórmula de Penman fue reconocida universalmente por su precisión (Doorembos y Pruitt, 1975; Stewart, 1983; Montheith, 1985).

La estimación de la ETP según Penman se basa sobre la fórmula siguiente:

$$ETP = R_n * \Delta / (\Delta + \sigma) + E_a * \sigma / (\Delta + \sigma)$$

donde:

Δ = Pendiente media de la curva de presión saturante de vapor de agua

σ = Constante psicrométrica corregida por la presión atmosférica

R_n = Radiación neta

E_a = Término convectivo

El término convectivo se estima según la fórmula de tipo Dalton propuesta por Penman:

$$E_a = 0.26 (e_s - e) (1 + 0.54 U)$$

donde:

- e_s = Presión saturante de vapor de agua
- e = Presión de vapor de agua a 2 m
- U = Velocidad del viento a 2 m

Esta estimación del término convectivo corresponde a la altura de la vegetación de menos de 1 cm y con una velocidad de viento alrededor de 4 m/s, y no corresponde entonces a muchos cultivos (Rambal, 1984). Sin embargo Thom y Oliver (1977) han observado que esta aparente inadecuación era comparada por la existencia de una resistencia fisiológica de los cultivos a la transpiración así mismo estén con un aporte máximo de agua. No obstante el uso de un pasto corto así como un viento promedio de 3.5 m/s en el altiplano deben reducir estos errores.

Los datos obtenidos muestran una gran semejanza entre los valores de ETP obtenidos por Penman y los valores de ETP obtenidos por lisimetría, como se observa en el cuadro 3 y el gráfico 3, con promedios anuales de 4.1 mm/día para la fórmula de Penman y de 4.2 mm/día por lisimetría. Sin embargo, se puede observar una subestimación de la ETP por Penman de alrededor de 0.4 mm/día durante la temporada agrícola, y una sobrestimación de 0.2 mm/día a 0.6 mm/día durante los meses de invierno. Esta última diferencia puede corresponder como lo hemos señalado al paro fisiológico del pasto durante los meses más fríos.

Estos datos son de acuerdo a las observaciones de Seguin (1975), sobre una sobrestimación invernal y una subestimación veraneal de la fórmula de Penman. Este autor subraya los errores que pueden existir sobre el albedo, sobre el uso de promedios diarios y sobre la rugosidad de la vegetación utilizada. Las diferencias son durante la época agrícola inferiores a 10 % con una correlación de 0.82, verificando así que la ETP por Penman da una buena estimación de la ETP en el altiplano.

3.2.3. Comparaciones de la ETP por lisimetría con la ETP estimada por diferentes fórmulas empíricas y con el Tanque evaporímetro tipo A

Con los datos de la ETP por lisimetría se analizó la validez de diferentes fórmulas empíri-

cas muy utilizadas. Las fórmulas analizadas fueron las siguientes:

Blaney-Criddle:

$$ETP = 0.457 (T_m + 8.13) p$$

donde:

- T_m = Temperatura media diaria
- p = Porcentaje de horas diurnas

Hargreaves:

$$ETP = 0.34 R_{go} (0.40 + 0.024 T_m) (1.35 \sqrt{1 - H_r 0.01}) (1 + 0.4 E_l / 1000)$$

donde:

- R_{go} = Radiación global que entra en la atmósfera
- T_m = Temperatura media diaria
- H_r = Humedad relativa del aire
- E_l = Altitud expresada en metros

Turc:

$$ETP = k T_m / T_m + 15 (R_g + 50) (1 + (50 - H_r / 70))$$

donde:

- k = Coeficiente
- T_m = Temperatura media diaria
- R_g = Radiación global
- H_r = Humedad relativa

Cristiansen:

$$ETP = 0.31 C R_S$$

donde:

- C = Coeficiente empírico en función de la T_m , H_r y U (velocidad del viento)
- R_S = Radiación solar al tope de la atmósfera

Thorntwaite:

$$ETP = 16 (10 T_m / I)^a$$

donde:

- T_m = Temperatura media mensual
- I = Función de T_m

Los resultados obtenidos aparecen en el cuadro 6. Las fórmulas empíricas de Hargreaves, Blaney-Criddle y Thorntwaite, presentan una subestimación de 24 %, 17 % y 66 % de la ETP por lisimetría. Por otra parte se subraya la pésima estimación de la ETP por la fórmula de

Thorntwaite, ya que la temperatura media en el altiplano, con amplitud térmica diaria superior a 15 °C no puede representar las condiciones diurnas que determinan la ETP.

Las fórmulas de Turc y Christiansen, y el tanque evaporímetro presentan una sobreestimación de la ETP de 15 %, 34 % y 19 %.

El cálculo de los coeficientes de correlación entre estas fórmulas y la ETP por lisimetría nos indican los valores siguientes:

- Lisímetro - Blaney-Cridle	:	0.76
- Lisímetro - Hargreaves	:	0.65
- Lisímetro - Christiansen	:	0.53
- Lisímetro - Turc	:	0.80
- Lisímetro - Thorntwaite	:	0.22
- Lisímetro - Tanque clase A	:	0.62

Los resultados obtenidos subrayan la calidad de la ETP estimada por la fórmula de Turc, sin embargo la sobrestimación durante la época agrícola en particular durante los meses lluviosos de enero y febrero pueden ser de 30 %. El uso de la Rg y de Hr dan la calidad de esta fórmula, pero las diferencias provienen de la mala correlación entre Rg y Rn.

La evaporación del tanque frecuentemente utilizado para la determinación de la ETP presenta una sobreestimación de 25 % durante la temporada agrícola, y de más de 50 % durante la época seca invernal. El coeficiente de corrección de 0.75 durante la época de lluvia y de 0.60 que se debe aplicar a los valores de Tanque corresponden a las recomendaciones dadas por la FAO, considerando el espacio en el cual están instalados los tanques de evaporación.

IV. CONCLUSIONES

El análisis de las condiciones radiativas en el altiplano han permitido determinar los valores altos de la radiación solar global durante todo el año, en particular al inicio de la temporada agrícola la fuerte radiación global se explica por la altura de la zona de estudio (casi 4000 m), y su clima seco.

Los datos obtenidos sobre el balance radiativo, las primeras mediciones para el altiplano,

subrayan los valores bastante reducidos de la radiación atmosférica ($< 300 \text{ W m}^{-2}$), debido a la altura y la baja humedad del aire con una radiación terrestre que se queda todo el año alrededor de 400 W m^{-2} . La importancia del déficit del balance radiativo de onda larga (promedio de 100 W m^{-2}), explican una radiación neta con un promedio anual de 100 W m^{-2} y un cociente Rn/Rg de 0.40, sin embargo los valores bastante más altos de la Rn durante la temporada agrícola determinarían una ETP relativamente alta en relación con la muy elevada radiación solar global.

Los valores de ETP obtenidos por lisimetría nos indican un promedio anual de 4.1 mm/día para el año estudiado con máximos en diciembre superiores a 5 mm/día al inicio del crecimiento del cultivo, y alrededor de 5 mm/día durante las fases de desarrollo y de producción de los cultivos.

La coincidencia del verano con la época de lluvia que disminuye la evapotranspiración con una humedad alta y nubosidad elevada así como la influencia de una temperatura media siempre inferior a 13 °C explican que los valores de la ETP sean generalmente inferiores a 5 mm/día durante la mayor parte del crecimiento del cultivo.

La comparación de la ETP por lisimetría con la ETP estimada con la fórmula de Penman confirman la calidad y la precisión de esta última. Hay que señalar sin embargo una subestimación invernal y una sobreestimación durante la temporada agrícola.

Los resultados obtenidos con otras fórmulas empíricas frecuentemente utilizadas subrayan la importancia del error cometido en la estimación de la ETP en particular con la fórmula de Thorntwaite. Solamente la fórmula de Turc que utiliza la Rg y la Hr se acerca de la ETP por lisimetría; es mejor tener pocos datos de referencia de la ETP estimada por la fórmula de Penman que tener muchas estimaciones pero muy erróneas.

El análisis de los datos de un lisímetro instalado desde dos años en la estación del Belén en el Altiplano Norte así como el estudio de 4 años de estimación de la ETP por la fórmula de Penman con mediciones de Rn nos permitirán precisar estas primeras conclusiones.

V. BIBLIOGRAFIA

BARRY R., 1992. Mountain Weather and Climate. Routledge. London. 402 p.

DOORENBOS J. y PRUITT W., 1975. Las Necesidades en Agua de los Cultivos. FAO. Roma. 198 p.

FRERE M., RIJKS J. y REA J., 1978. Estudio Agroclimatológico de la Zona Andina. Nota Técnica 161. OMM-FAO. 297 p.

LEVITT J., 1980. Responses of Plants to Environmental Stresses. Academic Press. 607 p.

LHOMME J. y MONTHENY B., 1982. Présentation d'une formule pratique d'estimation de l'évaporation potentielle, conforme aux nouvelles recommandations internationales. Arch. Met. Geoph., 30:253-260.

MONTEITH J.L., 1985. Evaporation from land surfaces: Progress in analysis and prediction since 1948. In: Advances in Evapotranspiration. Amer. Soc. Agric. Engi. Michigan: 4-11.

PERRIER A., 1975. Etude physique de l'évapotranspiration dans les conditions naturelles. Evaporation et bilan d'énergie des surfaces naturelles. Ann. Agron., 26:1-18.

PRIESTLEY G. y TAYLOR R., 1972. On the assessment of surface heat flux and evaporation using large scale parameters. Mon. Weather Rev., 100:81-92.

RAMBAL S., 1984. L'évapotranspiration. Rapport interne. CEPE. 37 p.

SEGUIN B., 1975. Etude comparée des méthodes d'estimation d'ETP en climat méditerranéen du Sud de la France. Ann. Agron., 26:671-691.

STEWART J., 1983. A discussion of the relationships between the principal forms of the combination equation for estimating crop evaporation. Agric. Meteorol., 30:111-127.

THOM A. y OLIVER H., 1977. On Penman's equation for estimating regional evaporation. Q.J.R. Meteorol. Soc., 103:345-357.

Cuadro N° 1 Promedios mensuales de Rg, Rn y del coeficiente (Rg/Rgo) en J cm⁻² día⁻¹ para Viacha y Patacamaya (1988 - 1991)

MESES	VIACHA				PATACAMAYA			
	Rg	Rg/Rgo	Rn	Rn/Rg	Rg	Rg/Rgo	Rn	Rn/Rg
Enero	2079	0.53	1094	0.53	2340	0.59	1192	0.51
Febrero	2321	0.59	1093	0.47	2458	0.63	1199	0.49
Marzo	1961	0.54	850	0.43	2077	0.61	1013	0.51
Abril	1956	0.62	815	0.42	2056	0.65	885	0.43
Mayo	1961	0.72	811	0.41	1939	0.70	692	0.36
Junio	1846	0.73	709	0.38	1837	0.74	592	0.32
Julio	1938	0.74	703	0.36	1951	0.74	574	0.29
Agosto	2138	0.73	712	0.33	2169	0.74	714	0.33
Septiembre	2297	0.67	890	0.39	2394	0.70	824	0.34
Octubre	2366	0.63	918	0.39	2550	0.67	972	0.38
Noviembre	2389	0.64	881	0.37	2573	0.64	1030	0.40
Diciembre	2247	0.56	937	0.43	2498	0.60	1071	0.43
PROMEDIO	2125	0.63	875	0.41	2248	0.67	898	0.40

Cuadro N° 2 Promedios mensuales de la Radiación terrestre (Rt), de la Radiación atmosférica (Ra), 1988 - 1991 para Viacha y Patacamaya en J x cm⁻² x día⁻¹

MESES	VIACHA			PATACAMAYA		
	Rt	Ra	Rt-Ra	Rt	Ra	Rt-Ra
Enero	3485.82	2956.92	528.90	3517.80	2829.00	688.80
Febrero	3493.20	2784.72	708.48	3616.20	2804.40	811.80
Marzo	3485.82	2806.86	678.96	3517.80	2804.40	713.40
Abril	3392.34	2720.76	671.58	3444.00	2681.40	762.60
Mayo	3276.72	2450.16	826.56	3247.20	2656.80	590.40
Junio	2979.00	2236.00	555.96	3148.80	2263.20	885.60
Julio	3178.32	2221.38	956.94	3198.00	2214.00	984.00
Agosto	3254.58	2236.14	1018.44	3173.40	2127.90	1045.50
Septiembre	3412.02	2329.62	1082.40	3444.00	2361.60	1082.40
Octubre	3579.30	2565.78	1013.52	3591.60	2558.40	1033.20
Noviembre	3685.08	2619.90	1065.18	3665.40	2632.20	1033.20
Diciembre	3633.42	2873.28	760.14	3640.80	2794.56	846.24
PROMEDIO	3350.52	2528.88	821.64	3434.16	2560.86	873.30

Cuadro N° 3 Valores de ETP obtenidos por Lisimetría y por la fórmula de Penman para Patacamaya (1991)

MESES	ETP (Lis.)	ETP (Pen.)	ETP (Lis.) mm/día	ETP (Pen.) mm/día	ETP (Pen.)/ ETP (Lis.)
Enero	124.90	114.40	4.12	3.70	0.92
Febrero	134.50	122.00	4.80	4.40	0.91
Marzo	163.80	147.90	5.20	4.80	0.90
Abril	140.60	128.90	4.80	4.40	0.92
Mayo	115.00	117.60	3.80	3.90	1.02
Junio	71.00	91.20	2.40	3.00	1.28
Julio	70.70	84.00	2.30	2.70	1.19
Agosto	99.90	106.80	3.20	3.40	1.07
Septiembre	114.00	124.00	3.80	4.10	1.09
Octubre	160.00	149.00	5.20	4.90	0.93
Noviembre	163.80	150.00	5.50	5.00	0.92
Diciembre	180.30	163.50	5.70	5.30	0.91
TOTAL PROMEDIO	1538.50	1499.30	4.24	4.13	1.01

Cuadro N° 4 Correlaciones simples entre la ETP lisímetro y 6 variables climáticas

COMPARACIONES	Coef. de Correlación (r)
1. ETP Lisímetro - Temperatura Media (Tm)	0.69 **
2. ETP Lisímetro - Temperatura Máxima (Tx)	0.58 *
3. ETP Lisímetro - Humedad Relativa (Hr)	0.10 NS
4. ETP Lisímetro - Radiación Neta (Rn)	0.74 **
5. ETP Lisímetro - Radiación Global (Rg)	0.34 *
6. ETP Lisímetro - Viento (U ₂)	0.03 NS

Cuadro N° 5 Ecuaciones de regresión entre la ETP Lisímetro y 6 variables climáticas

Ecuación de regresión	Coef. de determinación
$y = 0.82 + 0.391 x Tm$	0.48
$y = - 6.50 + 0.613 x Tx$	0.34
$y = 2.83 + 0.024 x Hr$	0.01
$y = - 0.28 + 0.005 x Rn$	0.55
$y = 0.30 + 0.002 x Rg$	0.12
$y = 3.25 + 0.004 x U$	0.00

Cuadro N° 6 ETP mensuales según Lisimetría, Blaney-Criddle, Hargreaves, Christiansen, Turc. Thorntwaite y el Tanque evaporímetro para Patacamaya (1991)

MESES	LIS.	BL. - C	HAR.	CHRIS.	TURC	THON.	Tan. A
Enero	124.9	120.2	89.2	208.6	174.4	65.5	161.4
Febrero	134.5	108.2	96.4	203.4	174.0	59.3	166.0
Marzo	163.8	113.9	81.7	208.1	159.9	60.5	166.3
Abril	140.6	111.6	81.0	184.9	144.6	51.0	146.0
Mayo	115.0	115.6	78.0	125.1	07.2	35.4	141.0
Junio	71.0	78.0	63.6	96.4	85.4	25.2	124.0
Julio	70.7	83.0	80.5	98.4	89.6	27.2	122.1
Agosto	99.9	90.3	81.6	133.1	114.4	34.0	149.0
Septiembre	114.0	93.1	90.0	152.6	132.8	39.4	160.0
Octubre	160.1	110.2	124.6	221.4	180.2	58.3	205.4
Noviembre	163.8	111.5	115.0	207.5	186.5	59.8	187.0
Diciembre	180.0	119.4	125.8	219.8	158.5	62.7	197.0
TOTAL	1538.3	1255.0	1107.4	2059.3	1734.5	578.3	1925.8

DECISIONES DE LABRANZA, CONSECUENCIAS SOBRE EL SUELO Y LOS CULTIVOS. PROBLEMATICA DEL ALTIPLANO BOLIVIANO

Dominique HERVE (1)
David CONDORI (2)
Ingrid BRUGIONI (3)
Germán FERNANDEZ (4)

INTRODUCCION

La mecanización del altiplano, aparentemente favorecida por una topografía mayormente plana, es incipiente y, a menudo, limitada a una tractorización. Lo más común es ver vacas lecheras y toretes jalar el arado de palo. Pero un número creciente de agricultores del altiplano boliviano requieren del tractor para la roturación, en el momento oportuno, de algunas de sus parcelas, y no necesariamente todos los años. Pueden también superar de esta forma una escasez de mano de obra o de yunta.

Son dos pasadas cruzadas del arado o una sola pasada con arado de discos, las operaciones necesarias para limpiar el terreno del arbusto *Baccharis incarum*, usado como combustible, y remover la tierra en una profundidad de 10 a 20 cm. Algunos particulares o instituciones de fomento pueden ofrecer un trabajo con arado de vertedera, recomendable en tierras pesadas. Es en general necesario, en este caso, desmenuzar los terrones posteriormente, con una rastra de discos. En todos los casos, son pocos los días en los cuales la humedad del suelo permite estas labores.

Los suelos cultivados en el altiplano central presentan en general serios problemas físicos como una densidad aparente elevada, baja porosidad, débil profundidad para el almacenamiento de agua, baja tasa de materia orgánica y, en algunas zonas, problemas de salinidad (Orsag, 1989b; Orsag *et al.*, 1993). La heterogeneidad de tres muestras de suelo, sacadas a dos profundidades en una misma parcela de un agri-

cultor de la comunidad de Pumani, ilustra una variabilidad del suelo decamétrica (cuadro 1).

Se confronta entonces referencias obtenidas mediante diseños experimentales, con observaciones y encuestas sobre las prácticas campesinas, para proponer alternativas de preparación del suelo, destinadas a almacenar una mayor cantidad de agua para los cultivos, sin provocar pérdidas de tierra por erosión hídrica o eólica. La presencia de agua en el suelo es determinante, para adelantar la época de siembra y, de esta manera, el ciclo vegetativo del cultivo, en las fases críticas del desarrollo de los cultivos, y cuando ocurren heladas. Las características del suelo lo hacen muy sensible a la erosión. Las pendientes ligeras, pero largas, son suficientes para que flujos de escurrimiento, laminares y luego concentrados, adquieran poder erosivo.

