

26221

MANEJO DE LA ACIDEZ Y ENCALAMIENTO DE LOS SUELOS

Jorge Ortega

Introducción

Extensas áreas con suelos ácidos e infértiles en América tropical han comenzado a desempeñar un papel muy importante en la producción de alimentos.

En las regiones templadas del norte del mundo, las limitaciones impuestas por la acidez del suelo se eliminan, en parte, mediante el encalamiento para aumentar el pH del suelo hasta llevarlo a un valor casi neutro; sin embargo, esta estrategia no es aplicable a la mayoría de las regiones de oxisoles-ultisoles e inceptisoles derivados de cenizas volcánicas, debido a la distinta naturaleza química de los minerales de las arcillas de baja actividad, lo cual resulta con frecuencia en reducciones del rendimiento si dichos suelos se encalan hasta su neutralidad (Kamprath, 1971).

Por otra parte, los costos del transporte de la cal son con frecuencia altos en muchas áreas del trópico latinoamericano. De todas maneras, las principales limitaciones impuestas por la acidez del suelo, toxicidad de Al y Mn y deficiencia de P, Ca, Mg, se deben superar para lograr una agricultura exitosa en estas regiones que cubren un 70% con suelos infértiles en la América tropical.

Origen de la acidez del suelo

La acidez del suelo generalmente se origina por la acción integrada de los factores de formación del suelo, pero puede ser agravada por la percolación continua del agua a través de éste, por el uso prolongado de algunos fertilizantes que dejan residuo ácido, por la descomposición de la materia orgánica y mineral o debido a ciertas reacciones entre el suelo y las raíces de la planta (Kamprath, 1977).

La acidez del suelo se identifica con bajo pH (< 5.5.), altas concentraciones de aluminio y/o $Al^{+++} + Mn^{++}$ y deficiencias de elementos esenciales. El aluminio es el catión predominante en el complejo de intercambio en estos suelos y frecuentemente un factor limitante del crecimiento de muchas especies de plantas (Adams y Lund, 1966).

Estrategias

Para atenuar las limitaciones impuestas por la acidez del suelo sin hacer aplicaciones masivas de cal, se proponen algunas estrategias:

1. Cal para reducir la saturación de aluminio por debajo de los niveles tóxicos para sistemas agrícolas específicos;
2. cal para suministrar Ca y Mg y para estimular su movimiento en el subsuelo;
3. uso de especies y variedades tolerantes a las toxicidades de Al y Mn.

A. Cal para disminuir la saturación de aluminio

Hay tres consideraciones básicas que se deben tener en cuenta al adicionar cal para disminuir la saturación del aluminio: la determinación de la cantidad de cal que se debe adicionar si es que es necesario, la calidad de la cal que se debe utilizar y la promoción del efecto residual mas prolongado.

1. Determinación de la dosis de cal

El diagnóstico de la toxicidad de aluminio en suelos ácidos de América tropical se ha basado en el aluminio intercambiable extraído con KCl 1 N, desde la década de los sesenta (Mohr, 1960; Cate, 1965; Kamprath, 1970 y Salinas, 1978). La recomendación para el encalamiento se deriva comúnmente de las siguientes fórmulas en la que el requerimiento de cal se expresa ya en miliequivalentes de calcio o toneladas de CaCO₃ equivalentes por hectárea:

$$\text{meq Ca/100 g de suelo} = 1.5 \times \text{meq Al Inter./100 g}$$

$$\text{ton Ca CO}_3 \text{ - eq/ha} = 1.65 \times \text{meq Al Inter./100 g}$$

Los muy bajos niveles de bases intercambiables comunes a estos suelos se deben tener en cuenta junto con las cantidades de aluminio intercambiable presentes (Olmos y Camargo, 1976; Freitas and Silveira, 1977). El porcentaje de saturación de aluminio ($\text{Al Inter.} / (\text{Ca} + \text{Mg} + \text{K} + \text{Al Inter.}) \times 100$) expresa en forma correcta estas relaciones. López y Cox (1977) indican que, en la mayoría de los casos, el porcentaje de saturación de aluminio se debe considerar primero, puesto que los suelos que presentan el mismo nivel de aluminio, presentarían diferentes respuestas al encalamiento en las mismas dosis de cal. Además, Evans y Kamprath (1971) y otros investigadores, incluyendo Spain (1976) han indicado que para muchos cultivos, los requerimientos de cal basados exclusivamente en aluminio intercambiable puede sobreestimar las dosis de cal debido a diferentes grados de tolerancia de las plantas al aluminio.

Desde el trabajo pionero adelantado por Menezes y Araújo en Brasil hace 30 años (Coimbra, 1963) de encalar un suelo ácido de América tropical, hasta un experimento reciente establecido hace ocho años también en Brasil (González et al., 1979), el enfoque común ha sido el de encalar el suelo para lograr una respuesta óptima del cultivo. Este criterio se puede interpretar como el cambiar el suelo para satisfacer la demanda de la planta. Este enfoque es difícil de aplicar en muchas áreas de América tropical debido a limitaciones de índole económica. También se debe anotar que Kamprath (1971) indicó que el encalamiento excesivo puede tener un efecto en detrimento del crecimiento de las plantas, como por ejemplo, una deficiencia de zinc inducida por la cal en yuca (Spain, 1976). Por consiguiente, es importante determinar la fórmula más apropiada para convertir el Al intercambiable a la cantidad de cal para sistemas específicos de suelo-cultivos. Cochrane et al., (1980) desarrollaron una fórmula para determinar la cantidad de cal que se necesita para disminuir el nivel de saturación de aluminio de la capa superior del suelo al rango deseado:

Cal requerida (ton CaC₃ - eq/ha) = 1.8 (Al - RAS (Al + Ca + Mg)/100,

donde RAS es el porcentaje crítico de saturación de aluminio requerido por un cultivo, una variedad o un sistema agrícola determinado para superar la toxicidad del aluminio y Al, Ca y Mg son los niveles intercambiables de estos cationes expresados en meq/100 g. Al compararla con datos reales de campo, la capacidad de predicción de esta ecuación es excelente (Cochrane et al, 1980).

Una ventaja adicional es que no se requiere un análisis de suelo exhaustivo sino solamente la extracción de aluminio, calcio y magnesio con KCl 1 N e información sobre la tolerancia de los cultivos al aluminio en términos del porcentaje de saturación de Al. La adopción de dicha fórmula podría conducir a una utilización más efectiva de la cal y ahorros considerables en las cantidades aplicadas como también en los costos.

2. Utilización de materiales de calidad para el encalamiento

Además de la forma para determinar las cantidades de cal que se deben aplicar, es importante considerar la calidad del material para el encalamiento. Desafortunadamente, en las regiones de Oxisoles Ultisoles de América tropical, por lo general es poca la atención que se le presta al tamaño de las partículas y composición química de la cal, excepto si es calcítica o dolomítica (López, 1975). Es necesario fomentar estudios de caracterización de depósitos locales de cal tales como los realizados por Guimarães y Santos (1968) para el estado de Pará en la Amazonía brasileña. El material ideal para encalamiento se debe encontrar en la forma carbonatada y el 100% debe pasar por un tamiz 10 y el 50% por un tamiz 100. Las fuentes de Ca CO₃ gruesas rara vez producen las respuestas deseadas en rendimiento del primer cultivo debido a que reaccionan lentamente. Con el fin de compensar esto, los agricultores con frecuencia aplican dosis más altas que las recomendadas, lo cual puede causar problemas por sobreencalamiento en cultivos posteriores (Camargo et al. 1962; Jones y Freitas, 1970).

En parte del Amazonas, la mayoría de las fuentes de cal se explotan para fines de construcción y se produce cal hidratada, Ca(OH)₂. Este material es extremadamente reactivo y sus efectos residuales son muy cortos (NCSU, 1975, 1976).

La alternativa para una mejor utilización de esta cal hidratada es utilizar dosis de aplicación más pequeñas y más frecuentes (Wade, 1978). Una mejor alternativa es solicitarle a los productores de cal que muelan la caliza al tamaño apropiado y mantenerla así en la forma carbonatada.

Como el magnesio es particularmente limitante en Oxisoles y Ultisoles, se prefieren las fuentes de cal dolomítica. Una relación Ca: Mg de 10:1 en el material para encalamiento generalmente se considera adecuada, aunque existe muy poca evidencia que sostenga esta aseveración.