En vez de intentar relacionar el rendimiento final de un cultivo con el uso de tal o cual implemento, se busca caracterizar el estado estructural del suelo antes y después de las operaciones culturales, relacionarlo con las condiciones de uso del implemento y las influencias del clima, y ver luego como influye sobre algunos componentes del rendimiento del cultivo que será instalado. Se introducirá en esta oportunidad las herramientas de observación que son el perfil cultural, un perfil radicular simplificado y la observación de los estados superficiales del suelo. Se indaga también los determinantes de la realización de estas operaciones culturales por el agricultor, lo que nos lleva a considerar el calendario de trabajo, las competencias en el uso de recursos y, por ende, el funcionamiento de las unidades de producción.

METODOLOGIA

Los estados sucesivos del suelo cultivado son caracterizados con un enfoque de diagnós-

(1) Doctor Agronomía, investigador ORSTOM, CP 9214 La Paz-Bolivia.

(2) Ing. Agr. FCAP UMSS

(3) Ing. Agr. INAPG Francia

(4) Ing. Agr. FCAP UMSS

tico. No se trata para el agrónomo de clasificar los suelos gracias a caracteres permanentes e indicadores de su diferenciación y su funcionamiento actual. Eso es el objetivo del edafólogo. Busca más bien, en la observación del perfil cultural, "superposición de capas y de horizontes definidos por las herramientas o implementos y la acción de las raíces ...", el origen de los estados estructurales observados para pronosticar su duración y definir eventuales medidas de corrección (Stengel, 1990). Se interesa entonces a las capas del suelo diferenciadas por la acción del hombre, la acción de las raíces de la vegetación y la influencia del clima (Henin *et al.*, 1969). El perfil edafológico y el perfil cultural no tienen entonces los mismos objetivos. Tampoco el edafólogo que va cartografiar el uso potencial de los suelos según su textura, y el agrónomo que buscará identificar las dificultades técnicas que levantan para hacer que un suelo pueda recibir un cultivo, tienen las mismas perspectivas.

Las capas de suelo identificadas en el perfil cultural, que pertenecen al horizonte edafológico A y a veces, B, son de origen antrópico (Cuadro 2). Particiones laterales son además introducidas para diferenciar los sitios afectados por las ruedas de la maquinaria. Las unidades morfológicas son delimitadas, caracterizadas por una modalidad de agregación entre terrones y se determina, por fragmentación manual de los terrones, su estado interno de cohesión y de porosidad. El principal objetivo del perfil cultural es la caracterización del estado estructural del suelo. Se entiende por estructura la disposición espacial de las partículas constitutivas del suelo y la naturaleza e intensidad de las relaciones entre ellas (Stengel, 1990). La observación del perfil cultural nos permitió en particular ubicar las huellas profundas de las llantas de tractor y reconocer su efecto de compactación, así como detectar defectos de arreglo de los discos.

Para relacionar los estados estructurales identificados y localizados en los perfiles culturales con el desarrollo radicular, se empleó una versión simplificada del perfil radicular, aplicada al cultivo de papa por Fernández (1993). Se contó en la pared vertical de las calicatas el número de impactos radiculares por cuadrado de 5 cm por 5 cm. Gracias al mapa así constituido, se pudo calcular un número de impactos por unidad morfológica y evidenciar variaciones de este ratio en función de los estados estructura-

les, caracterizados por el tipo de relación entre elementos estructurales, el tamaño de los terrones y el estado interno de los agregados.

En la comparación de implementos de laboreo, se suele medir un porcentaje de desterronamiento, por ejemplo el % de terrones inferior a 5 cm de diámetro, mediante una estimación visual. Resulta insuficiente esta observación, si se quiere seguir en el tiempo la evolución del estado superficial bajo la acción de las lluvias. Se recomienda en este caso tomar, desde una altura fija, fotografías a la vertical de una área definida en el suelo. Se delimita luego en gabinete el contorno de los terrones y de la costra en vía de formación. Las áreas respectivas de cada clase de tamaño de terrones están obtenidas por planimetría; pueden ser comparadas entre fechas de observación. Los terrones menores a 1 cm son los primeros en incorporarse a las costras, formadas por la acción de las gotas de lluvia; los terrones de 1 a 5 cm son los más deseables para no ser dañados y para la germinación de semillas de grano; la presencia de una proporción importante de terrones de diámetro superior a 20 cm obligaría a efectuar labores complementarias con un consecuente desembolso de parte del agricultor.

La toma en cuenta, en el diseño experimental, de las condiciones de realización del laboreo, obliga a anticipar sobre el efecto de las técnicas. Se obtiene los diferentes tratamientos a posteriori, gracias a los controles efectuados. Es el caso de una profundidad de roturación, ordenada al tractorista, y controlada en el corte de suelo a razón de diez medidas por surcos y varios surcos. Es también el caso de las humedades de roturación, diferenciadas por tiempos contrastados de espera después de un riego pesado, pero medidas también en el corte de suelo, con suficientes repeticiones. En estos casos, los tratamientos se definen, no por un solo valor, sino por un intervalo: 20-30 cm de profundidad o una clase: humedad máxima, media y mínima (Condori, 1992). Incluir algunas condiciones de realización de las operaciones culturales en los tratamientos conduce a menudo a usar diseños en parcelas divididas o en fanjas.

Al nivel de las encuestas, se busca situaciones y fincas significativas más que representativas, para entender, las reglas de decisión de los agricultores, y verificar a posteriori la generalidad del modelo generado, comparando previsiones y resultados.

RESULTADOS

Fecha de roturación

Son tres las épocas de roturación de los terrenos en descanso: en marzo-abril, al finalizarse las lluvias; en junio-agosto, después de caídas de nieve y, en menor proporción, al inicio de las lluvias, en septiembre-octubre (Figura 1). Uno tiene menos seguridad de obtener la humedad del suelo suficiente para labrar en las épocas 2 y 3 que durante la primera época. Un primer control que realizar es seguir la evolución del contenido de agua en el suelo desde la roturación hasta la siembra de la papa, época que corresponde al invierno.

Vacher *et al.* (1994) siguieron la humedad del suelo de abril a octubre 1987, en un terreno experimental de Viacha, comparando 4 situaciones: no labrada, labrada fines de marzo a 20 cm de profundidad, labrada entre octubre y noviembre a 25 y 35 cm. El suelo estudiado, de textura franco-arcilloso-arenosa hasta los 20 cm, se caracteriza por una capa de arcilla compacta entre 20 y 80 cm. Se constata un drenaje nulo a 110 cm durante toda la estación seca estudiada. La evapotranspiración (ET) queda inferior a 1 mm diario, es decir muy por debajo de los 2 a 3 mm de ETP. En un suelo franco-arcilloso sobre arena arcillosa, Orsag (1993) mide también una evapotranspiración mínima (0.13 a 0.04 mm por día). El resultado es el mismo con cobertura de gramíneas. Esta situación se explica por una transpiración muy baja, debida al frío, y un self-mulching hasta 20 cm que impediría una mayor pérdida de agua por evaporación. En los primeros 35 cm de suelo, se observa una desecación hasta la caída de nieve de julio, y de nuevo entre agosto y octubre, pero el contenido de agua queda estable a más de 40 cm de profundidad. Las diferencias de almacenamiento de agua en el perfil, constatadas en el mes de abril, perduran hasta octubre.

Orsag (1989b) siguió la humedad del mismo suelo durante la época de lluvias, desde noviembre 1987 hasta marzo 1988, comparando un terreno en descanso con uno roturado durante las primeras lluvias de septiembre. El horizonte Ap arado muestra en los primeros meses un mayor contenido de agua que el testigo pero esta diferencia se va reduciendo desde la mitad del mes de enero, cuando ocurren precipitaciones diarias entre 10 y 15 mm. Estas precipitaciones contribuyen, por su intensidad, a

aplanar la rugosidad creada por la preparación del suelo y a disminuir la infiltrabilidad. Las diferencias de almacenamiento de agua en el suelo no son tan marcadas en el horizonte Bt. En total, el suelo hasta los 50 cm recupera 12.2% más de agua si está roturado, pero se vuelve necesario rastrillarlo después del período lluvioso, "para romper la capilaridad formada nuevamente". Orsag (1989a) pone en evidencia el papel del horizonte arcilloso Bt (19-49 cm con 71% de arcilla) en la conservación de la humedad en el perfil, incluso en época seca. La humedad almacenada está en relación directa con las precipitaciones caídas.

El seguimiento de junio a octubre 1990 de la humedad de dos tipos de suelo, en Cullta y Patacamaya (Condori & Hervé, 1992), demuestra un nítido efecto de la textura (Figura 2). En los 20 primeros centímetros, el suelo franco tiene 34.5% de arena y 19.3% de arcilla y el suelo franco arenoso tiene 78.6% de arena y solamente 6.1% de arcilla. En el primero, la humedad debajo de los 10 cm queda estable, encima de la capa arcillosa que impide toda percolación. Esta humedad crece con la profundidad. La humedad superficial solo refleja las precipitaciones caídas. En el segundo, la humedad a 5-10 cm y a 10-20 cm decrece durante la época seca pero vuelve a su valor inicial gracias a las precipitaciones previas a la siembra. La humedad en los 20-30 cm baja aproximadamente de 2%. Las precipitaciones caídas se infiltran inmediatamente.

La evolución del estado superficial bajo las lluvias, poco intensas en esta época (máximo de 3.17 mm/h el 14 de octubre), diferencia también las dos texturas (Condori, 1992). En el suelo franco, la proporción de terrones inferiores a 1 cm decrece conforme a su incorporación en una costra de apelmamiento y los terrones de 5-20 cm, muy coherentes, se fragmentan muy poco por la acción de las gotas de lluvia. Al contrario, en el suelo franco-arenoso, la proporción de terrones inferiores a 1 cm y entre 1 y 5 cm crece con la fragmentación de los terrones mayores a 20 cm. A mayor intensidad de lluvia, se tiene que prever una degradación más rápida del estado superficial, en particular en suelo de textura franca (Hervé & Condori, 1992). La propuesta de adelantar la fecha de roturación trae en estos casos otros problemas.

No se ha medido la humedad de estos dos tipos de suelo entre marzo y junio. Orsag (1993) estudió durante cuatro meses del invierno

no (mayo hasta el inicio del mes de agosto), un aridosol franco-arcilloso (40% de arcilla, 25% de limo y 35% de arena en superficie), pero con diferentes tratamientos después de la cosecha de un cultivo de cebada. El comportamiento del horizonte de textura franca se puede aproximar al del horizonte Ap del suelo de Viacha estudiado en el inicio de la época seca por Vacher *et al.* (1994): no se observan pérdidas de agua. Pero, se puede prever una mayor pérdida de agua en el suelo franco-arenoso. El interés de un laboreo precoz disminuye en este caso, incluso si los riesgos de apelmamiento son menores. Se podría también tener una mayor humedad al momento de la roturación. Condori (1992) alcanzó la humedad máxima para roturar, en textura franco arenosa, con 10.9% de humedad en 0-5 cm y 12.7% en 5-25 cm. Luego, las llantas del tractor patinaban. Sabiendo que la humedad a la capacidad de campo fue de 15.73%, aparece imposible roturar en condiciones más húmedas. Se descarta entonces esta alternativa.

Profundidad de roturación

Se comparó diferentes profundidades de roturación con discos (8-10, 10-15, 15-20, 20-25 y 25-30 cm) en suelos de textura franco arenosa y franco arcillosa de Patacamaya (Condori, 1992) y Cullta (Fernández, 1993). El trabajo profundo (22 cm, Figura 3) dejó terrones más grandes y coherentes que el trabajo superficial (9 cm, Figura 4). Este último es recomendable para el cultivo de quinua: mayor emergencia, densidad de plantas y, finalmente, mayor rendimiento (Hervé & Condori, 1994). La humedad a la siembra resultó ligeramente mayor, entre 5-25 cm de profundidad, para las roturaciones a menos de 15 cm.

Comparando diferentes profundidades de roturación, se observó en 1990-1991 mejores resultados en el cultivo de papa, con un labor profundo, en sus diferentes fases fenológicas y sus rendimientos finales (Hervé & Condori, 1994). Las diferencias menos nítidas en 1991-1992 se explican por la caída temprana (principio de febrero) de una helada.

El trabajo más profundo del suelo ayuda al posterior crecimiento del cultivo, luego de su instalación. Pero tiene como consecuencia la dilución de la materia orgánica en un mayor volumen de suelo, cuando ya la tasa inicial es muy baja (0.66%). El aumento de la profundi-

dad de roturación no se traduce siempre por un aumento del rendimiento, para cualquier cultivo o cualquier año climático. Se recomendaría para el cultivo de papa y no para el de quinua.

Implemento de roturación

Se comparó en suelos franco-arenosos los efectos del arado de discos y de vertedera en 1991-1992, empleados a las mismas profundidades y fechas de laboreo (Fernández, 1993), y los efectos del arado de discos y de una subsoladora en 1992-1993 (Ramos, 1994). De la observación de los perfiles culturales en Cullta, lugar del primer ensayo, se deduce una tendencia a la formación de un estado macizo en el horizonte labrado y una proporción de 1 a 1.5 partes de terrones por una parte de tierra fina, sin diferencia marcada entre implementos. Con ambas herramientas, se logró desmenuzamientos importantes. Aplicando la recomendación de Orsag (1989b), de subsolar el horizonte Bt, se probó de manera preliminar, en Patacamaya, el uso de una subsoladora de tres cuerpos. Las conclusiones todavía parciales señalan que la profundidad de laboreo debe ser definida en función del horizonte subyacente. Por la mayor fuerza de tracción requerida y el costo de operación adicional, no aparece recomendable trabajar hasta los 50 cm de profundidad. Pero sería interesante probar implementos de dientes de tipo chisel o cultivadores.

Se está evaluando también la calidad de trabajo del arado de discos y de vertedera en la cuenca de Patacamaya, mediante observaciones de la operación de roturación y encuestas a los productores, lo que permite cubrir un amplio rango de texturas y de fechas de trabajo. Corresponde a servicios de roturación ofrecidos por algunos tractoristas particulares y una institución de promoción. Se controla para ello la textura del suelo, su estado inicial, la humedad en la roturación, la velocidad de trabajo y el estado estructural creado. Es materia de una tesis de grado de V. Mita, en la UMSS (1993-1994).

Modelo de decisión del agricultor

¿Cómo se adecúan las referencias previamente expuestas a las limitaciones de los sistemas de producción campesinos?

Observamos durante varios años las prácticas de roturación y siembra en los sectores de aynuqa de una comunidad originaria del

altiplano boliviano, la comunidad de Pumani (Hervé et al., 1992; Brugioni, 1992; Pozo & Hervé, 1992; Angulo, 1993). Según los años, se encuentra parcelas no labradas en el sector destinado al cultivo de papa, cultivo de cebada en vez de papa el primer año, papa en vez de cereales el segundo año, abandono de parcelas desde el segundo año. Estos ajustes que difieren de la norma de rotación comunal revelan la inseguridad de poder realizar las operaciones de labranza o siembra. Los mayores cuellos de botella que enfrentan los agricultores son el mantenimiento de un par de bovinos en edad de trabajar y la dificultad de aprovechar de las épocas en las cuales el suelo es suficientemente húmedo.

El agricultor tiene sus razones de hacer lo que hace. Son estas razones que están representadas en un árbol de decisión al nivel de la unidad de producción (Figura 5).

Cada año, una vez conocido el sector de aynuqa que será roturado, sabe cuantas parcelas tiene tanto en sayaña como en esta aynuqa para cultivar papa en cabeza de rotación. Definirá entonces sus prioridades, según el número de parcelas poseídas en el sector de aynuqa (Ap) y considerando las distancias de estas parcelas a las habitaciones. Gracias a múltiples formas de intercambio de tierra y contratos al partir, un agricultor, dando o recibiendo parcelas para los tres años de la sucesión, constituye a partir de sus parcelas poseídas en el sector, si las tiene, el lote de parcelas que afectará al cultivo de papa (Ad). El hecho que el sector nuevamente roturado cambie cada año le obliga de toda manera a una programación anual en base al conocimiento que tiene de la estructura y del funcionamiento de su finca. Estas decisiones, tomadas al inicio de la roturación, conciernen la superficie a roturar, los medios que dispone en su finca, el calendario de trabajo y las competencias entre labores que resultan. (Figura 6).

Las decisiones tomadas en el momento de la roturación están relacionadas con las circunstancias y modificaciones de la situación inicial (Brugioni, 1992); se aplican al nivel de las parcelas. De ellas resultan roturaciones y siembras realizadas, que pueden diferir de lo proyectado. Según la humedad del suelo y la disponibilidad de un par de bovinos en edad de trabajar, el agricultor logra realizar o no las operaciones de roturación. Alternando la conducción de la yunta con el arranque de *Bac-*

charis incarum, puede estar trabajando solo, aun si es más común ver a dos personas trabajar juntos en la parcela. La predicción de cosecha de papa que puede realizar desde la candelaria, fiesta en la cual arranca las primeras papas "de prueba", o sea justo antes de la primera roturación R1, influye poco sobre la superficie roturada para el año siguiente. El agricultor procura roturar la mayor superficie posible (A1) y tomar riesgos sobre sus posibilidades de conseguir la semilla necesaria; queda tiempo para definir acuerdos en los cuales otros aporten la semilla o, finalmente, para trabajar en la ciudad o reunir dinero de otra forma, para comprar semilla. La posibilidad, reciente, de pagar los servicios de un tractor para labrar con discos constituye otra solución cuando escasean la mano de obra o las yuntas.

Pero, si una vez roturado el terreno, no tiene suficiente semilla de papa o si se atrasó en la roturación previa, en este caso, la instalación, aun tardía, de un cultivo de cebada, constituye una adaptación aceptada, incluso si difiere de la norma comunal de un primer año de cultivo de papa. La escasez de semilla no es un aspecto coyuntural sino ocurre a menudo cada año, trayendo como consecuencia que superficies roturadas no sean sembradas el primer año.

El cultivo sembrado (As) dependerá en buena medida de la aptitud a movilizar en las fechas oportunas (según las fiestas y los pronósticos climáticos) los medios necesarios: dos adultos, dos vacunos en edad de trabajar, cargas de guano trasladadas a lomo de burros. El agricultor puede asignar a sus parcelas, tomando en cuenta los limitantes edafo-climáticos, y sus respectivas épocas de siembra (siempre divididas en tres: siembra adelantada, promedia y tardía), siete clases de cultivos: papa amarga o dulce, según la topografía que condiciona los riesgos de helada; tubérculos andinos, *Ullucus tuberosa* u *Oxalis tuberosa* en suelos de ladera sobre lutitas; cebada con espiga de seis líneas (forrajera, y en algunos años para grano); cebada con espiga de 4 líneas, para grano (también llamada "trigo pelado"); quinua; una asociación de quinua y cebada.

Disponiendo de un esquema del conjunto de decisiones que toma un campesino para la roturación y de sus determinantes, se puede discutir las propuestas elaboradas mediante diseños experimentales. Realizar la roturación a principios de la estación de lluvias significaría

cambiar de competiciones de trabajo, ya no con cosechas, sino con siembras que requieren además arado y yunta. Sería de toda manera prudente reservar esta propuesta a suelos franco-arenosos sin riesgos de apelmamiento. La calidad de la roturación con arado y en particular la profundidad de roturación son funciones de la fuerza de tracción disponible. Son escasos los agricultores de Pumani que disponen de un par de toros. La mayoría de ellos no han logrado reconstituir el hato bovino que tenían antes de la sequía de 1983. Ambas restricciones serían resueltas con la posibilidad de alquiler los servicios de un tractor, pero a la condición de cambiar las modalidades de pago por superficie trabajada, lo que tiene por consecuencia una mala calidad de roturación y una profundidad poco distinta de la que se obtiene con dos pasadas de arado. Supone también que los arados de discos y los tractores son disponibles al principio de las lluvias y que la modalidad de laboreo justo antes de la siembra es poco practicada.

Queda claro que estas propuestas no serían generalizables al conjunto de las parcelas, ni a todos los agricultores. El costo de inversión de locación del tractor debería rentabilizarse con los resultados obtenidos, y los esfuerzos de tesorería no están al alcance de todos los productores. Un estudio más fino de la organización del trabajo ayudaría en delimitar rangos de aplicación. Se justificaría aquí plenamente un trabajo de tipología del funcionamiento global de las fincas. En el otro sentido, los estudios en parcelas de agricultores sugieren que no solo se debe buscar si el agua se conserva en el suelo, sino, de manera prioritaria, aumentar la cantidad de agua que se infiltra en el suelo. Para ello, aparece determinante un mejor manejo de los estados superficiales del suelo (Hervé & Valentin, 1994).

CONCLUSIÓN

Aparece que la identificación de alternativas tecnológicas no se puede realizar solamente en estación experimental ni solamente en parcelas de agricultores. Exige un ir y venir entre situaciones reales y situaciones controladas, y una complementación entre experimentaciones, diagnósticos y encuestas agronómicas que abarquen un rango mucho mayor de situaciones, texturas, fechas de laboreo, etc. (Germain & Hervé, 1993). El camino no es lineal, de la estación hasta la parcela del agricultor y se ga-

naría tal vez tiempo en empezar en detectar los factores limitantes de la producción con los mismos productores.

Las experimentaciones como el diagnóstico de las prácticas campesinas no proveen resultados de utilidad si se aísla un solo componente, como el implemento usado. Se debe más bien considerar las diferentes interrelaciones entre clima, suelo, plantas y técnicas aplicadas. Se puede por ejemplo concluir sobre los efectos de diferentes tipos de labranzas, sin evaluar necesariamente las respuestas de un cultivo, como lo hizo Condori (1992) en su tesis de grado. En una segunda etapa, se relaciona los estados del suelo creados con la elaboración de los componentes del rendimiento.

Para anticipar las posibilidades de adopción, es indispensable reubicar estas propuestas en el funcionamiento global del sistema de producción, mediante la elaboración del modelo de decisión del agricultor.

BIBLIOGRAFIA

- ANGULO O.**, 1993.- Factores que influyen en la roturación de las tierras en descanso en las aynuqas de la comunidad de Pumani. Tesis de grado Ing. Agr. UMSS, ORSTOM-IBTA, La Paz, Inf. N° 36, 85 p.
- BRUGIONI I.**, 1992.- Determinantes de la roturación del descanso para la siembra de papa en una comunidad del altiplano central boliviano. La Paz, ORSTOM-IBTA, Inf. N° 31, 69 p.
- CONDORI D.**, 1992.- Caracterización del trabajo de dos tipos de suelo a secano en relación a su comportamiento hídrico. Tesis de grado Ing. Agr. UMSS, Cochabamba, 140 p.
- CONDORI D., HERVE D.**, 1992.- Efectos de la humedad y profundidad de roturación sobre la humedad del suelo al momento de la siembra. In: Actas del VII Congreso Internacional sobre Cultivos Andinos, 48/02/91, La Paz, IBTA-ORSTOM-CIID, D. Morales y J.J. Vacher eds., pp. 319-324.
- FERNANDEZ G.**, 1993.- Preparación de tierras con dos tipos de implementos a dos profundidades y su influencia sobre la humedad del suelo y algunos componentes del rendimiento de la papa. Tesis de grado Ing. Agr. UMSS, ORSTOM-IBTA, La Paz, Inf. N° 37, 114 p.

GERMAIN N., HERVE D., 1993.- Agronomía, sistema de producción e investigación-formación. Reflexiones de dos agrónomos franceses a partir de experiencias peruanas y bolivianas. In: Coloquio Sistemas de Producción y Desarrollo Agrícola, 22-26/06/92, México, ORSTOM-CONACYT-Colegio de Postgraduados, E. Navarro, J.Ph. Colin, P. Milleville eds; pp. 489-492.

HENIN S., GRAS R., MONNIER G., 1969.- Le Profil cultural. 2eme édition, Paris, Masson ed., 332 p.

HERVE D., CONDORI D., 1992.- Evolución del estado superficial del suelo entre la roturación y la siembra. In: Actas del VII Congreso Internacional sobre Cultivos Andinos, 48/02/91, La Paz, IBTA-ORSTOM-CIID, D. Morales y J.J. Vacher eds., pp. 311-318.

HERVE D., CONDORI D., 1994.- Efecto de la profundidad de roturación con discos en los cultivos de papa y quinua, altiplano central boliviano. VIII Congreso internacional de sistemas agropecuarios andinos, 21/26/03/94, Valdivia, Chile, Universidad austral de Chile-CIID.

HERVE D., POZO E., ANGULO O., 1992.- Determinantes de los sistemas de cultivo a secano en comunidades originarias. In: Actas del VII Congreso Internacional sobre Cultivos Andinos, 48/02/91, La Paz, IBTA-ORSTOM-CIID, D. Morales y J.J. Vacher eds., pp. 395-402.

HERVE D., VALENTIN Ch., 1994.- Projet "Evolution des états de surface des sols sous jachere", La Paz, ORSTOM-IBTA, 9p., multigr.

MITA V., 1994.- Calidad y costo de la roturación con arado de vertedera y discos en parcelas campesinas. Tesis Ing. Agr. UMSS, Cochabamba (en prensa).

ORSAG V., 1989a.- Determinación de las fluctuaciones de almacenamiento de agua en un aridosol del altiplano central con ayuda de técnicas nucleares. Ecología en Bolivia N°13: 1-10.

ORSAG V., 1989b.- Efecto de un manejo agrícola alternativo de un aridosol del altiplano central de Bolivia sobre el almacenamiento de agua en el suelo. Ecología en Bolivia N° 13: 23-32.

ORSAG V., 1993.- Estudio preliminar de la protección del suelo y su influencia sobre la

reducción de pérdida de agua por evaporación en un suelo franco-arcilloso del altiplano central. La Paz, JILTAÑANI, AÑO 1, N° 1: 3-9.

ORSAG V., MOLINA P., QUINO E., 1993.- Caracterización hidrofísica preliminar de un aridosol (Typic paleargid) del altiplano central. La Paz, JILTAÑANI, AÑO 1, N° 1:15-19.

POZO E., HERVE D., 1992.- Evaluación productiva de dos sistemas de cultivo de papa en una aynoka de la comunidad de Pumani, Altiplano central de Bolivia Cochabamba, Revista de Agricultura, Año 49, N° 20: 2533.

RAMOS D., 1994.- Efecto del subsolado en las propiedades físicas del suelo y en el sistema radicular de la cebada y la quinua. Tesis Ing Agr. UMSA, La Paz (en prensa).

STENGEL P.; 1990.- Caractérisation de l'état structural du sol. Objectifs et méthodes. In: La structure du sol et son évolution, Laon, France, 9 janvier 1990, Ed. INRA, Paris (Les Colloques de l'INRA N° 53), 15-36.

VACHER J.J., BRUGIONI I., FELLMAN T., 1994.- Evolución del balance hídrico invernal sobre el suelo desnudo, con descanso de larga duración, arado y parcelas post-cosechas, en el altiplano boliviano. Seminario Internacional "Dinámicas del descanso de la tierra en los Andes", 27-29/09/93, ORSTOM-IBTA, La Paz (en prensa).

Cuadro 1 Horizontes antrópicos

H0, superficie del suelo (costra, si es que hubiera); siendo en el caso contrario un factor descriptivo del estado superficial.

H1 a H4, horizonte que ha sido trabajado posteriormente a la roturación, y superficialmente (rastreadas, cruzadas, aporques, etc..).

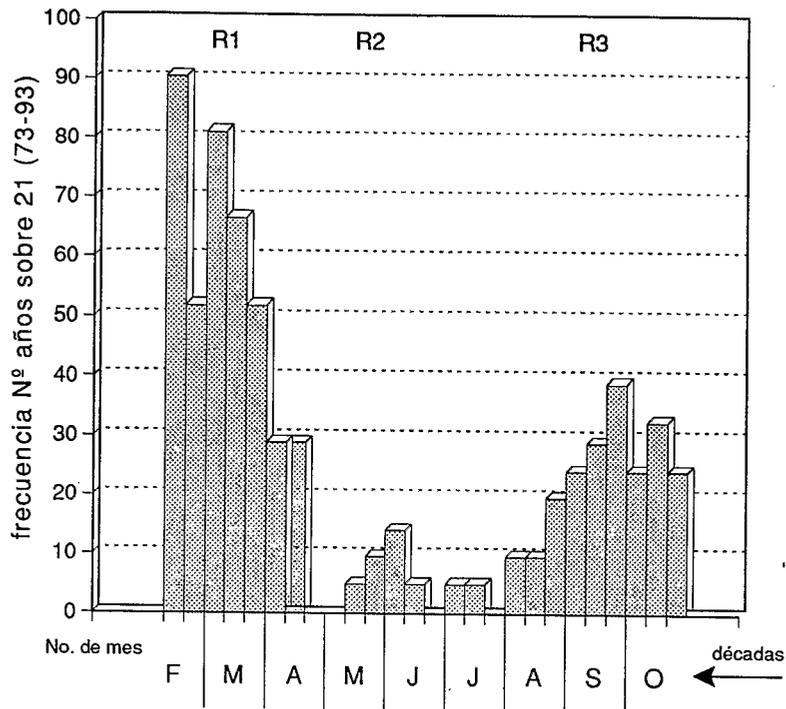
H5, horizonte roturado que no ha sido tocado por el trabajo superficial.

H6 a H7, bases de horizontes labrados anteriormente, antes de la labranza actual.

H8, debajo del fondo de labranza, horizonte trabajado por subsoladora.

P1, P2, P3 son los horizontes edafológicos que empiezan en el límite inferior de la capa arable.

Fig. 1 Análisis frecuencial de las décadas favorables a la roturación.



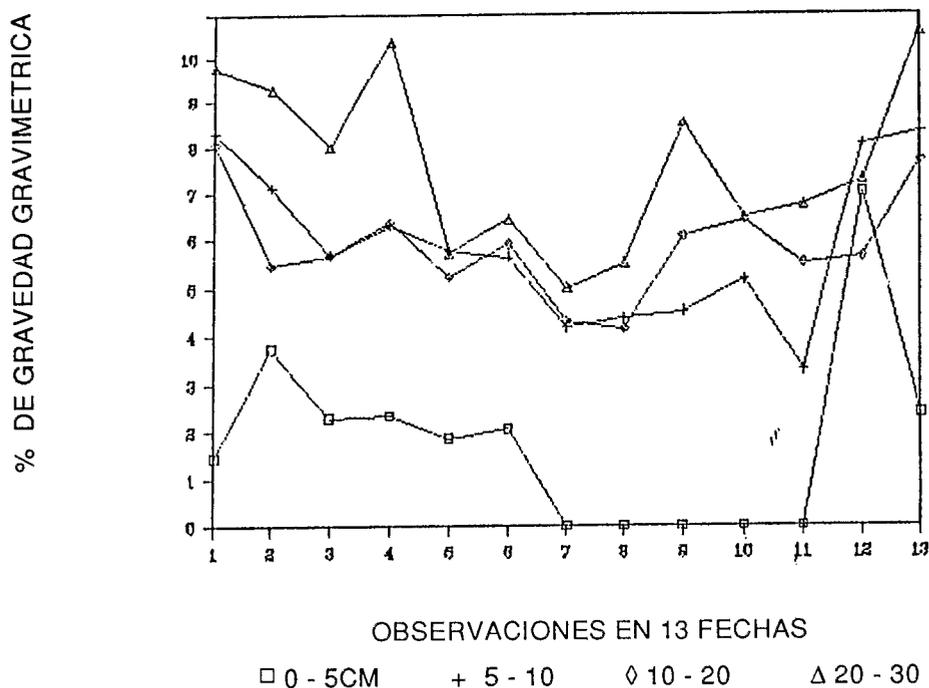
Cuadro 2: Calendario de cultivo

MESES	A	S	O	N	D	E	F	M	A	M	J	J
EPOCAS DE ROTURACION		(R ₃)					(R ₁)				(R ₂)	
PAPA												
QUINUA O QUINUA + CEBADA												
CEBADA												
			*				en verde *	verde *		berza		

* competición entre roturación y otras operaciones culturales.

Fig. 2 Evolución de la humedad entre la roturación (06) y la siembra (10) en suelos franco arenoso (a) y franco-arcilloso (b)

(a) Evolución de la humedad en suelo franco-arenoso



(b) Evolución de la humedad en suelo franco-arcilloso

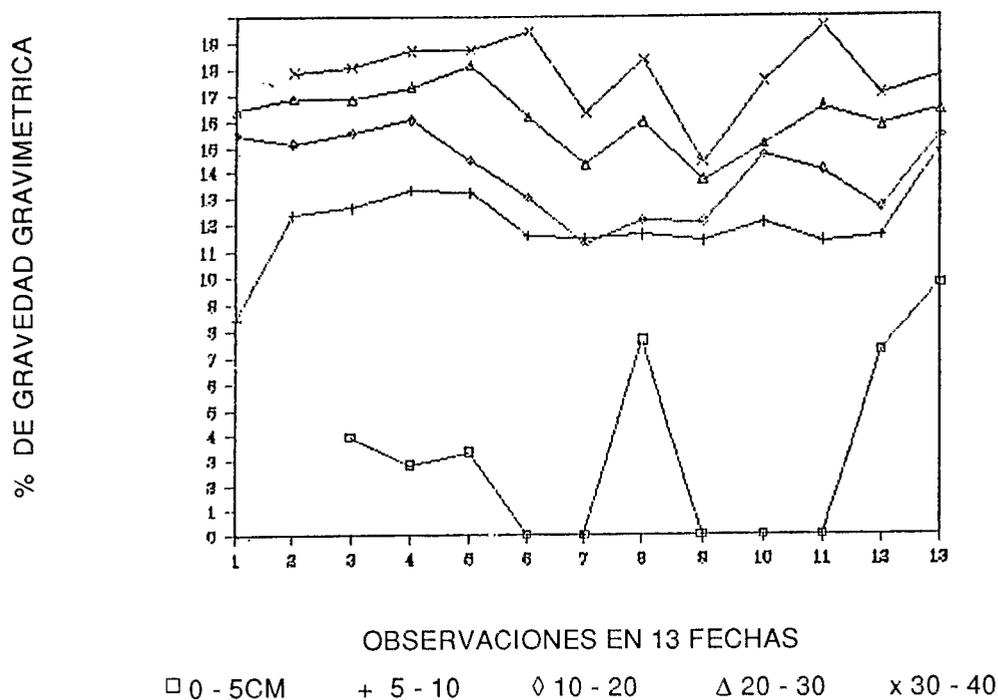


Fig. 3: Perfil cultural del suelo roturado a 22 cm. Patacamaya (29/08/90)

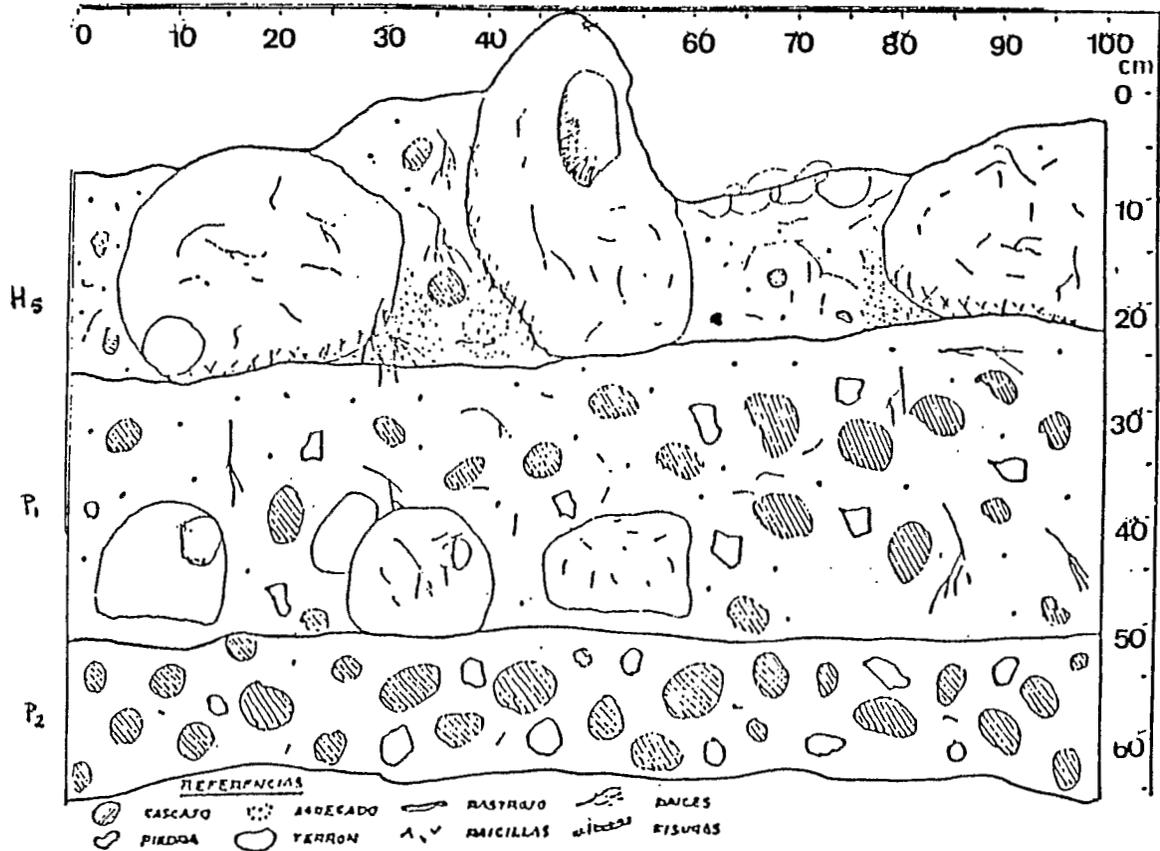


Fig. 4: Perfil cultural del suelo roturado a 9 cm. Patacamaya (31/08/90)