3. Efectos residuales de cal

Generalmente se espera que los efectos benéficos del encalamiento de suelos ácidos duren varios años. Sin embargo, los efectos residuales por lo general duran menos en las regiones tropicales que en las templadas debido a la mayor precipitación y a las temperaturas más altas (Lathwell, 1979). La estimación de los efectos residuales del encalamiento de suelos ácidos es un factor primordial de manejo de los suelos en las regiones húmedas de bosques tropicales y ústicas de sabanas. La duración del efecto residual también dependerá del ecosistema. En general, los suelos ácidos en los bosques húmedos tropicales presentarán efectos residuales más cortos que las regiones de sabana debido a la liberación más rápida del aluminio de los complejos de materia orgánica y a la mayor remoción de bases por las plantas en sistemas anuales de producción de cultivos y quizás a mayores pérdidas por lixiviación en los bosques húmedos (Villachica, 1978).

El Cuadro 1 resume los resultados de los efectos residuales de un experimento de encalamiento a largo plazo realizado en Brasil después de siete cultivos consecutivos (cinco de maíz, uno de sorgo y uno de soya). Después de 6.5 años, el pH del suelo disminuyó en todas las dosis de cal probablemente debido a la acidez residual por los fertilizantes nitrogenados. El nivel de aluminio intercambiable aumentó con el tiempo y los niveles de calcio y magnesio intercambiables disminuyeron. Los niveles de saturación de aluminio aumentaron en aproximadamente un 20% de los valores iniciales para las dosis de 0, 1 y 2 ton/ha. Los rendimientos de grano indicaron un excelente efecto residual, aún obteniéndose más del 80% del rendimiento máximo de soya en el séptimo cultivo sucesivo con la dosis de cal de 1 ton/ha. Este resultado probablemente se asocia con la tolerancia al aluminio relativamente alta de la variedad de soya utilizada.

B. La cal como fertilizante de calcio y magnesio

El énfasis tradicional en la fertilización con NPK en América tropical (con la adición reciente del azufre) ha distraído la atención de las difundidas deficiencias de calcio y magnesio en las regiones de Oxisoles-Ultisoles. En sistemas de altos insumos, las fuentes tradicionales de fertilizantes tales como superfosfato simple y cal dolomítica, frecuentemente satisfacen los requerimientos nutricionales de las plantas en lo que respecta a los tres elementos secundarios. En sistemas de bajos insumos con plantas tolerantes a altos niveles de saturación de aluminio y bajos niveles de fósforo aprovechable cultivadas en suelos con baja capacidad efectiva de intercambio catiónico (CEIC), la correlación de las deficiencias de calcio y magnesio requiere atención directa.

1. Disponibilidad de calcio y magnesio

Los principales factores que afectan la disponibilidad de calcio y magnesio en Oxisoles y Ultisoles incluyen el nivel de estos nutrimentos en la forma intercambiable, la CEIC, los niveles de

Cuadro 1. Efectos residuales de las aplicaciones de cal a un Oxisol de Brasilia en términos de cambios en las propiedades químicas de la capa arable y rendimientos relativos en grano a 6 y 66 meses después del encalado.

Cal aplicada en 1972	pH		Al		Ca + Mg		Al		Rendimientos relativos en grano	
	6*	66*	Intercambiable		Intercambiable		Saturación		6*	66*
ton/ha	1:1 H ₂ O		-----meq/100		g-----		----- % -----			
0	4.7	3.9	1.1	1.5	0.6	0.3	63	80	53	50
1	5.0	4.2	0.9	1.1	1.1	0.6	45	61	85	93
2	5.1	4.3	0.5	1.0	1.5	1.0	25	46	88	88
4	5.6	4.8	0.2	0.4	3.1	2.1	6	15	100	89
8	6.3	5.2	0.0	0.1	4.4	4.0	2	2	93	100

Recopilado de: NCSU (1974; González (1976); González, *et al.* (1979); CPAC, 1979; Miranda, *et al.* 1980).

*

Meses después del encalado. Los rendimientos se refieren al primer cultivo (maíz) y al séptimo cultivo (soya). Rendimientos máximos fueron 4.0 y 2.1 ton/ha, respectivamente.

aluminio intercambiable, la textura del suelo y la mineralogía de las arcillas (Kamprath y Foy, 1971).

Los niveles de calcio y magnesio intercambiables en Oxisoles y Ultisoles generalmente son muy bajos. El rango encontrado en sabanas de Brasil, Colombia y Venezuela es del orden de 0.1-0.7 meq Ca/100 g y 0.06-0.4 me Mg/100 g en la capa superior del suelo (López y Cox, 1977; Salinas, 1980; C. Sánchez, 1977). Los niveles de calcio y magnesio en el subsuelo generalmente son menores y a veces no son detectables en subsuelos de Oxisoles (Ritchey *et al.*, 1980).

Los niveles de calcio y magnesio intercambiables en Oxisoles y Ultisoles de bosques húmedos son relativamente mayores, especialmente en la capa superior del suelo.

Las bajas CEIC de la mayoría de los Oxisoles y Ultisoles proporcionan algunas ventajas y desventajas para el suministro de calcio y magnesio. La primera desventaja es la rápida lixiviación durante períodos de lluvias intensas. Durante dichos períodos pueden ocurrir condiciones anaeróbicas temporales que inhiben la absorción de calcio y magnesio por las raíces. Durante la estación seca, la sequía puede acentuar las deficiencias de calcio y magnesio.

La concentración de estos elementos en muestras de tejido de *Melinis multiflora* y especies nativas de sabana disminuyó significativamente durante la estación seca en Carimagua (Lebdoesoekojo, 1977). Las plantas se enfrentan, por lo tanto, a una situación difícil: probablemente hay una disponibilidad adecuada de calcio y magnesio durante parte de la estación lluviosa; durante períodos de intensa lluvia ocurren pérdidas rápidas por lixiviación; y durante la estación seca hay una baja disponibilidad de ambos nutrimentos debido a la sequía (Gualdrón y Spain, 1980). Sin embargo, tanto las plantas nativas como las introducidas en sabanas de Oxisoles parecen exhibir un mejor comportamiento en lo que respecta al calcio y al magnesio lo que se puede inferir de los bajos niveles en el suelo y las relaciones adversas dependientes de la humedad. Rodríguez (1975) indicó que algunas especies pueden presentar mecanismos más eficientes de absorción de calcio y magnesio que los que actualmente se conocen.

El aluminio compite con el calcio en la solución del suelo por sitios de intercambio. Por consiguiente, la toxicidad de aluminio se puede disminuir mediante adiciones de calcio (Millaway, 1979). La reducción en el desarrollo radical en condiciones de altas concentraciones de aluminio podría deberse a la deficiencia de calcio, la cual obstaculiza el desarrollo de raíces primarias (Zandstra, 1971).

En general, los suelos dominados por arcillas 1:1 requieren un menor nivel de saturación de bases para una disponibilidad adecuada de calcio y magnesio para las plantas que los suelos dominados por arcillas 2:1 (Kirby, 1979).

Esta es una ventaja de los Oxisoles y Ultisoles debido a la predominancia en ellos de arcillas 1:1.

2. Requerimientos de fertilizantes

Es escasa la información que existe sobre la dosis de aplicación de cal para satisfacer los requerimientos de fertilización con calcio y magnesio. El Cuadro 2 resume las experiencias obtenidas en Oxisoles de los Llanos Orientales de Colombia con niveles de 0.1 0.4 meq/100 g de ambos elementos.

En algunos casos, la respuesta a 0.5 ton/ha de cal dolomítica se debe al magnesio. Spain (1979) presentó un informe al respecto para la fase de establecimiento y mantenimiento de dos leguminosas forrajeras, *Desmodium ovalifolium* y *Pueraria phaseoloides*, en Carimagua, Colombia. En un experimento a largo plazo realizado en Brasilia, Brasil, una respuesta directa al magnesio también respondió por la mayor parte de la respuesta a la cal por un primer cultivo de maíz (NCSU, 1974). En Ultisoles de bosques húmedos en Yurimaguas, Perú, en donde no hay disponible cal dolomítica, Villachica (1978) recomendó dosis de aplicación de magnesio del orden de 30 kg Mg/ha/ cultivo para superar las deficiencias de magnesio y prevenir los desbalances de K/Mg. Estudios realizados recientemente muestran que las gramíneas tropicales difieren en sus requerimientos del calcio (CIAT, 1981).

3. Movimiento descendente del calcio y magnesio

No importando el fin por el cual se aplique cal (ya sea para disminuir la saturación de aluminio o para suministrar calcio y magnesio, o ambos), sus efectos benéficos ocurren principalmente a la profundidad a la cual se incorpore, puesto que la cal no se mueve en los suelos en forma considerable. El subsuelo de la mayoría de los Oxisoles y Ultisoles es por lo general ácido y con frecuencia presenta una barrera química para el desarrollo radical, ya sea debido a la toxicidad causada por el aluminio, a una deficiencia extrema de calcio o a ambas causas.