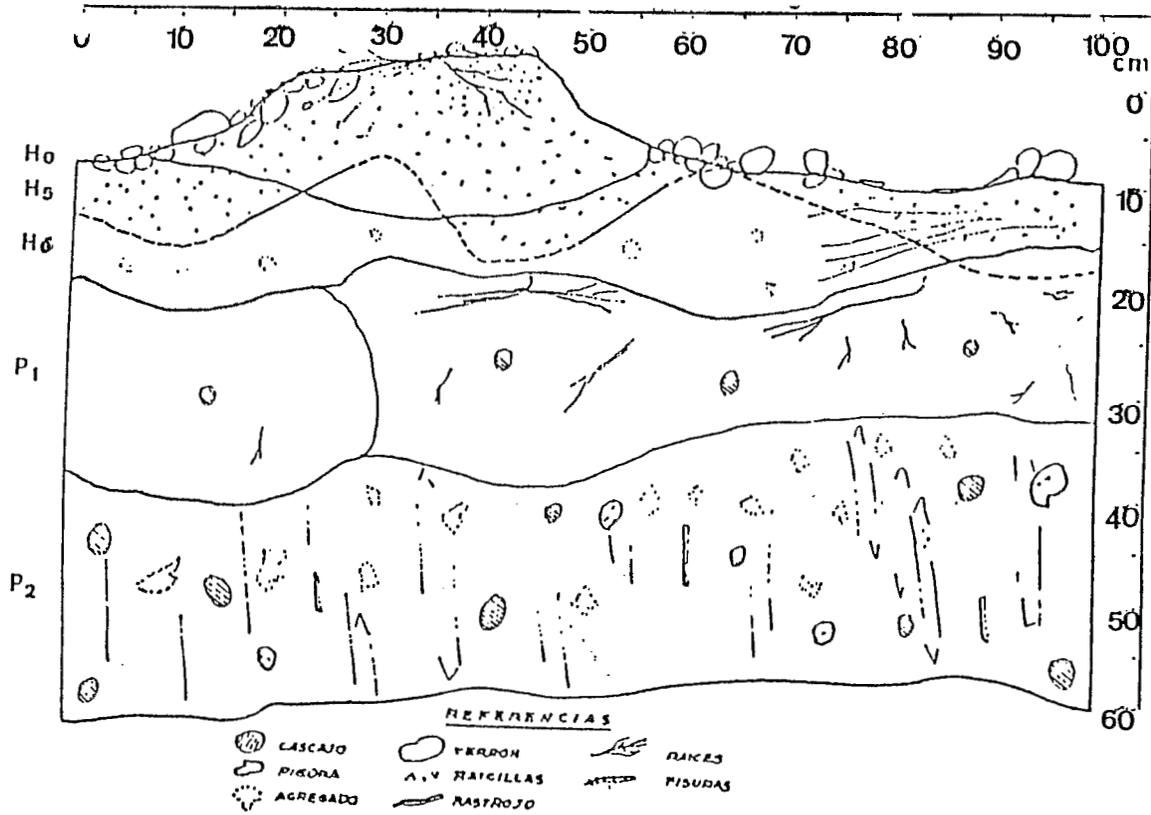
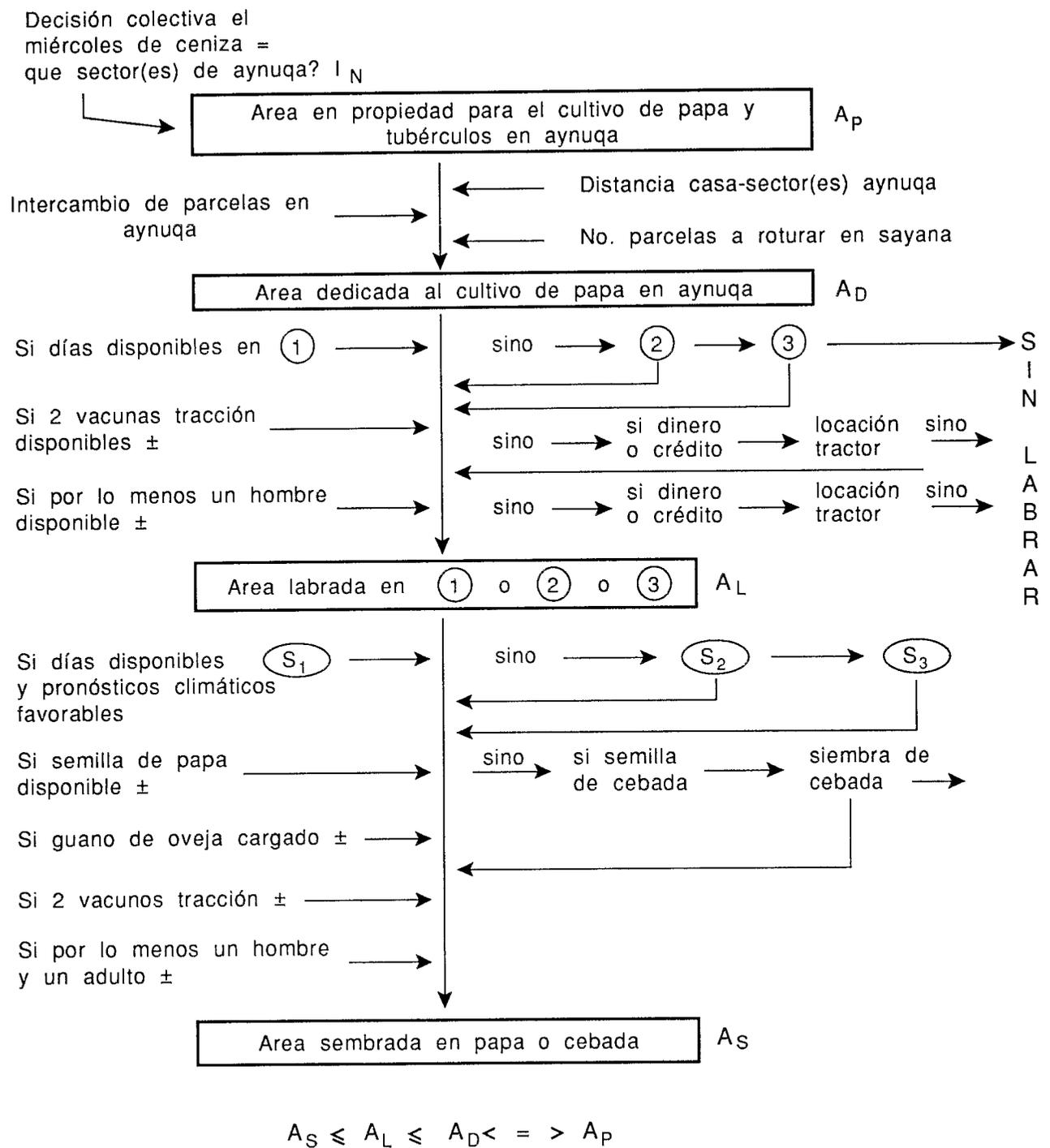


Fig. 5: Cadena de decisiones individuales para la siembra de papa en aynuqa



± disponibilidad en la finca o mediante acuerdos recíprocos.

SISTEMAS DE CRIANZA EXTENSIVA EN EL ALTIPLANO BOLIVIANO

Didier GENIN (1)

INTRODUCCION

La actividad ganadera juega un papel fundamental en la economía de los pequeños productores del altiplano boliviano. Toma formas variadas en lo que concierne la importancia que tiene en el sistema de producción, las especies animales criadas (ovinos, bovinos, llamas, alpacas), la naturaleza de los recursos forrajeros aprovechados (praderas nativas, cultivos forrajeros, tierras en descanso, recursos lacustres, halófitas, etc...), las producciones (carne, fibra, tracción, estiércol) o el tipo de manejo de los animales.

Esta diversidad traduce diferentes estrategias de parte de los campesinos en cuanto al manejo de la actividad pecuaria, en función de las limitantes del entorno ecológico y socioeconómico en el cual se desempeñan y de sus objetivos propios.

Este programa de investigación, que se inició en Septiembre 1991, tiene por objetivo caracterizar el funcionamiento de sistemas de crianza en condiciones campesinas, a partir del análisis de las relaciones dinámicas que existen entre el Hombre, los animales y los recursos forrajeros, para identificar eventuales "cuellos de botella" y plantear alternativas de manejo más adaptadas a la realidad campesina. Asocia investigación básica - modelización del comportamiento alimenticio, recolección de referencias técnicas no disponibles - y aplicada - diagnóstico de la ganadería campesina, búsqueda de alternativas de manejo (esencialmente relacionadas con la alimentación animal), y análisis prospectiva de evoluciones posibles de los sistemas de producción.

Se ubica desde el principio en un marco interdisciplinario, tratando de cruzar informaciones de diferentes índoles. El marco metodológico general que sigue este programa de investigación está presentado en el documento "Los sistemas ganaderos de la zona andina boliviana:

del concepto a una caracterización" (Alzereca y Genin, 1992).

Dos situaciones representativas del altiplano fueron seleccionadas:

- Un sistema pastoril camélidos-ovinos en la Provincia Sajama del Departamento de Oruro, en condiciones áridas,
- Un sistema agropastoril en la Provincia Aroma del Departamento de La Paz, con una crianza mixta ovinos-bovinos, característico del altiplano semi-árido.

SISTEMA PASTORIL

La investigación se realiza en Turco, en el occidente orureño con una precipitación anual del orden de 300 mm y más de 250 días de heladas por año. La agricultura es marginal y la crianza de camélidos y ovinos, únicamente con recursos forrajeros nativos constituye la base de los sistemas de producción.

Biogeográficamente, Turco reúne en una superficie relativamente restringida (200.000 ha.) todas las características del altiplano boliviano: una pampa ubicada a 3.800 msnm atravesada por pequeñas cadenas intra-altiplánicas conformando zonas de ladera y de serranía. Esta topografía promueve el desarrollo de una vegetación diversa: formaciones arbustivas, pajonales, bofedales y gramadales.

En una primera fase de caracterización del sistema, se iniciaron varios trabajos de investigación temáticos, como lo resume la figura 1.

Estos temas pueden ser agrupados en dos grandes rubros:

- las prácticas de los campesinos en relación con la actividad pecuaria
- las interacciones animales recursos forrajeros.

En una segunda fase, se planteó la búsqueda, la prueba y el análisis de factibilidad de una alternativa tecnológica en cuanto a la alimentación del ganado, adaptada a las condiciones de producción de la zona.

(1) Doctor Zootecnia, investigador ORSTOM.

1) Las prácticas ganaderas

1.1.- La asociación camélidos-ovinos

Los rebaños pluriespecíficos son generalizados en el área de estudio, pero la asociación abarca situaciones contrastadas: los números de cabezas de llamas, ovinos y eventualmente alpacas son muy heterogéneos de una unidad de producción a otra, los cuales confieren al hato familiar una estructura particular.

Se realizó una encuesta con 93 ganaderos de la zona de Turco para tratar de identificar cuales son los factores que afectan la estructura de los hatos familiares. Este trabajo es parte de una problemática más amplia alrededor de la pregunta: qué especie animal (o combinación de especies) criar en el altiplano árido?. Esta problemática surge de una preocupación constante de los campesinos para ajustar su producción a objetivos muchas veces no claramente definidos. Además, existen opiniones muy marcadas de parte de algunas instituciones para la promoción de un mayor desarrollo de tal o tal especie animal, sin que estas estén bien fundamentadas científicamente.

Los resultados están presentados y analizados por Tichit (1993) y Tichit y Genin (1994). La tipología de estructura elaborada muestra que existe una relación estrecha entre la estructura de los hatos familiares y la naturaleza de los recursos forrajeros, el tamaño total de la unidad de producción y, en algunos casos, la historia de la comunidad. La pampa pajonal es valorizada en primer lugar por llamas, el pajonal de altura por llamas machos, si existe bofedal, casi automáticamente se encuentran alpacas, mientras que las zonas de laderas, debido esencialmente al tamaño reducido de las unidades de producción y a una mayor diversidad de formaciones vegetales, están más valorizadas por ovinos, al igual que las zonas de pampa tholar.

Las variables socio-económicas, como la disponibilidad de mano de obra, no aparecieron como determinantes de la estructura de los hatos familiares. Sin embargo, la estructura de la familia, en particular el número de hijos y su grado de escolarización, parece jugar un papel importante en la tendencia a criar una u otra especie. Esto se relaciona a las funciones que tienen llamas y ovinos dentro del sistema de producción (Tichit, 1993).

Cabe mencionar que estas estructuras de los hatos no son fijas: varían en función de los ajustes tácticos y estratégicos que hace el jefe de familia durante su "ciclo de vida".

1.2.- Prácticas de alimentación

Dado el carácter extensivo de estos sistemas, las prácticas de alimentación están muy ligadas a las interacciones entre los animales al pastoreo y la vegetación, interacciones que serán analizadas en el capítulo 2.

El manejo de las dos especies animales en rebaños separados permite un mejor aprovechamiento de la diversidad de sitios de pastoreo presentes en la unidad de producción. Llamas y ovinos, si bien utilizan globalmente el mismo territorio, explotan zonas y tipos de plantas diferentes, lo cual hace que la presión de pastoreo sea repartida sobre un mayor número de especies vegetales.

1.3.- Prácticas de reproducción

Las actividades de reproducción son objeto de un fuerte control. Existen variaciones en cuanto a su manejo (empadre controlado o natural en llamas, casi siempre natural en ovinos pero con separación de los machos durante una parte del año. Los resultados de reproducción son relativamente bajos en llamas (cuadro 1) (Tichit, 1993, para datos más detallados).

Cuadro 1: Tasa de natalidad (TN en %) en llamas y ovinos en la zona de Turco (Tichit, 1993)

	Serranía	Ladera	Pampa tholar	Pampa pajonal
Llama (D E)	41 (11)	44 (18)	40 (15)	35 (13)
Ovino (D E)	83 (19)	85 (18)	83 (21)	76 (20)

TN: número de crías nacidas sobre número de hembras reproductoras.

1.4.- La interrelación entre el pastor y el ganado en la sociedad pastoril aymara.

Llanque (1993) realizó en Turco un estudio de la ganadería, tratando de ligar el enten-

dimiento del funcionamiento de los sistemas de crianza con la ideología de los campesinos, basada en la cosmovisión aymara. En particular, muestra que prácticas técnicas y prácticas rituales están integradas por el campesino para manejar su actividad productiva.

2) Las Interacciones animales-vegetación nativa

Las capacidades que tienen la llama y la oveja para aprovechar los recursos forrajeros disponibles en el territorio de pastoreo tienen una especial importancia para la productividad de estos sistemas, dado que los animales en ninguna circunstancia están complementados.

Se realizó una serie de estudios para caracterizar las potencialidades productivas y de aprovechamiento del medio en llamas y ovinos.

2.1.- Comportamiento alimenticio

El comportamiento alimenticio de los animales al pastoreo es uno de los factores que conducen a la producción animal. Se cuantificó mensualmente durante un ciclo anual la composición botánica de la dieta de llamas y ovinos en una unidad de producción presentando recursos forrajeros diversificados (Villca, 1993).

Los resultados muestran que la estructura del sistema de crianza que se encuentra en la zona, de tipo mixto camélidos-ovinos, permite un mejor uso de los recursos forrajeros disponibles, debido a una cierta complementariedad en el comportamiento alimenticio de llamas y ovinos. En efecto se pudo mostrar, mediante un análisis canónico discriminante, que la composición botánica de las dietas de llamas y ovinos son significativamente diferentes y que no existe sobreposición entre ellas a lo largo del año (Genin *et al.*, 1994).

2.2.- Composición química y digestibilidad

Paralelamente a los estudios de comportamiento alimenticio, se realizaron análisis bromatológicos de los forrajes consumidos para poder evaluar la calidad forrajera, y su variación durante el ciclo anual de las plantas nativas (Abasto, 1993).

Además unas pruebas de digestibilidad in situ en llamas y ovinos fueron realizadas en los diez forrajes nativos más consumidos (período

seco y húmedo). Los resultados muestran una clara superioridad de la llama para digerir los forrajes (Cuadro 2). Las diferencias en los coeficientes de digestibilidad varían de 1.2% a más de 42% en favor de la llama. De manera general las diferencias son mucho más marcadas cuando la digestibilidad es baja, es decir que la llama es más apta a digerir los forrajes toscos que los ovinos.

2.3.- Balances nutricionales.

El cálculo de la energía metabolizable consumida por los animales al pastoreo se realizó mediante la relación entre la EM y la materia orgánica digestible (MOD) Propuesta por Morgan (1974):

$$EM \text{ (Kcal)} = MOD \text{ (g)} * 4.4 \text{ Kcal/g} * 0.82$$

El consumo diario total ha sido estimado a 2.5% y 1.5% de peso vivo en ovinos y llamas respectivamente (San Martín y Bryant, 1987; Villca, 1993; Alvarez, 1993), es decir para ovinos de 20 kg de peso vivo y llamas de 90 kg, un consumo de 0.5 y 1.4 kg MS/día, respectivamente.

Los requerimientos de EM en llamas están siempre satisfechos por las dietas seleccionadas en período húmedo y seco (132% y 104% de los requerimientos, respectivamente), mientras que la dieta de ovinos presenta un déficit energético en período seco (76% de los requerimientos) (figura 2)

Los datos referentes a nutrición proteica están en proceso de análisis, pero parecen mostrar que existen graves deficiencias en período seco.

3) Tratamiento químico de forrajes nativos: Una alternativa para la alimentación animal?

La alimentación es tal vez el primer factor limitante de la productividad de los sistemas pecuarios de la zona de Turco. La calidad de la dieta consumida por los animales al pastoreo en período seco no permite cubrir sus requerimientos nutricionales. Dadas las condiciones ecológicas y socio-económicas de la zona, el margen de acción para resolver este problema es muy estrecho.

La opción que investigamos es el uso y tratamiento de la paja brava con hidróxido de

sodio, urea y carbohidratos solubles (melaza o chancaca).

Los resultados preliminares muestran que el tratamiento con hidróxido de sodio permite incrementar la digestibilidad in situ de la paja brava en llamas en un 33%, mientras que el tratamiento con urea necesita adicionar carbohidratos solubles (melaza o chancaca) para tener un efecto favorable sobre la digestibilidad (fig. 3).

SISTEMA AGROPASTORIL

La investigación se realiza en Pumani y Vituyu Ayo-Ayo, en la Provincia Aroma del Depto. de La Paz, y está en completa articulación con los trabajos de D. Hervé (agronomo) y G. Riviere (antropólogo). Se trata de comunidades agropastoriles tradicionales que asocian manejo individual y colectivo de las tierras. La actividad es de tipo agropecuario, con cultivos (esencialmente papa y quinua para la alimentación humana y cebada para el ganado) y crianza de bovinos y ovinos principalmente. La estructura de las unidades de producción es diversa.

El objetivo global es identificar y caracterizar el subsistema de producción pecuaria y su interrelación con la actividad agrícola, poniendo énfasis en el manejo de la alimentación del hato familiar. Se piensa que existen diferentes estrategias de parte de los campesinos en cuanto al manejo de la alimentación de sus hatos según sus disponibilidades cuantitativas y cualitativas de los recursos forrajeros, y esas van a condicionar las posibilidades de innovaciones técnicas.

A contrario de los sistemas pastoriles de la zona cordillerana, en donde son las aptitudes de los animales para aprovechar la vegetación nativa que condicionan la producción, en la zona agropastoril, las prácticas ganaderas son el punto clave del funcionamiento del sistema y condicionan su productividad.