Es común observar raíces de cultivos anuales confinadas casi exclusivamente a la capa arable encajada, con poca penetración hacia el subsuelo ácido en los Oxisoles de sabana (González, 1976; Bandy, 1976) y Ultisoles de bosques húmedos (Bandy, 1977; Valverde y Bandy, 1981). Dichas plantas sufren por deficiencia de agua cuando ocurren períodos de sequía a pesar de tener suficiente humedad del suelo almacenada en el subsuelo. Ocurren pérdidas grandes en rendimiento cuando hay sequías "temporales en etapas críticas del crecimiento durante la estación lluviosa en regiones de Oxisoles (Wolf, 1977).

Un objetivo primordial de la tecnología de bajos insumos es la de estimular el desarrollo radical hacia dichos subsuelos ácidos como una alternativa para los sistemas de riego suplementario mucho más costosos. Se han diseñado tres estrategias para superar este problema: 1) aplicaciones profundas de cal en Oxisoles, 2) estímulo al movimiento descendente de calcio y magnesio y 3) el uso de cultivares y especies tolerantes.

Cuadro 2. Requerimientos estimados de cal para cultivos y pasturas importantes para los Oxisoles bien drenados de los Llanos Orientales de Colombia.

Especie	Dosis de Cal	Fuente
<u>Cultivos:</u>	ton/ha	
Arroz (estatura alta)	0.25 - 0.5	2
Yuca	0.25 - 0.5	5
Mango	0.25 - 0.5	5
Marañón	0.25 - 0.5	5
Cítricos	0.25 - 0.5	5
Piña	0.25 - 0.5	5
Cowpea	0.5 - 1.0	5
Banano	0.5 - 1.0	5
Maíz	1.0 - 2.0	5
Frijol negro	1.0 - 2.0	5
Tabaco	1.5 - 2.0	5
Maní	1.5 - 2.0	1
Arroz (estatura baja)	2.0 +	1
<u>Pasturas:</u>		
<u>Andropogon gayanus</u>	0.4	3
<u>Panicum maximum</u>	1.5	3
<u>Brachiaria decumbens</u>	1.1	
<u>Stylosanthes capitata</u>	0.5	3
<u>Zornia latifolia</u>	0.5	4
<u>Desmodium ovalifolium</u>	0.5	4
<u>Pueraria phaseoloides</u>	1.0	3
<u>Pennisetum purpureum</u>	2.6	3

Fuente: (1) Alvarado, sin fecha; (2) Calvo, et al. 1977;
 (3) Salinas and Delgadillo, 1980; (4) Spain, 1979;
 (5) Spain, et al., 1975.

A pesar de que la incorporación de las mismas dosis de cal a los primeros 30 cm de profundidad en vez de los primeros 15 cm no parece ser una tecnología de bajos insumos, de hecho ha aumentado los rendimientos de maíz en varias estaciones en un Oxisol cerca de Brasilia, Brasil (NCSU, 1984; Salinas, 1978; González et al., 1979). Esta práctica es factible en Oxisoles bien granulados que pueden ser labrados a una profundidad de 30 cm. sin mayores aumentos en el consumo de combustible de los tractores. En Ultisoles, con un cambio marcado en su textura dentro de los primeros 30 cm de profundidad, esta práctica no se puede recomendar puesto que puede crear problemas físicos severos en ese suelo (Sánchez, 1977). Esto indica que no solamente se deben considerar parámetros químicos del suelo al definir la práctica de encalamiento más apropiada, sino que también hay que tener en cuenta los parámetros físicos del suelo.

Una ventaja primordial de muchos suelos ácidos e infértiles es que sus propiedades físicas y químicas permiten el movimiento descendente de calcio y magnesio hacia las capas del subsuelo, disminuyendo de esta manera las limitaciones causadas por la acidez del suelo a mayor profundidad y aumentando el desarrollo radical. El movimiento descendente de calcio y magnesio aplicados en la forma de cal tiene poco significado práctico en otros suelos dominados por arcillas de alta actividad.

Como se mencionó con anterioridad, la cal no se mueve considerablemente en los suelos, pero el calcio y el magnesio intercambiables sí presentan un movimiento considerable en Oxisoles y Ultisoles de baja CICE acompañados por aniones tales como sulfatos o nitratos (Pearson, 1975; Ritchey et al., 1980). La primera evidencia de este fenómeno en América Latina tropical la registró Pearson et al., (1962) después de aplicar aproximadamente 800 kg N/ha/año en la forma de sulfato de amonio a pasturas de gramíneas fertilizadas intensivamente en Puerto Rico.

La posible presencia de grandes concentraciones de aniones acompañantes estimuló el movimiento rápido de cationes básicos hacia el subsuelo.

En los últimos tres años se han hecho observaciones similares en Oxisoles de las sabanas brasileras y colombianas en Ultisoles de la Amazonia peruana, pero a niveles mucho más bajos de cal y de fertilizantes (Salinas, 1978; NCSU, 1978; Villachica, 1978; Ritchey et al., 1980; Gualdrón y Spain, 1980).

C. Selección de variedades tolerantes al aluminio

El principal componente del manejo de la acidez del suelo es la selección de variedades productivas que sean tolerantes a la toxicidad del aluminio. Un procedimiento preferido para el efecto es la selección de un gran número de ecotipos ya sea en soluciones de cultivo, en el invernadero, en el campo o una combinación de los tres. Para lograrlo exitosamente, se requiere de la colaboración cercana entre especialistas en suelos y fitomejoradores. Entre las técnicas de selección en soluciones nutritivas de cultivo, la prueba de la hematoxilina propuesta por Polle et al. (1978) es muy útil.

Sin embargo, los resultados de la selección en cultivos nutritivos o en invernaderos se deben validar en el campo con un rango representativo de los cultivares seleccionados. Spain et al., (1975), Howeler y Cadavid (1976), Salinas (1978) y Salinas y Delgadillo (1980) presentan ejemplos de dichas correlaciones. Los estudios adelantados por los últimos dos investigadores de aluminio y fósforo puesto que estos tienden a ocurrir al mismo tiempo (Salinas, 1978). En consecuencia, los cultivares se pueden clasificar por el nivel crítico de saturación de aluminio requerido para alcanzar un 80% del rendimiento máximo. Para una localidad específica, este parámetro se puede expresar en términos del requerimiento de cal mediante la utilización de la fórmula de Cochrane et al. (1980), incorporando el porcentaje requerido de saturación de aluminio (RAS).

D. Selección de variedades tolerantes al manganeso

La toxicidad al manganeso es otro factor limitante en ciertos Oxisoles y Ultisoles. Aunque no se conoce su distribución geográfica, se considera que es menos común que la toxicidad por aluminio. La toxicidad por manganeso ocurre en suelos que presentan altos niveles de manganeso fácilmente reducibles, generalmente con contenidos relativamente altos de materia orgánica que pueden causar condiciones anaeróbicas temporales. El manganeso es muy soluble a valores de pH menores que 5.5 particularmente en condiciones anaeróbicas, en las que el Mn^{4+} se reduce a Mn^{2+} .

En Oxisoles y Ultisoles bien drenados pueden ocurrir condiciones anaeróbicas temporales debido a la descomposición rápida de materia orgánica o a inundaciones temporales durante períodos de lluvia fuerte. Algunos ejemplos de dichos suelos incluyen el suelo arcilloso de Coto, un Tropeptic Eutrorthox de Puerto Rico (Pearson, 1975) y algunos suelos Orthoxic Palehumult en la estación de CIAT Quilichao en Colombia. A diferencia de la toxicidad de aluminio, la toxicidad de manganeso puede ocurrir a niveles de pH tan altos como 6.0 (Simar et al., 1974). Los niveles de cal comúnmente requeridos para aumentar el pH de los Oxisoles y Ultisoles tóxicos en manganeso a un nivel de aproximadamente 6, son por lo general muy altos. Por ejemplo, para aumentar el pH de 4.6 a 6.0 en el Ultisol de la estación de CIAT-Quilichao, es necesario aplicar $CaCO_3$ puro a razón de 20 ton/ha (CIAT, 1978).

En consecuencia, la principal estrategia es la de seleccionar variedades tolerantes. A diferencia de la toxicidad de aluminio, los síntomas de la toxicidad de manganeso, ocurren en las hojas puesto que este elemento tiende a acumularse en las partes aéreas, en tanto que el exceso de aluminio se acumula en las raíces (Foy, 1976). Los síntomas de toxicidad de manganeso incluyen clorosis marginal, deficiencia de hierro inducida, malformación de las hojas jóvenes y manchas localizadas en los sitios en donde se acumula manganeso (Vlamis y Williams, 1973; Foy, 1976). En términos generales, aparentemente las leguminosas son más susceptibles a la toxicidad del manganeso que las gramíneas (Lohnis, 1951; Hewit, 1963). Los científicos australianos han encontrado diferencias importantes en la tolerancia al exceso de manganeso entre las principales especies de leguminosas forrajeras.