1) Lazos entre agricultura y ganadería

En los Andes, agricultura y ganadería tienen, dentro de una misma unidad de producción familiar, lazos muy estrechos, y se conciben de manera holística por parte de los campesinos. Su complementariedad es el lema generalizado para justificar su asociación en la actividad productiva. Los cultivos —papa, quinua y cebada— tienen por función principal de asegurar la auto-subsistencia de la familia y

parte de la alimentación animal; el ganado juega papeles diversificados tales como fuente de alimentación (carne, leche), de capitalización (sobre todo bovinos), caja de tesorería para las necesidades monetarias corrientes de la familia, fuerza de tracción y transporte, y producción de fertilizantes para los cultivos. La asociación entre agricultura y ganadería es también una forma de utilizar la totalidad del territorio disponible a nivel de una comunidad campesina y asegurar su reproducción, dada la baja entrada de insumos exteriores al sistema.

Un análisis factorial de correspondencias (AFC) fue realizado a partir de los datos referentes a una encuesta de estructura de 82 unidades de producción (UdP) de la comunidad de Pumani (Fernández, 1994). Las variables recolectadas abarcan estimaciones de superficies cultivadas, tenencia de animales, ubicación de las UdP y mano de obra disponible. Los resultados muestran una fuerte relación positiva entre las superficies cultivadas en papa y quinua y la tenencia de ganado. Se observa también, una diferenciación de la estructura de los rebaños (N° de bovinos y N° de ovinos) en función de características de los recursos forrajeros. En particular, se pudo caracterizar una tendencia a la cría de mayores cantidades de bovinos por parte de la UdP localizadas en zonas de pampa, en relación con cultivo de alfalfa, mientras que los grandes rebaños ovinos se encuentran en UdP localizadas en zonas de laderas que presentan mayores extensiones de cereales forrajeros.

2) Caracterización de los recursos forrajeros

Una de las características de las unidades de producción es la presencia de una gran diversidad de recursos forrajeros endógenos: pastos naturales (tierras en descanso, chilliwares), pastos cultivados (cebada, alfalfa), malezas, rastrojos de cultivo (cebada, broza y jipi de quinua, mata de papa). Un estudio específico permitió la caracterización de estos recursos en términos de composición botánica y producción (Fernández, 1994). Estudios de comportamiento alimenticio de ovinos identificaron las especies forrajeras de estas zonas y su grado de utilización estacional. Se tomaron muestras de estas plantas para su análisis bromatológico posterior.

En cuanto al cultivo de cebada, se realizó una experimentación en la estación de Pataca-

maya para determinar el estado fenológico que permite obtener la mayor cantidad de nutriente a partir del cultivo de cebada. Esto es la resultante de una buena producción de biomasa asociada con un material que guarda un buen valor nutritivo. Los resultados muestran que existen dos estados de desarrollo que permiten una maximización de la producción de materia seca digerible. Se recomienda el estado de espiga-floración como período óptimo de cosecha porque presenta una biomasa relativamente importante (entre 2.0 y 2.5 Tm/ha) y tiene todavía una buena digestibilidad (>65%). (Gonzales, 1994).

3) Sistemas de alimentación del ganado

Un seguimiento y análisis de las prácticas ganaderas en cuanto a alimentación de los rebaños ovinos y bovinos permitió determinar el espectro global de la composición botánica de la dieta del ganado y el papel relativo de las diferentes fuentes forrajeras disponibles a nivel de la unidad de producción.

— Pastoreo en tierras en descanso y residuos de cultivos, bases de alimentación de los ovinos.

Las tierras en descanso, aunque de baja potencialidad forrajera (Genin y Fernández, 1994), constituyen una fuente importante de alimentación del ganado ovino durante todo el año (Fig. 4); en particular en período húmedo en cual provee casi el 80% de su dieta. Durante esta época el 100% del régimen alimenticio está conformado por pastos no cultivados. En período seco, los ovinos están complementados por suministro de residuos de cultivos (mata de papa, broza de quinua, jipi de quinua), los cuales llegan a conformar casi el 20% de la dieta en final de período (Agosto-octubre). El pastoreo de rastros de cultivo —esencialmente cebada— está también aprovechado entre mayo y agosto cuando el libre pastoreo en aynoqas está permitido por las autoridades de la comunidad.

— La cebada, base de la alimentación de los bovinos

El espectro de la composición de la dieta a lo largo del año muestra que el heno de cebada constituye la base fundamental del sistema de alimentación de los bovinos, con una contri-

bución a la dieta de alrededor de 80% en período seco y 50% en período húmedo (Fig. 5). En este último período, la cebada está cosechada diariamente en verde para su distribución al ganado; además de un suministro de alfalfa.

4) Una alternativa tecnológica: mejoramiento forrajero de las tierras en descanso.

Con una capacidad de carga animal inferior a un ovino criollo/ha/año, los campos en descanso no representan un recurso forrajero de buena calidad. Sin embargo, conforman la base de la alimentación del ganado ovino y ocupa un territorio extenso a nivel de la comunidad. Se iniciaron ensayos al nivel de la comunidad campesina de Vituyu Ayo-Ayo, de mejoramiento forrajero mediante siembra de pastos (pasto llorón, vicia villosa, alfalfa) bajo diferentes formas (con o sin trabajo de suelo, durante el último ciclo de cultivo). El objetivo es no solamente verificar la eficiencia técnica de esta alternativa, sino también de analizar in situ la reacción de los campesinos y los problemas de organización comunitaria que impone. Cerca de 8 ha fueron sembrados en Noviembre 1993.

REFERENCIAS

- Abasto P., 1993 - Composición química y digestibilidad de forrajes nativos en llamas y ovinos en el altiplano árido. Tesis Ing. Agr. FCAP UMSS, Cochabamba, Bolivia, 129 p.
- Alzerreca H. y Genin D., 1992 - Los sistemas ganaderos de la zona andina boliviana: del concepto a una caracterización. Doc N°30, ORSTOM-IBTA, La Paz, Bolivia, 37 p.
- Fernandez J., 1994 - Calendarios forrajeros y prácticas ganaderas en una comunidad agropastoril del altiplano central boliviano. Tesis Ing. Agr., UMSA, La Paz, 107 p.
- Genin D. y Fernández J. 1993 - Uso pastoril de las tierras en descanso en una comunidad agropastoril del altiplano central boliviano. In: Seminario Internacional sobre el descanso de la tierra en los Andes, La Paz, sept. 1993, ORSTOM-TBTA (en prensa).
- Genin D., Fernández J, Victoria Z. y Queiroz (de) J., 1994 - Relaciones agricultura-ganadería en el altiplano agropastoril boliviano. In: 7º Congreso Internacional sobre siste-

mas agropecuarios andinos, Valdivia, Chile, Marzo 1994 (en prensa).

Genin D., Villca Z. y Abasto P., 1994 - Diet selection and utilization by llama and sheep in a high altitud-arid rangeland of Bolivia. *J. Range Manage.*, 47: 245-248.

Gonzales R., 1994 - Optimización forrajera de la cebada mediante la determinación del rendimiento de biomasa y digestibilidad in situ en cinco estados de desarrollo. Tesis Ing. Agr., UMSA, La Paz, 78 p. (en revisión).

Llanque A., 1993 - La Uuwa y el Uywiri: la interrelación entre el ganado y el pastor en la sociedad pastoril aymara. IBTA-CRSP-CIID-ORSTOM, N°7, 70 p.

Tichit M., 1993 - L'association camélidés-ovins dans un systeme pastoral de l'altiplano désertique de Bolivie. Tesis Master of Science, IAMZ, Zarragoza, España, 183 p.

Tichit M. y Genin D., 1994 - La asociación camélidos-ovinos en una zona pastoril del altiplano árido boliviano. In: 7º Congreso Internacional sobre sistemas agropecuarios andinos, Valdivia, Chile, Marzo 1994 (en prensa).

Villca Z., 1993 - Comportamiento alimenticio de llamas y ovinos en un sistema pastoril tradicional del altiplano árido boliviano. Tesis Ing. Agr., UTO, Oruro y IBTA-CRSP-CIID-ORSTOM, N° 8, 109 p.

Cuadro 2: Digestibilidad in situ de forrajes nativos del altiplano por llamas y ovinos (% MS)

	Período Húmedo			Período Seco		
	Llama	Ovino	Dif.	Llama	Ovino	Dif.
F. orthophylla	52.8	39.1	+ 13.7	40.5	35.3	+ 5.2
S. ichu	43.4	40.3	+ 3.1	36.6	25.7	+ 10.9
F. dolicho	65.7	55	+ 10.7	50.5	49.9	+ 0.6
C. heterophylla	66.2	62.2	+ 4	41.6	35.2	+ 6.4
P. candamoana	67.1	58.2	+ 8.9	58.3	52.6	+ 5.7
Gramadal	87.5	81.1	+ 6.4	64.8	63	+ 1.8
A. spinosissima	59.8	53.9	+ 5.9	59.2	60.7	- 1.5
T. cristatum	67.2	61.4	+ 5.8	60.2	51.9	+ 8.3
P. lepidophylla	78.8	77.7	+ 1.1	82.3	80.6	+ 1.7
B. incarum	84.8	81.9	+ 2.9	91.5	88.1	+ 3.4

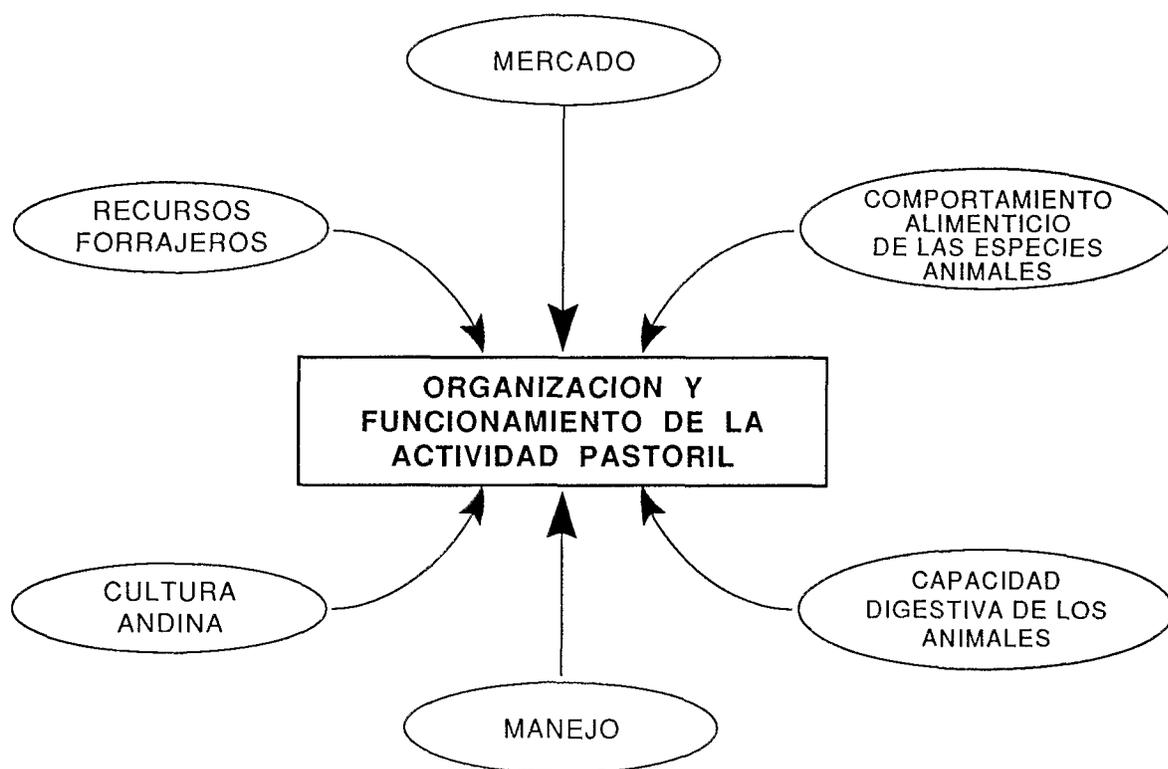


Figura 1: Temáticas de investigación.

Figura 2: Aporte en energía metabolizable de la dieta

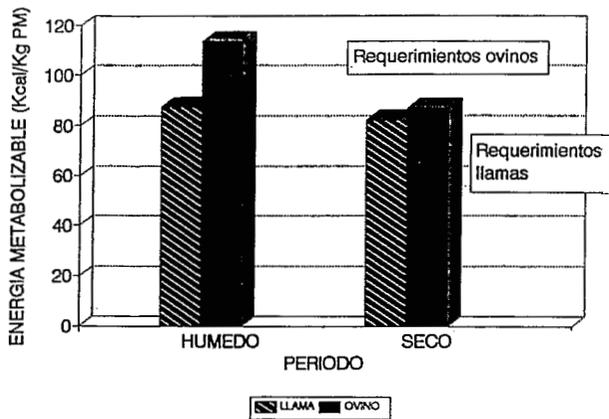


Figura 4: Espectro de la composición botánica de la dieta de ovinos.

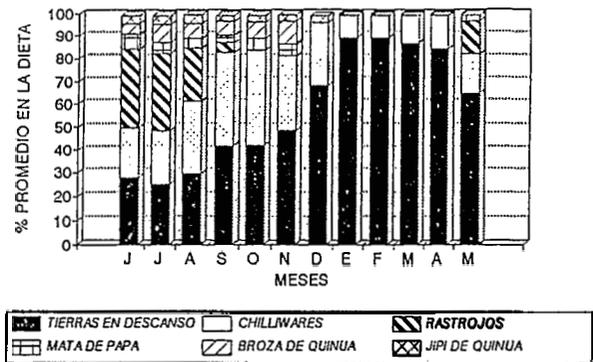


Figura 3: Digestibilidad de la paja brava tratada o no en llama

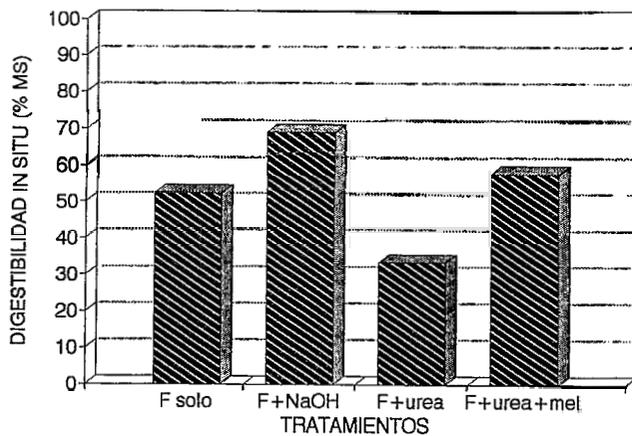
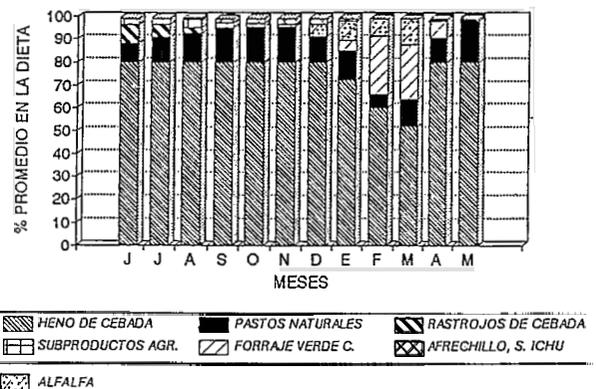


Figura 5: Espectro de la composición botánica de la dieta de bovinos



VARIACIONES DE LAS CONDICIONES AGROCLIMATICAS MENSUALES EN LOS VALLES DE COCHABAMBA

Gregorio MADEL (1)
Nicolas GERMAIN (2)
Fernando RODRIGUEZ (3)

INTRODUCCION

Las condiciones agroclimáticas de un lugar determinan el desarrollo y crecimiento de la vegetación natural y de los cultivos, circunscriben el conjunto posible de artificialización del medio ambiente cultivado o no, modulan el éxito de tal o tal técnica. Así el agrónomo precisa caracterizar las condiciones agroclimáticas de un lugar dado, sea las condiciones radiativas, térmicas, pluviométricas y evapotranspirativas.

Pero, en un mismo lugar, estas condiciones presentan variaciones entre campañas agrícolas. Entonces el agrónomo no puede satisfacerse del conocimiento promedio de las condiciones agroclimáticas, tiene que caracterizar estas variables con rangos de variación y leyes de distribución. Tiene que relativizar los resultados de una campaña agrícola, relacionándolos con las condiciones agrometeorológicas de esta campaña, en función de las ocurrencias climáticas de tal campaña.

También, entre dos lugares, durante una misma campaña agrícola, existen similitudes y diferencias. No es factible disponer, al lado de todos los campos, de una estación agrometeorológica. Entonces se necesita evaluar, a partir de una red de observaciones, el rango de variaciones geográficas de las características agroclimáticas de una región, relacionar éstas características entre ellas.

El presente estudio tiene como objetivo proporcionar los principales rasgos agroclimáticos mensuales del Valle de Cochabamba, bosquejar los de los Valles Bajo y Alto. Más deta-

lles se contemplan en el trabajo de Madel (1994).

MATERIALES Y METODOS

Estación de referencia

Por el largo de la serie de datos agroclimáticos, y por la calidad de estos mismos datos, se considera la estación climatológica "Aasana" del aeropuerto de Cochabamba como la referencia. La serie pluviométrica es de 50 años, con casi ningún dato faltante.

Estaciones acompañantes

Por su proximidad al aeropuerto, por su papel pedagógico y por su nuevo equipo de mediciones agroclimáticas, se considera la estación "La Tamborada" de la Facultad de Agronomía de Cochabamba.

"La Violeta" y "Pairumani" completan el conjunto de las estaciones del Valle Intermedio contempladas en el presente estudio. Dos estaciones, "Arani" y "San Benito", ilustran el caso del Valle Alto, y "Capinota" el caso del Valle Bajo.

Estas estaciones acompañantes tienen por lo menos una serie pluviométrica de 15 años, datos referentes a las temperaturas diarias mínima y máxima, a la humedad relativa, y a veces a la velocidad del viento y a la evaporación de un tanque.

Análisis pluviométrico

Para comprobar un eventual efecto de cambio climático en la pluviosidad, se compara las últimas 25 campañas agrícolas (de julio 1968 a junio 1993) con las 25 anteriores, en el caso "Aasana".

Las distribuciones de los datos pluviométricos mensuales, por su carácter disimétrico,

(1) Egresado Facultad de Ciencias Agrícolas UMSS Cochabamba.

(2) Agrónomo de ORSTOM, investigador.

(3) Docente Facultad de Ciencias Agrícolas UMSS Cochabamba, Responsable del SENAMHI Cochabamba.

no concordan con la normal. Se escoge adecuadamente a una distribución gamma incompleta, con un parámetro de tamaño y uno de dispersión. A partir de estas distribuciones calibradas, se calcula las pluviométricas mensuales con probabilidades de 0.2, 0.5 y 0.8, sean las cantidades que se superan respectivamente 1 año sobre 5, 1 año sobre 2, 4 años sobre 5.

Se considera como día lluvioso un día donde la precipitación medida es superior o igual a 1 mm. La probabilidad de un día lluvioso es el número de días lluviosos del mes dividido por el número de días del mes. La persistencia se define como la probabilidad de observar un día lluvioso, sabiendo que el día anterior fue lluvioso. El total mensual es el producto del número de días lluviosos del mes por la cantidad promedio de lluvia por día lluvioso.

Caracterización de las temperaturas mensuales

La temperatura máxima mensual es el promedio de las temperaturas máximas diarias del mes considerado. Igualmente, la temperatura mínima es el promedio de las temperaturas mínimas diarias. Los rangos de variación están determinados por los máximos y los mínimos observados en los 5 últimos años.

Insolación y radiación global

Estas dos variables n y R_g están relacionadas, al nivel mensual, por la fórmula de Ångström:

$$R_g/R_a = a + b * n/N$$

donde

R_a , radiación recibida encima de la atmósfera, y N , duración teórica del día, son funciones de la latitud del lugar y de la fecha considerada; a y b son coeficientes estimados, en el caso de Cochabamba $a = 0.28$ y $b = 0.42$ (Frère et al., 1975).

Disponiendo de mediciones diarias concordantes de radiación global en La Violeta y en La Tamborada durante los dos últimos años (Madel, 1994), se recalcula estos coeficientes a y b .

La fracción de insolación n/N promedio y su rango de variación están calculados a partir de 5 años de observación en Aasana. Se extrapola, por la fórmula de Ångström recalibrada, el promedio y el rango de variaciones de la radiación global.

Velocidad del viento, humedad relativa

Estas variables contribuyen a la evapotranspiración convectiva. Los promedios mensuales y los respectivos rangos de variación de estas dos variables están calculados a partir de 5 años de observación en Aasana. Se considera únicamente los datos del año 1993 por las estaciones acompañantes. En caso de sesgo aparente entre la referencia y un acompañante, se toma en cuenta más años de observación del acompañante.

Evapotranspiración climática

La evapotranspiración climática está calculada por la fórmula de Penman Monteith (FAO, 1993), introduciendo los promedios mensuales y los valores extremos de fracción de insolación, de temperatura, de humedad relativa y de velocidad del viento para determinar los promedios mensuales respectivos y sus rangos de variación. Los valores calculados de 3 años están comparados a los datos de evaporación del tanque.

RESULTADOS Y DISCUSION

¿Cambio pluviométrico?

Las diferencias pluviométricas anuales y mensuales entre las 25 últimas campañas agrícolas y las 25 anteriores, en el caso de la estación Aasana, no están significativas al nivel de 5%. Así, los promedios de los totales anuales respectivos son de 459 y 481 mm, con desviaciones estándar de 105 y 84, lo que lleva a un t de Student de probabilidad 0.42 con la prueba bilateral.

Variaciones interanuales de pluviometría

A partir de los 50 años de registro, se ha calculado las distribuciones gamma de las precipitaciones mensuales. La figura 1 muestra las esperanzas pluviométricas de octubre a abril.

Variaciones geográficas de pluviometría

El cuadro 1 presenta las características pluviométricas mensuales de las 7 estaciones tomadas en cuenta en el presente estudio. Se puede definir una época lluviosa, de noviembre a marzo, donde la probabilidad de observar un día lluvioso es generalmente superior a 20%.

Se nota que La Tamborada está muy similar a Aasana. La Violeta y Capinota reciben más precipitaciones, por la cantidad de lluvia en un día lluvioso y no por el número de días lluviosos. Es muy probable que Pairumani, por su ubicación, presente el mismo caso. Arani y San Benito reciben menos precipitaciones, por el número inferior de días lluviosos.

Estabilidad interanual de las variaciones geográficas

Los totales pluviométricos anuales, semestrales, trimestrales y mensuales de las 7 estaciones, durante los 15 años de registro, presentan correlaciones lineales significativas entre ellos, para cada escala temporal considerada.

La figura 2 ilustra estas relaciones para el mes de Enero. Estas correlaciones están más sueltas cuando se considera por década, y más aún para la época no lluviosa.

Temperaturas

Las figuras 3 y 4 enseñan las variaciones de las temperaturas mensuales máxima y mínima.

El rango de variación interanual de las temperaturas máximas es de 4°C, el de las mínimas de 2°C.

Las máximas presentan pocas fluctuaciones, sin embargo se observa dos picos, en Abril y en Noviembre. Las mínimas presentan un solo mínimo en Junio Julio.

La temperatura media depende más de la fluctuación de la temperatura mínima que de la máxima.

Capinota presenta la mayor amplitud térmica, sea la diferencia entre la máxima y la mínima. Datos de humedad relativa del aire faltan para averiguar el papel de esta variable.

San Benito parece más frío al nivel del máximo, y más aún cuando se considera el mínimo.

Insolación y radiación global

La insolación mensual (figura 5) presenta un máximo en Mayo con más de 8 horas, con un rango de variación de 1.5. En Enero la insolación disminuye a 6 horas, con un rango de va-

riación de 3.5. La insolación no está ligada a la duración del día, su rango de variación aumenta en la época lluviosa. Pairumani parece recibir menos insolación, especialmente de Abril a Junio.

La relación entre fracción de insolación y radiación global de Marzo 1992 a Abril 1994, sugiere una recalibración de la fórmula de Ångström con los parámetros 0.35 y 0.40 (figura 6).

Esta fórmula recalibrada, aplicada a los valores máximo y mínimo de insolación, proporciona el rango de variación de la radiación global (figura 7).

Velocidad del viento, humedad relativa

La velocidad del viento (figura 8) presenta una fluctuación anual con un punto alto en Octubre Noviembre, y un punto bajo en Junio. El rango de variación parece amplio: el mínimo es casi la mitad del máximo. Durante un mismo año, parece que existe una relación entre las velocidades de meses sucesivos: así, si se observa un mes con poco viento, la probabilidad de observar el mismo el mes siguiente será alta. San Benito parece más ventoso.

La humedad relativa del aire (figura 9) decrece al final de la época lluviosa hasta un mínimo en Octubre, y crece de nuevo con la llegada de la época lluviosa. El rango de variación interanual sigue aproximadamente constante durante todo el año sea de 20%.

Evapotranspiración climática

La evapotranspiración climática (figura 10) tiene un comportamiento similar a la radiación global, con un mínimo en Junio y un máximo en Noviembre. Su rango de variación es más amplio durante la época lluviosa. Las variaciones interanuales de evaporación del tanque tienen estrechas relaciones con los valores, calculados a partir de las características mensuales observadas, de evapotranspiración climática (figura 11).

CONCLUSIONES

Las condiciones radiativas, térmicas, pluviométricas y evapotranspirativas en los valles de Cochabamba presentan una cierta coheren-

cia en sus variaciones estacionales, geográficas e interanuales al nivel mensual. Estudios complementarios, con series más largos, tomando en cuenta otras estaciones, son necesarios para confirmar la descripción propuesta.

En estudios donde la alimentación hídrica de los cultivos puede ser limitante, el establecimiento del balance hídrico tendría que tomar en cuenta no solamente la distribución de la pluviometría, pero también las variaciones de la demanda climática. Así mismo la escala mensual tendría que afinarse a un nivel decadal.

BIBLIOGRAFIA

- FAO (Food and Agriculture Organisation).** 1993. *Cropwat. Programa de ordenador para planificar y manejar el riego.* FAO, Roma, 134p.
- FRERE M., REA J. y RIJKS J.Q.** 1975. *Estudio agroclimatológico de la zona andina.* FAO, Roma, 391p.
- MADDEL G.** 1994. *Estudio agroclimatológico de los valles de Cochabamba.* Tesis Ing. Agr. FCAPFV-UMSS. Cochabamba, Bolivia, a publicar.

Cuadro 1: Características pluviométricas mensuales de 7 estaciones (15 años de observación)

Mes		Julio	Agos.	Sept.	Oct.	Nov.	Dic.	Enero	Feb.	Marzo	Abril	Mayo	Junio
Estaciones	Características												
Aasana	total mensual (mm)	2	4	8	21	37	91	123	70	75	23	3	3
	prob. día lluv.	0.01	0.03	0.08	0.12	0.20	0.37	0.43	0.36	0.31	0.09	0.03	0.03
	persistencia	0.17	0.25	0.27	0.21	0.37	0.5	0.54	0.42	0.47	0.29	0.08	0.42
	lluvia/día (mm)	5.3	3.4	3.2	5.6	6.2	7.9	9.1	7.0	8.0	8.6	3.8	4.3
La Tamborada	total mensual (mm)	2	3	8	20	44	88	133	75	93	27	2	3
	prob. día lluv.	0.01	0.03	0.06	0.10	0.20	0.36	0.46	0.36	0.32	0.10	0.01	0.01
	lluvia/día (mm)	5.1	3.5	4.4	6.5	7.2	7.9	9.4	7.4	9.5	8.6	5.9	6.9
La Violeta	total mensual (mm)	2	5	10	32	52	101	155	79	88	26	11	5
	prob. día lluv.	0.01	0.04	0.08	0.12	0.23	0.38	0.51	0.41	0.36	0.13	0.04	0.03
	lluvia/día (mm)	5.0	4.4	4.1	8.2	7.6	8.6	9.9	7.0	7.8	6.9	9.4	6.0
Pairumani	total mensual (mm)	3	6	10	29	72	131	185	101	116	35	3	3
Capinota	total mensual (mm)	2	9	16	34	75	122	152	95	91	27	5	3
	prob. día lluv.	0.02	0.06	0.10	0.16	0.23	0.37	0.43	0.33	0.32	0.13	0.02	0.02
	lluvia/día (mm)	3.6	4.3	5.6	7.0	11.0	10.8	11.3	10.2	9.1	7.0	7.0	4.9
Arani	total mensual (mm)	3	4	10	14	42	61	90	51	58	20	3	3
	prob. día lluv.	0.02	0.03	0.06	0.09	0.20	0.24	0.39	0.30	0.24	0.10	0.03	0.02
	lluvia/día (mm)	5.6	5.1	6.0	4.8	6.8	8.1	7.4	6.0	7.8	7.1	4.3	5.2
S. Benito	total mensual (mm)	4	3	10	22	38	72	85	63	48	25	3	2
	prob. día lluv.	0.03	0.02	0.06	0.13	0.18	0.29	0.35	0.32	0.22	0.13	0.02	0.01
	lluvia/día (mm)	4.5	4.5	5.3	5.5	7.0	8.1	8.0	7.2	6.9	6.4	4.2	8.0

Figura 1:

Esperanzas de pluviometría mensual (de octubre a abril) en Aasana, con probabilidades de 0.2, 0.5 y 0.8

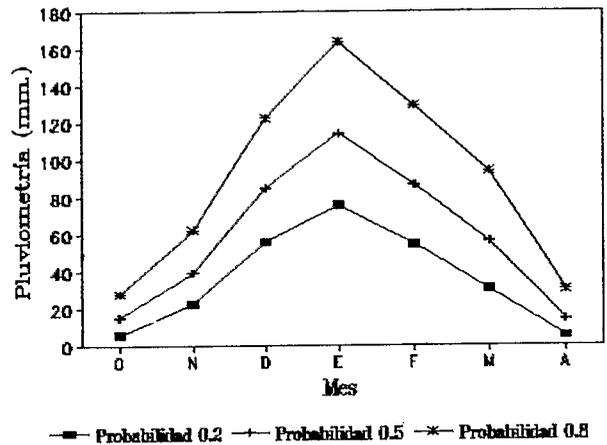


Figura 2:

Relaciones entre el total pluviométrico del mes de enero (mm) en Aasana y los de 3 estaciones acompañantes (15 años de observación)

$$r(\text{Aas, SB}) = 0.67$$

$$r(\text{Aas, LV}) = 0.75$$

$$r(\text{Aas, Cap}) = 0.55$$

Valores críticos de r (13 gdl)

$$r_{0.95} = 0.51$$

$$r_{0.99} = 0.64$$

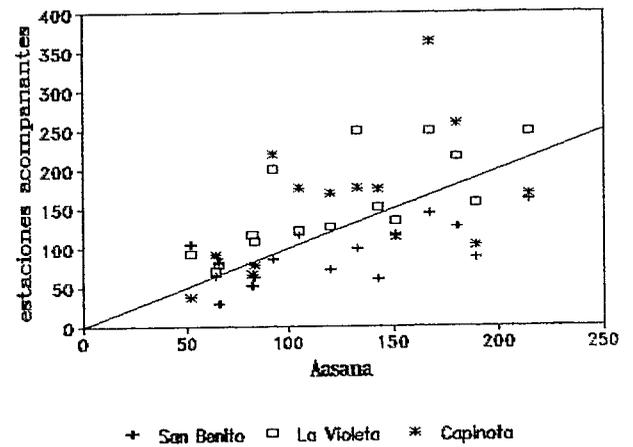


Figura 3:

Rango de variación de la temperatura máxima mensual en Aasana (5 años) y valores del año 1993 de 3 estaciones acompañantes

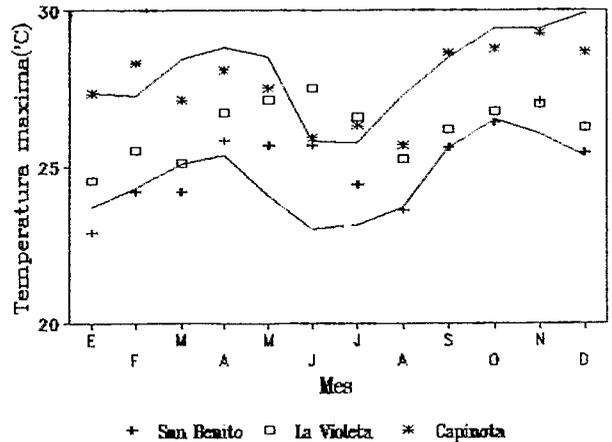


Figura 4:

Rango de variación de la temperatura mínima mensual en Aasana (5 años) y valores del año 1993 de 3 estaciones acompañantes

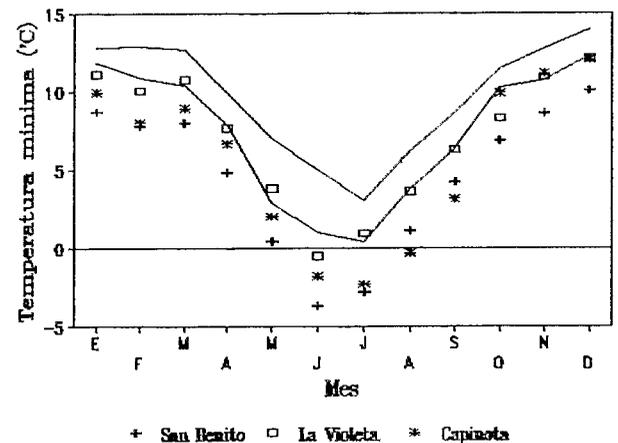


Figura 5:

Rango de variación de la insolación en Aasana (5 años) y valores del año 1993 de 3 estaciones acompañantes

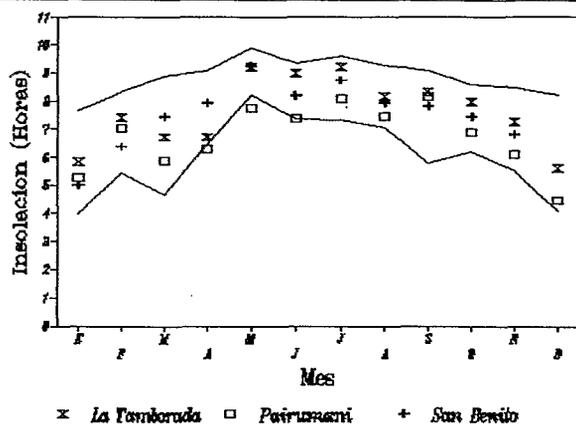


Figura 6:

Regresión lineal de Rg/Ra en función de la fracción de insolación n/N

$$R_g/R_a = 0.35 + 0.40 \cdot n/N$$

$$r^2 = 0.85$$

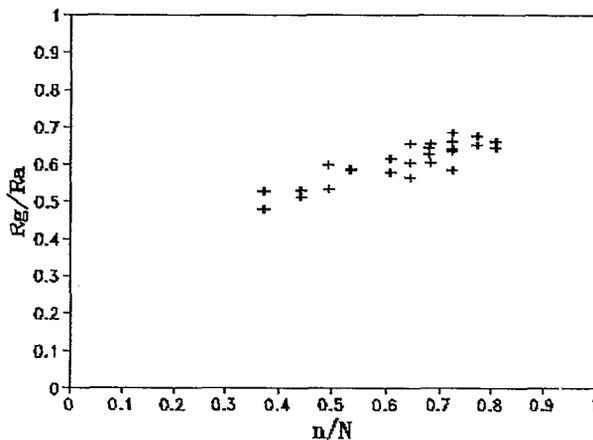


Figura 7:

Rango de variación de la radiación global calculada en Aasana (5 años)

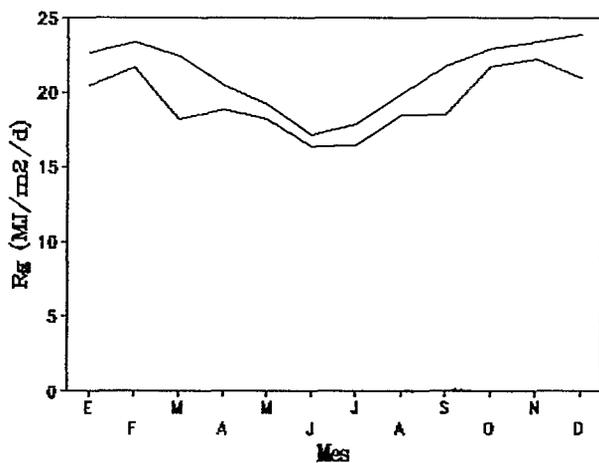


Figura 8:

Rango de variación de la velocidad promedio mensual del viento en Aasana (5 años) y valores mensuales promedio del año 1993 en San Benito

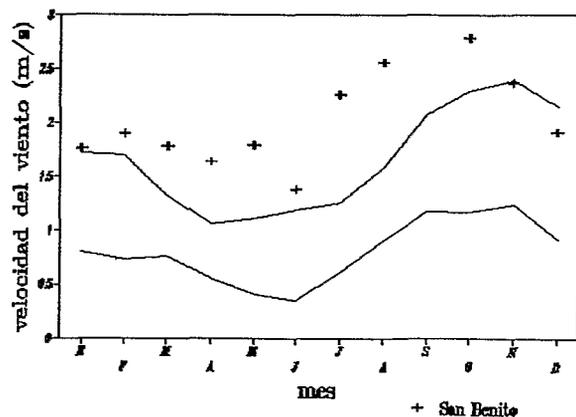


Figura 9:

Rango de variación de la humedad relativa del aire en Aasana (5 años) y promedios mensuales en 1993 de 3 estaciones acompañantes