Conclusiones

A pesar de que cerca del 70% de la extensión de tierra de las regiones de Oxisoles y Ultisoles de América tropical poseen limitaciones severas por la acidez del suelo, no es necesario encalar estos suelos hasta llevarlos a su nivel neutro o incluso a un pH de 5.5 con el fin de obtener una producción de cultivos y pastos sostenida. Los estimativos de las necesidades de producción de alimentos en el mundo a largo plazo no requieren de altas dosis de aplicación de cal para las 750 millones de hectáreas de América tropical con limitaciones severas por la toxicidad de aluminio, deficiencia de calcio y deficiencia del magnesio. A su vez, son engañosas las aseveraciones que indican que una producción agrícola sostenida es posible sin el encalamiento en la mayoría de los Oxisoles y Ultisoles. La existencia de variedades de especies forrajeras y de cultivos muy tolerantes al aluminio puede eliminar la necesidad de disminuir el nivel de saturación de aluminio del suelo mediante el encalamiento, pero en la mayoría de los casos las plantas requieren de fertilización con calcio y magnesio. Esto se puede lograr mediante aplicaciones de cal en dosis pequeñas o mediante el uso de fertilizantes que contengan suficientes cantidades de estos dos nutrimentos esenciales. Las aplicaciones de cal en pequeñas dosis son probablemente menos costosas por unidad de nutrimento que los fertilizantes de calcio y magnesio.

Un atributo muy positivo de muchos Oxisoles y Ultisoles de América tropical es la relativa facilidad de movimiento del calcio y magnesio en el subsuelo. Es posible aprovechar lo que normalmente se consideraría como un factor limitante del suelo: su baja CICE. Junto con una estructura del suelo favorable y suficiente lluvia, una baja CICE favorece la disminución gradual de las propiedades químicas del subsuelo. Esto a su vez favorece un desarrollo radical más profundo y menos oportunidad de que ocurra stress por la sequía. (Sánchez y Salinas, 1973).

BIBLIOGRAFIA

1. Alvarado, L. (Undated). Instituto Colombiano Agropecuario, (ICA), Bogotá, Colombia.
2. Adams, F., y Lund, Z.F. (1966). Effect of chemical activity of soil solution aluminium on cotton root penetration of acid subsoils. *Soil Sci.* 101:193-198.
3. Bandy, D.E. (1976). Ph.D. Thesis, Cornell University, Ithaca, New York.
4. _____. (1977). "Manejo de suelos y cultivos en sistema de agricultura permanente en la selva amazónica del Perú". Ministerio de Alimentación, Lima, Perú.
5. Calvo, F.A., Spain, J.M., y Howeler, R.H. (1977). *Suelos Ecuat.* 8, 151-159.
6. Camargo, M.N., Freire, E.S., and Venturini, W.R. (1962). *Bragantia* 21, 143-161.
7. Cate, R.B., Jr. (1965). Tech. Bull. Ed. Duarte Coelho, Recife, Brasil.
8. CIAT. (1978). "Annual Report for 1977". Centro Internacional de Agricultura Tropical, Cali, Colombia.
9. CIAT. (1981). "Annual Report for 1980: Tropical Pastures Program". Centro Internacional de Agricultura Tropical, Cali, Colombia.
10. Cochrane, T.T., Salinas, J.G., and Sánchez, P.A. (1980). *Trop. Agric. (Trinidad)* 57, 133-140.
11. Coimbra, R.O. (1963). En "Simposio sobre o Cerrado" (M.G. Ferri, Coord.). pp. 359-382. Univ. Sao Paulo, Brasil.
12. CPAC. (1979). "Relatório Técnico Anual do Centro de Pesquisa Agropecuária dos Cerrados. 1977-1978", Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuaria, Brasília, Brasil.
13. Evans, C.E., and Kamprath, E.J. (1970). *Soil Sci. Soc. Am. Proc.* 34, 893-896.
14. Foy, C.D. (1976b). En "Plant adaptation to mineral stress in problem soils" (M.J. Wright, ed.), pp 255-268. Cornell Univ., Ithaca, New York.
15. González, E. (1976). Ph.D. Tesis, North Carolina State Univ., Raleigh.
16. González, E., Kamprath, E.J., Naderman, G.C., and Soares W.V. (1979). *Soil Sci. Soc. Am. J.* 43, 1155-1158.
17. Gualdrón, R., y Spain, J.M. (1980). *Suelos Ecuat.* 10, 131-146.