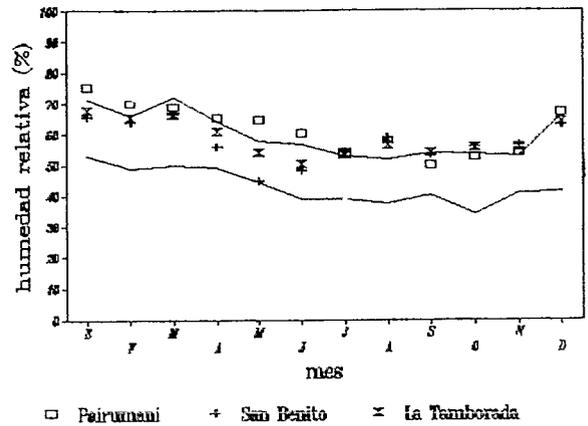


Figura 10:

Rango de variación de la evapotranspiración climática en Aasana

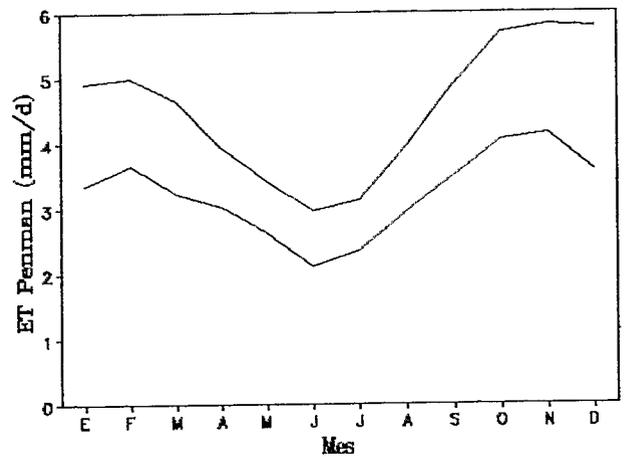
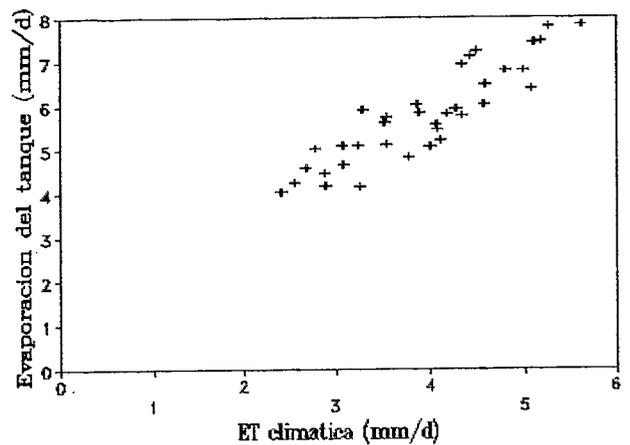


Figura 11:

Relación entre la evapotranspiración climática mensual y la evaporación del tanque en Aasana (3 años)

$$r = 0.9$$



UN ENFOQUE DE INVESTIGACION AGRONOMICA EN BASE A LA DESCOMPOSICION DEL RENDIMIENTO EN COMPONENTES: APLICACIONES AL CULTIVO DE TRIGO

Cresencio CALLE (1)
Nicolas GERMAIN (2)

El manejo de la producción de los cereales está fundamentalmente basado en el conocimiento de los factores y condiciones que intervienen en el proceso de producción, identificando aquellos que limitan el rendimiento.

Sébillotte (1987) denominó "agrofisiología" al conjunto de conocimientos al nivel fisiológico para analizar la elaboración del rendimiento, que permite mostrar relaciones más integrales respecto a las interacciones clima - terreno - técnicas y el cultivo.

Se concibe por tanto un esquema de análisis y de diagnóstico para identificar, en cada fase del cultivo, los factores y condiciones que limitan la elaboración del rendimiento, en relación con el estado del medio y el sistema de cultivo (Fig. 1).

El objetivo del presente enfoque es identificar la importancia relativa de cada uno de los componentes en la elaboración del rendimiento, y los factores y condiciones que limitan la formación de los componentes del rendimiento.

Definiciones

El producto de los componentes de rendimiento es un concepto relativamente antiguo. Fue puesto en términos racionales por Grafius (1965). Son "componentes del rendimiento" el resultado de una descomposición matemática del rendimiento, donde éste resulta de la multiplicación acumulativa de una demografía de órganos por el peso del último. Así, en el caso del trigo, el rendimiento se descompone en el producto del peso de 1 grano (muchas veces expresado por el peso de 1000 granos) por el número

de granos por unidad muestral (m^2), esta segunda "componente" puede también descomponerse en el número de granos por espiga multiplicado por el número de espigas por unidad muestral, que a su vez puede descomponerse en el número de espigas por planta multiplicado por la densidad del cultivo (número de plantas por m^2).

No compartimos la definición de los autores para quienes los componentes del rendimiento son "los diversos caracteres de la planta que tienen una influencia directa o indirecta sobre la expresión del rendimiento ...", como el ancho de la hoja bandera.

Observaciones en Cochabamba

Bajo los anteriores criterios, durante la gestión 1991 en las localidades de San Benito, Tarata y La Tamborada del Departamento de Cochabamba, se establecieron ensayos con 2 densidades de siembra (50 y 100 Kg de semilla/ha) de la variedad Tarata-80 (Calle, 1992). Se observó que el número de espigas/ m^2 determina el rendimiento, siendo el peso de 1 grano y el tamaño de las espigas (número de granos por espiga) poco variables. Bajo las condiciones del Valle Alto, es de interés incrementar la densidad de espigas para obtener mayores rendimientos.

Los valores observados de densidades de los cultivos, en las condiciones de las tres localidades, están por debajo de 40 a 80% de los valores esperados en función de la cantidad de semillas sembradas. La profundidad a la que se deposita la semilla en siembra tradicional varía de 18 a 77 mm, siendo difícil estandarizar una profundidad de siembra uniforme y lograr una germinación homogénea.

Se observó un efecto de compensación en el nivel de la elaboración de los componen-

(1) Ing. Agr. Investigador I. Programa Trigo y Cereales Menores IBTA-CHUQUISACA. Casilla 478. Sucre.

(2) Agrónomo del ORSTOM, investigador.

tes, siendo así que bajas poblaciones de plantas se compensan con un mayor número de espigas (cuadro 1). El número de granos/m² depende del número de espigas/m² y varía en función del nivel de éste. El peso de mil semillas muestra una mayor estabilidad bajo las densidades de siembra, y es afectado por las condiciones prevalentes durante la fase de llenado de grano, siendo susceptible al estrés hídrico y al efecto de heladas en siembras tardías.

Observaciones en Chuquisaca

En zonas cerealeras de Chuquisaca (Yamparáez, Tarabuco, Lajas y Redención Pampa) en el período agrícola 1992/93, se hicieron seguimientos de la elaboración de los componentes del rendimiento bajo diferentes formas de labranza y distribución de semilla. Los resultados encontrados (IBTA, 1993) confirman lo reportado en el Valle Alto de Cochabamba.

Utilizando una misma cantidad de semilla (100 kg/ha), se encontró que se obtiene un mayor número de plantas/m² cuando se realiza una siembra mecánica, obteniéndose entre 180 y 290 plantas/m², siendo ostensiblemente superior a los que se logra con la siembra tradicional (al voleo) cuyos valores fluctúan entre 70 y 90 plantas/m². La mayor población en siembra mecánica se explica por la uniformidad en la profundidad de siembra y la poca pérdida de humedad al momento de la siembra. Los agricultores siembran con menos cantidad de semilla.

Se observó de 280 a 340 espigas/m² en el sistema mecanizado, y de 125 a 240 espigas/m² en la siembra tradicional. Sin embargo cabe señalar que las bajas poblaciones de plantas se compensan al nivel de densidades de espigas, debido a que la poca competencia permite que éstas macollen más.

Las condiciones prevalentes post-floración, especialmente lo respecto a la disponibilidad hídrica, determinan el peso del grano. Para las localidades de Tarabuco y Yamparáez el valor del peso de mil semillas estuvo alrededor de 43 g, no siendo diferentes entre los sistemas de labranza. Cabe notar en cambio que, para la localidad de Lajas, hubo un fuerte descenso del peso de mil granos, siendo este de 30 g en promedio para los diferentes tratamientos. Este descenso se explica por un largo período de falta de precipitación después de la floración

(50 días). Si se toma en cuenta que se contaba con una población densa de espigas, lo que suscitó una mayor competencia intra específica, el factor alimentación hídrica fue definitivamente limitante.

Conclusiones

La multiplicación de los respectivos componentes, que se forman cada uno en un período preciso del ciclo del cultivo, constituye una alternativa para el estudio del rendimiento.

Se puede poner en evidencia, a través de la historia de establecimiento de los componentes del rendimiento, la incidencia de las técnicas culturales sobre las diferentes etapas del ciclo. Es así que una variación del sistema de cultivo o del medio modificado por el experimentador ocasionará una variación sobre un componente de rendimiento y, consecuentemente, sobre el rendimiento.

De manera recíproca, en un afán de diagnóstico a partir de constataciones sobre variaciones del rendimiento, se busca el origen de éstas, tomando los componentes como reveladores de condiciones de crecimiento durante su fase de formación.

Este enfoque de investigación agronómica permite organizar la comparación entre parcelas, caracterizar en el tiempo los factores y condiciones que afectan al rendimiento, construir y disponer de referencias y modelos de elaboración del rendimiento.

En el caso de la producción triguera en los valles interandinos de Bolivia, los esfuerzos de la investigación agronómica tendrían que lograr una competencia entre espigas que limitará el tamaño de las espigas cuando la densidad de espigas está alta, y provocará una compensación al nivel del número de granos a llenar entre densidad de espigas y tamaño de espigas. Otros esfuerzos tendrían que dirigirse a la evaluación y a la disminución de los riesgos de sequía durante el llenado del grano, proceso que afecta el peso de 1 grano: estudios agroclimáticos, mejoramiento del enraizamiento, Aparentemente, las condiciones naturales de alimentación hídrica y de nutrición mineral son generalmente menos limitantes que las densidades de cultivo alcanzadas con las dosis sembradas y el manejo de siembra. Entonces la calidad de la siembra parece ser un tema de extensión técnica a promover y reforzar.

BIBLIOGRAFIA

CALLE C.C. 1992. *Componentes de rendimiento y elaboración del rendimiento en el cultivo de trigo cv Tarata-80 y cebada cv San Benito-80*. Tesis Ing. Agr. FCAP UMSS, Cochabamba, Bolivia, 106 p.

GRAFIUS J.E. 1965. *A geometry of plant breeding*. Michigan State University, Agr. Exp. St. Res. Bul., 59p.

IBTA 1993. *Programa Trigo y Cereales Menores. Informe Técnico anual gestión 1992/93*. E.E.A. San Benito, Cochabamba, Bolivia, 161p.

SEBILLOTTE M. 1987. *Interés de la agrofisiología para el razonamiento de los itinerarios técnicos en función de los objetivos de rendimiento*. Traducido del francés por A. Barragan y T. Duchenne. INRA. 29 p.

Cuadro 1. Valores medios de los componentes del rendimiento en diferentes localidades para el cultivo de trigo cv. Tarata -80.

LOCALIDAD	50 KG/HA					100 KG/HA				
	NPM2	NEM2	NGM2	PIOG	RDMT	NPM2	NEM2	NGM2	P10G	RDMT
X	66	244	6122	36.5	228	81	268	6083	38.1	235
Sn. Benito 1	(14)	(18)	(18)	(18)	(18)	(14)	(14)	(14)	(14)	(14)
s	21	84	2106	6.4	93	14	83	2184	4.3	90
x	87	331	6591	15	98	128	371	7881	16.0	120
Sn. Benito 2	(12)	(8)	(8)	(8)	(8)	(12)	(8)	(8)	(8)	(8)
s	14	92	1727	3.2	25.2	20	73	1986	4.1	20.5
x	80	228	5863	30.6	179	138	297	5881	31.0	220
Tarata	(12)	(6)	(6)	(6)	(6)	(12)	(6)	(6)	(6)	(5)
s	9	57	1624	2.6	56.4	32	95	2511	3.7	28.6
x	76	240	6539	33.9	223	86	253	7358	34	256
Tamborada	(18)	(6)	(6)	(6)	(6)	(18)	(6)	(6)	(6)	(6)
s	36	57	1648	1.9	64.2	33	79	2553	3.5	110

Los valores entre paréntesis representan el número de observaciones.

x = promedio; S = desviación estandar

NPM2 = número de plantas por metro cuadrado

MEM2 = número de espigas por metro cuadrado

P10G = peso de mil granos (g)

RDMT = rendimiento (g/m²)

FASE O ESTADO	Emergencia	Macollaje	Floración	Llenado de grano
---------------	------------	-----------	-----------	------------------

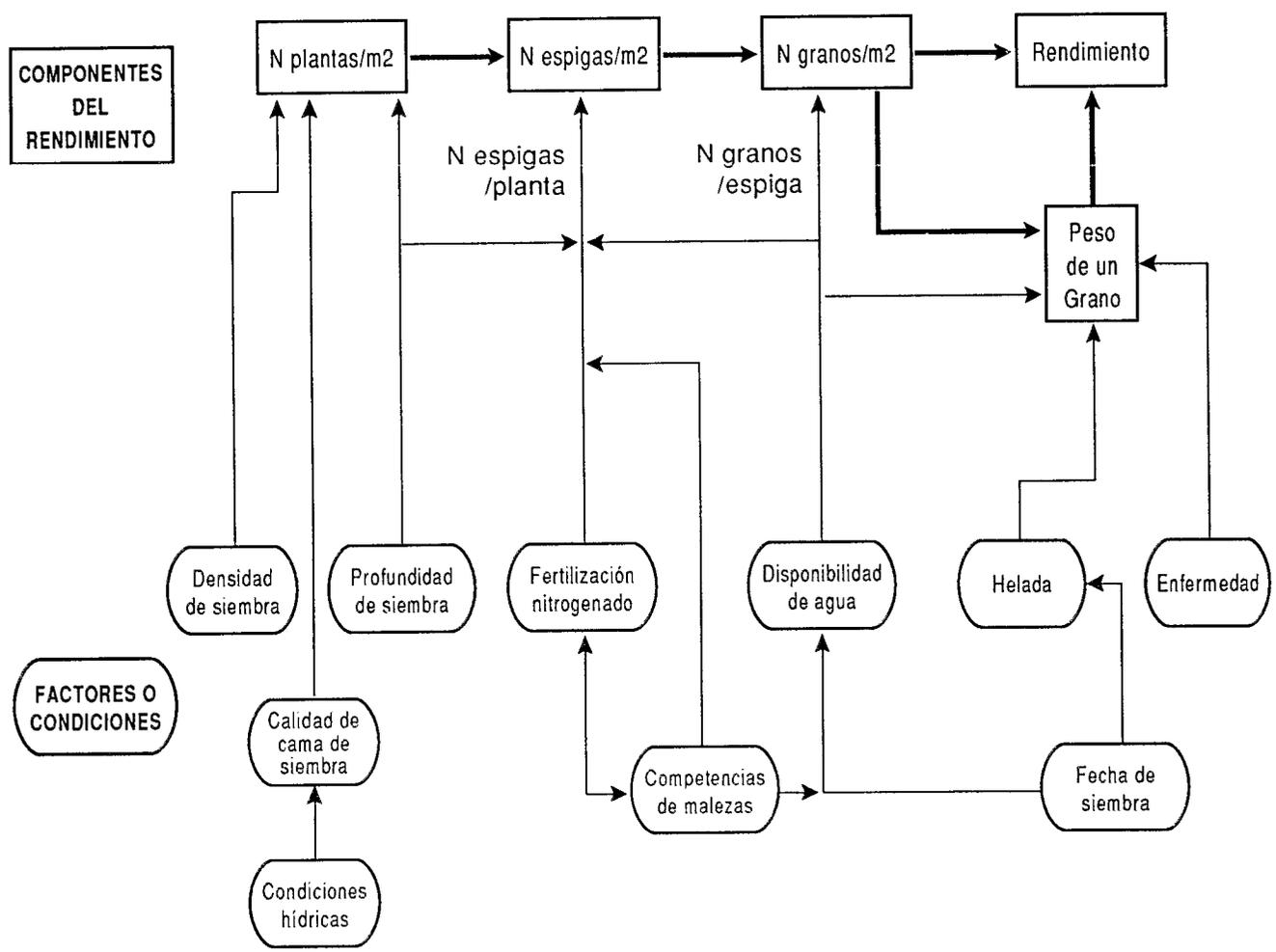


Figura 1: Esquema simplificado de la elaboración del rendimiento del trigo.

CONTROL DE *Spergula arvensis* L. EN CULTIVO DE TRIGO (1)

Fortunato TERRAZAS (2)
Nicolas GERMAIN (3)

INTRODUCCION

El cultivo de trigo, en el departamento de Cochabamba, constituye uno de los rubros más importantes para la economía del agricultor y su seguridad alimentaria, principalmente en las regiones altas, donde las características climáticas y edáficas son favorables para el desarrollo de este cereal. Sin embargo, en los últimos años se ha confrontado un problema de real importancia, cual es la invasión progresiva de la maleza "esparcilla" (*Spergula arvensis* L.). Su alta producción de semilla le ha permitido difundirse en pocos años a las zonas altas de las provincias de Carrasco, Tiraque, Arani y Chapare, ocasionando considerable reducción en el rendimiento de los cultivos, principalmente en cereales (IBTA, 1992). Por otra parte, tomando en cuenta que estas zonas son también productoras de papa, la presencia de *Spergula arvensis* L. representa un doble riesgo por ser hospedero de nemátodos (Gen. *Nacobbus*).

Spergula arvensis es una especie anual de hoja angosta, dicotiledónea, pertenece a la familia Caryophyllaceae; es muy agresiva en clima frío y suelos sueltos, produce gran cantidad de semilla. Según Gottfried (1978), *Spergula arvensis* desarrolla entre 15 y 60 cm de longitud, produce entre 5 y 25 semillas por fruto y de 1.000 a 10.000 semillas por planta.

Se pretende conocer más a cerca de la ecología de la especie y buscar formas de control que satisfagan las expectativas de los agricultores. Terrazas (1993) proporciona mayores informaciones referente al tema.

MATERIALES Y METODOS

La investigación se hizo en la gestión agrícola 1992/1993 y comprende un ensayo de herbicidas realizado en la localidad de Qollpana, sección Pocona, provincia Carrasco del departamento de Cochabamba. La zona está ubicada a una altitud aproximada de 3100 m.s.n.m., los suelos son de textura franca, una temperatura media de 8.3 °C y una precipitación media de 880 mm. Por otro lado, con el propósito de conocer el comportamiento de esta maleza, el área de influencia y su incidencia en la producción agropecuaria, se hicieron encuestas, pruebas y observaciones en algunas localidades, como ser: Colomi, Tiraque, Lope Mendoza y otras.

En el ensayo de herbicidas se evaluó 3 tratamientos de Metribuzín, 4 tratamientos de Bentazón y una mezcla de 2,4-D con Bentazón; éstos fueron comparados con un testigo absoluto.

Siendo *Spergula arvensis* presente en altas densidades se evaluó su densidad en cuadros de 10 cm de lado. En cambio, las características de crecimiento del cultivo fueron evaluadas en áreas de 2 m².

En las encuestas se recogió información de agricultores en relación a la importancia de esta maleza entre otras especies, su grado de infestación, el área de dispersión, conocimiento de su valor forrajero, su grado de incidencia en la producción agrícola y las formas de control que practican.

Por otro lado, se hicieron algunas pruebas y observaciones en relación a la influencia de los factores edáficos y climáticos sobre el comportamiento de la especie.

RESULTADOS

Spergula arvensis se presentó en un rango de densidad de 15.000 a 30.500 plan-

(1) Trabajo realizado con la cooperación del Instituto de Educación para el Desarrollo Rural (INEDER), y con el apoyo del estimado Ing. Jaime Rocha.

(2) Ing. Agr. Facultad de Ciencias Agrícolas UMSS Cochabamba

(3) Agrónomo de ORSTOM, investigador.

tas/m². Los resultados del ensayo de herbicidas demuestran que los productos utilizados controlan la maleza eficientemente, como se puede observar en el cuadro 1, siendo la única limitante para su uso la falta de conocimiento por parte del agricultor de una metodología de aplicación, principalmente en lo referente a Metribuzín.

De manera simplificada, los rendimientos con control de *Spergula arvensis* superan tres veces a los sin control (cuadro 1). A nivel de los componentes del rendimiento no hay diferencia significativa entre tratamientos para el número de plantas por m²; el número de espigas por planta y el número de granos por espiga son ambos superiores en un rango de 1.5 en el caso del control de la maleza referente al sin control; el peso de 1000 granos no registra variaciones significativas, siendo el caso sin control el más débil cuando se esperaba el más alto por efecto del número de granos bajo a llenar.

Mediante el análisis económico se identificó como económicamente favorables a los tratamientos 576 g de Bentazón/ha y 168 g de Metribuzín/ha (dosis bajas en ambos casos), estos tratamientos dieron una tasa de retorno marginal superior al 400%.

En relación al empleo de metribuzín (Sencor) cabe mencionar que se probó dosis aún más bajas a lo utilizado en el ensayo, resultando ser eficientes en el control de la maleza desde 90 g de ingrediente activo/ha en aplicación pre o pos-emergente en el estado inicial de desarrollo.

A través de las encuestas se determinó que *Spergula arvensis* se halla difundido con diferentes grados de infestación y continúa en proceso de difusión en aquellas áreas de clima frío, que comprende la parte alta de las provincias Carrasco, Tiraque, Arani y Chapare. Los agricultores entrevistados, en un 95%, coinciden en indicar a esta maleza como la más importante entre otras especies y no conocen una forma de control eficiente. En algunos casos tratan de controlar mediante la preparación de suelo y eventualmente en forma manual. También indican que esta especie es apetecida por el ganado vacuno y ovino.

Como resultado de las pruebas y observaciones se tiene que *Spergula arvensis* se comporta muy agresiva en suelos livianos con buena humedad y fertilidad, con pH ácido (en-

tre 4 y 6 aproximadamente). El crecimiento puede alcanzar hasta 75 cm de longitud, produce entre 1.000 y 30.000 frutos por planta, hasta 45 semillas por fruto, cerca al millón de semillas por planta. Se provoca mayor porcentaje de germinación con un desterronado fino en la preparación de suelo, como se aprecia en el cuadro 2.

Por otra parte, la maleza *Spergula arvensis* posee buenas cualidades forrajeras como demuestra el análisis de su composición (cuadro 3), además es apetecida por el ganado.

CONCLUSIONES

Con miras a bajar la incidencia de la maleza, un desterronado fino y una posterior rasurada permiten disminuir la población de semillas de *Spergula arvensis*, pero aumentan los riesgos de erosión. El incremento de la densidad de siembra del cultivo permite también reducir la agresividad de ésta maleza. Estas prácticas complementadas con un control químico parecen ser alternativas factibles.

Las pérdidas de producción de grano por la competencia de esta maleza son muy significativas: en el presente ensayo oscila entre 61 y 75%, con un promedio de 70%. El macollaje útil y el tamaño de las espigas están afectados.

Si bien se puede reducir la densidad de la maleza mediante un control integrado, su erradicación completa es imposible porque el control nunca es al 100%, la viabilidad de las semillas es prolongada, el potencial de producción semillera es muy alto y la contaminación eventual por los alrededores es permanente. Entonces, el problema ligado a la presencia de *Nacobbus* sp. tendrá que resolverse por otros medios, como la adopción de variedades de papa tolerantes a ésta plaga. A muy largo plazo la disminución de la acidez de los suelos podría contribuir a la reducción de la agresividad de *Spergula arvensis*.

Por último, *Spergula arvensis* no es mala hierba, puede ser aprovechado eventualmente como alimento para el ganado en circunstancias en que no ha sido posible su control, puesto que posee un buen valor forrajero y también puede ser conservado en forma de heno.

BIBLIOGRAFIA

GOTTFRIED K.K. 1978. *Invasoras na cultura de soja. Manual Técnico*. BASF, Brasil, 88p.

IBTA. 1992. *Programa Nacional de Trigo y Cereales Menores - Informe técnico anual*,

1991-1992. Est. Exp. San Benito, Cochabamba, Bolivia, 98p.

TERRAZAS F. 1993. *Control de *Spergula arvensis* L. en cultivo de trigo en la comunidad de Qollpana (Prov. Carrasco)*. Tesis Ing. Agr. FCAP-UMSS. Cochabamba, Bolivia, 87p.

Cuadro 1: Promedios de las variables de respuesta a los tratamientos de herbicida.

TRAT.	CTRL. (%)	Pl/m ²	Esp/pl	Esp/m ²	Gran/esp	Gran/m ²	Peso 1000 g	Rdt (g/m ²)	Paja (g/m ²)	Indice cosecha
1 (168M)	96.00	91.25	1.41	129.25	22.82	3,000.49	26.42	78.50	117.50	0.40
2 (336M)	96.25	76.50	1.62	120.00	24.64	2,944.62	28.00	81.45	120.75	0.41
3 (504M)	97.00	78.75	1.73	134.38	25.34	3,412.17	29.13	98.10	138.25	0.41
4 (576B)	88.00	94.75	1.82	167.00	25.18	4,205.04	28.42	118.63	172.25	0.41
5 (720B)	92.50	104.88	1.54	158.75	24.84	3,845.56	27.80	107.20	158.75	0.41
6 (960B)	96.00	99.25	1.85	178.25	25.59	4,502.89	27.45	123.13	194.25	0.39
7 (1200B)	96.50	95.75	1.73	163.75	26.11	4,228.27	27.15	114.50	174.50	0.40
8 (MEZ)	95.50	93.75	1.45	135.50	25.37	4,324.63	27.27	92.88	143.50	0.40
9 (TES)	-	73.25	1.08	79.38	15.01	1,163.35	25.83	30.25	48.00	0.39
Prom.	94.72	89.79	1.58	140.69	23.88	3,414.11	27.50	93.85	140.86	0.40
RE. I		114.67	1.55	178.56	24.49	4,467.20	26.24	118.04	190.00	0.38
REP. I		106.11	1.48	154.61	22.17	3,469.46	27.59	95.32	146.33	0.40
REP. III		78.50	1.63	129.17	22.92	3,027.72	27.63	84.69	119.56	0.41
REP. IV		59.89	1.67	100.44	25.94	2,692.07	28.51	77.33	107.56	0.42

Los números entre paréntesis son las dosis de herbicida en g de i. a./ha; B = Bentazon; M = Metribuzin y MEZ = Mezcla.

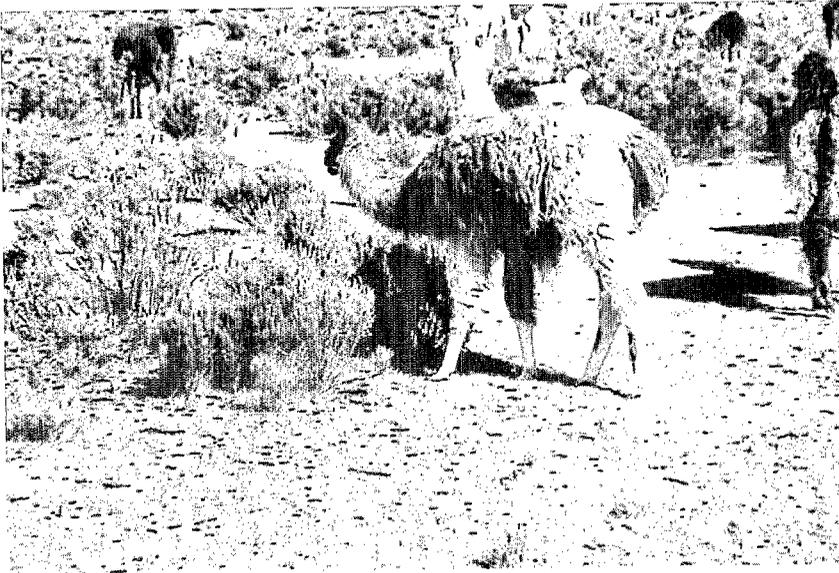
Cuadro 2: Efecto del desterronado del terreno en la densidad de brotación de *Spergula arvensis*.

Desterronado fino (menor a 4 cm de diámetro)	9200 pl/m ²
Desterronado medio (4 a 8 cm de diámetro).....	4600 pl/m ²
Desterronado grueso (mayor a 8 cm de diámetro).....	2500 pl/m ²

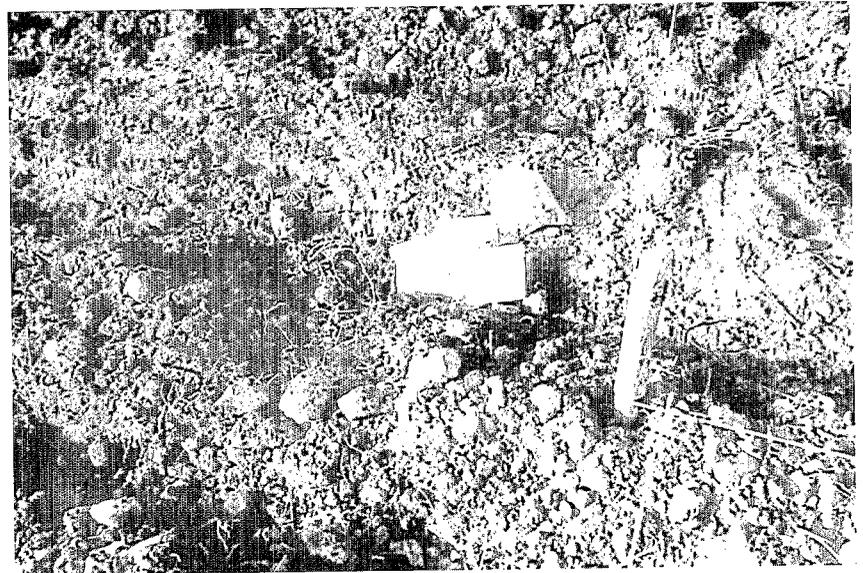
Cuadro 3: Análisis proximal químico de *Spergula arvensis* comparada con otras especies.

ESPECIE	M.S. (%)	Prot. (%)	Extr. Et. (%)	Ceniza (%)	Fibra Cr. (%)	Extr. no Nitr. (%)
<i>Spergula</i> (heno)	96.4	13.2	1.6	9.0	24.6	48.0
Alfalfa (heno)	88.1	17.4	1.3	10.1	21.3	38.0
Avena (heno)	90.5	8.1	1.1	9.6	22.8	48.9
Chala de maíz	88.2	2.9	-	6.2	33.0	46.1

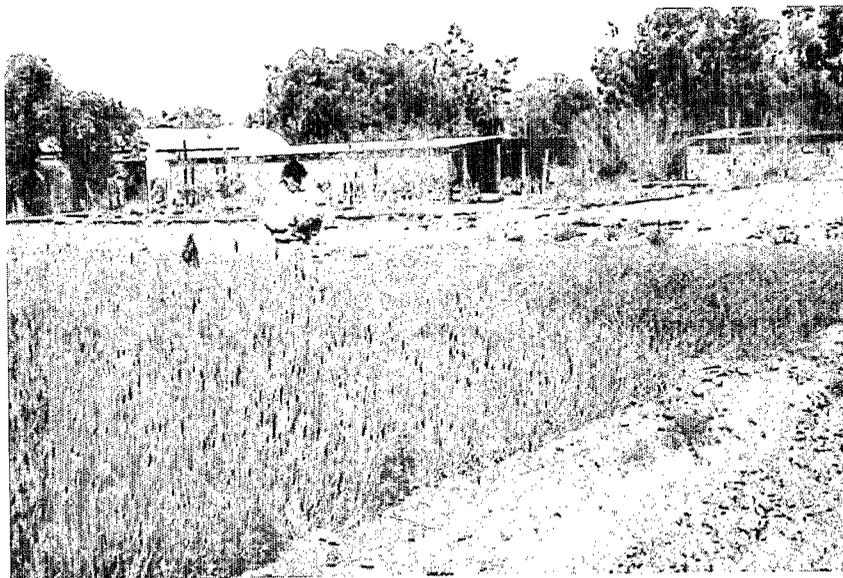
Fuente: Laboratorio de Nutrición Animal de la FCA y P.



Llamas pastoreando la "Pampa tholar", en la región de Turco.



Esquina de una parcela experimental antes de la siembra. En cada surco se dispone una bolsita con las semillas a sembrar.



Estudiante realizando el mapeo de "sus" parcelas experimentales. Semanalmente anota el estado de crecimiento del cultivo, y las variaciones dentro de la parcela.

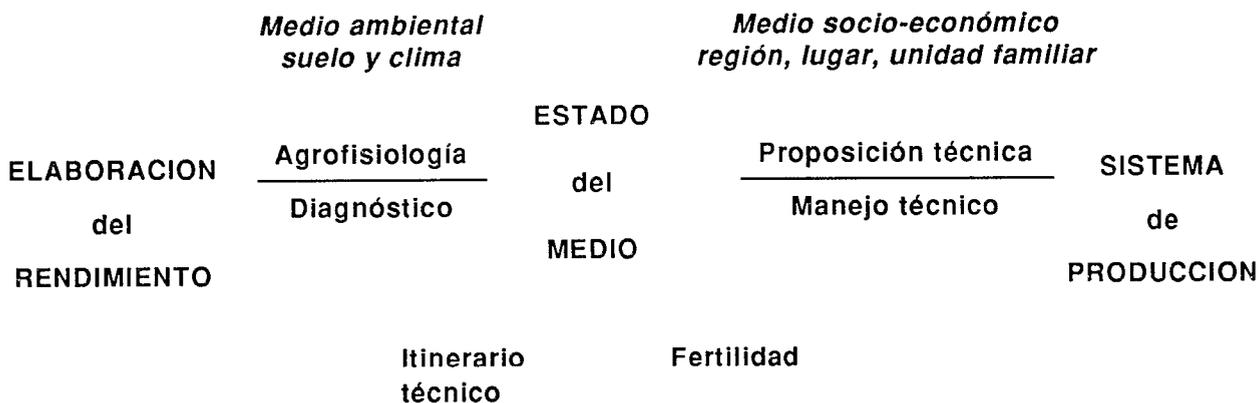
Fotos de la Portada:

1	3
2	4

- 1 Muestreo de raíces a varias profundidades, en el estudio de un eventual efecto de un biostimulante en el crecimiento radicular de un maíz forrajero.
- 2 Cosecha de un ensayo de fertilización N y P, con un maíz Hualtaco, en situación campesina cerca de la localidad de Cliza.
- 3 Ovinos en un corral a proximidad de la casa familiar, en la espera de la salida diaria al pastoreo (región de Turco).
- 4 Efecto (planta de la derecha) de una asfixia temporal del suelo por riego temprano en el crecimiento radicular de un maíz Hualtaco.

Foto a continuación: Siembra de maíz, cerca de la localidad de Cliza. El barbecho, realizado por una arada y una removida con rotavador, permite mantener, de abril a septiembre, en las capas del suelo a más de 20 cm de profundidad, la humedad necesaria a la germinación del maíz sembrado a la profundidad mencionada, y al desarrollo y crecimiento durante los dos a tres meses siguientes.





El sistema de cultivo, un cruce de enfoques científicos

*Competencias
interespecífica, intraespecífica*

*Plagas
y enfermedades*

*Peso
de 1 órgano*

PLANTA

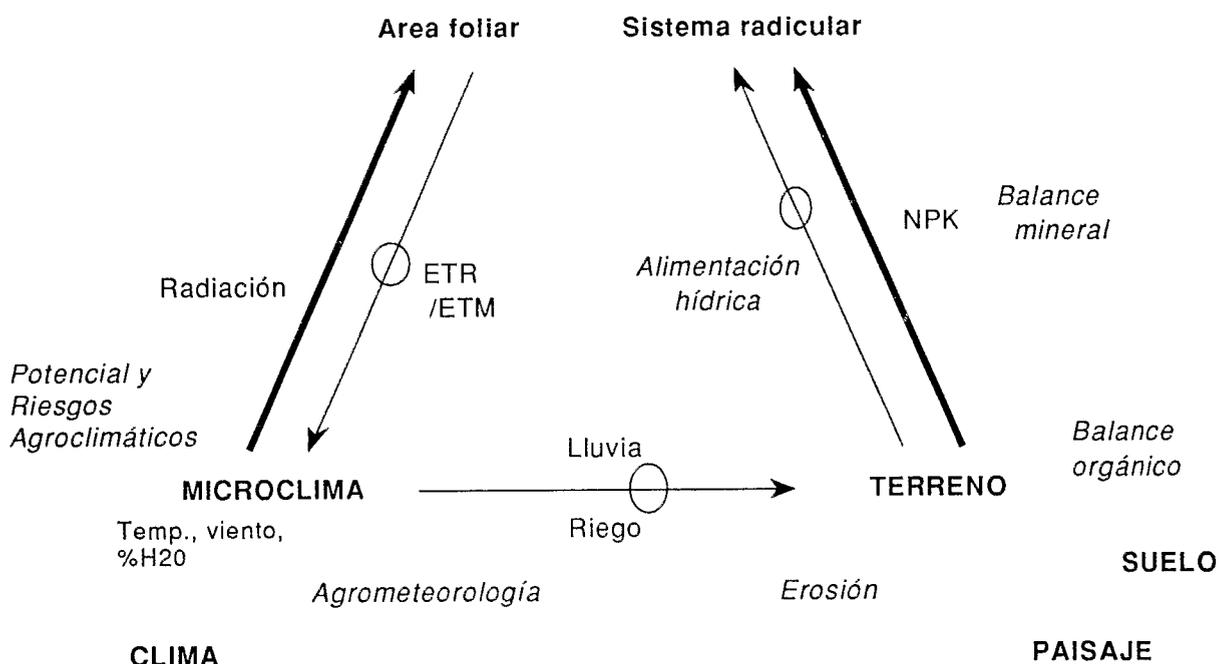
**Organos
de reserva**

CULTIVO

Número

Potencial genético

*Desarrollo
y
Crecimiento*



El estado del medio, un conjunto a manejar