18. Guimaraes, G.A., and Santos, J.M.S. (1968). Inst. Pesq. Exp. Agropec. Norte Circ. 11, Belém, Brasil.
19. Hewitt, E.J. (1983). En "Plant Physiology" (F.C. Steward, ed.), Bol. 3, pp. 137-360. Academic Press, New York.
20. Howeler, R.H., and Cadavid, L.F. (1976). Agron. J. 68, 551-555.
21. Jones, M.G., and Freitas, L.M. (1970). Preq. Agropec. Bras. 5, 91-99.
22. Kamprath, E.J. (1970). Soil Sci. Soc. Am. Proc. 34, 252-254.
23. _____ (1971). Soil Crop Sci. Soc. Fla. Proc. 31, 200-203.
24. _____ (1973). En "A review of soils research in tropical Latin América" (P.A. Sánchez, ed.), pp. 138-161, 179-181. North Carolina St. Univ., Raleigh.
25. Kamprath, E.J., and Foy, C.D. (1971). En "Fertilizer technology and use" (R.A. Olsen et al., eds.), 2nd Ed., pp. 105-151. Soil Sci.
26. Kirkby, E.A. (1979). Commun. Soil Sci. Plant Anal. 10, 89-113.
27. Lathwell, D.J. (ed.). (1979). Cornell Int. Agric. Bull. 35.
28. Lohnis, M.P. (1951). Plant Soil 3, 193-222.
29. López, A.S. (1975). M.S. Thesis, North Carolina State University, Raleigh.
30. López, A.S., and Cox, F.R. (1977). Soil Sci. Soc. Am. Proc. 41, 742-747.
31. Millaway, R.M. (1979). Commun. Soil Sci. Plant Anal. 10, 1-128.
32. Miranda, L.N., Mielniczuk, J., and Lobato, E. (1980). In "Cerrado: Uso e Manejo" (D. Marchetti and A. d. Machado, eds.), pp. 521-578. Editerra, Brasília, Brasil.
33. Mohr, W. (1960). An I Congr. nac. Cons. Solo, pp. 61-76. Campinas, Sao Paulo, Brasil.
34. NCSU. (1974). "Agronomic-Economic research on tropical soils". Annual Report for 1973. North Carolina State Univ., Raleigh.
35. NCSU. (1976). "Agronomic-Economic research on tropical soils". Annual Report for 1975. North Carolina State Univ., Raleigh.
36. _____ (1978). "Agronomic-Economic research on tropical soils". Annual Report for 1976-77. North Carolina State Univ., Raleigh.
37. Olmos, I.L.J. and Camargo, M.N. (1976). Cien. Cult. (Brasil) 28, 171-180.
38. Pearson, R.W. (1975). Cornell Int. Agric. Bull. 30.

39. Pearson, R.W., Abruña, D., and Vicente-Chandler, J. (1962). *Soil Sci.* 93, 77-82.
40. Polle, E., Konzak, C.F., and Kittrick, J.A. (1978). *Crop Sci.* 18, 823-827.
41. Ritchey, K.D., Djalma, M.G., Lobato, E., and Correa, O. (1980). *Agron. J.* 72, 40-44.
42. Rodríguez, M. (1975). M.S. Thesis, Cornell University, Ithaca, New York.
43. Salinas, J.G. (1978). Ph.D. Thesis, North Carolina State University, Raleigh.
44. Salinas, J.G. (1980). En "Fertilidad de suelos-diagnóstico y control"(F. Silva-Mojica, ed.), pp. 399-420. Sociedad Colombiana Ciencia del Suelo, Bogotá.
45. Salinas, J.G., and Sánchez, P.A. (1976). *Cien. Cult. (Brasil)* 28, 156-168.
46. Salinas J.G., González, E., Kamprath, E.J., and Sánchez, P.A. (1976). En "Agronomic-economic research on soil of the tropics", pp. 81-98. North Carolina State Univ., Raleigh.
47. Sánchez, C. (1977). "Encalamiento de Ultisoles de Sabana". Univ. del Oriente, Josepfn, Venezuela.
48. Sánchez, P.A. (1972). *N.C. Agric. Exp. Sta. Tech. Bull.* 213.
49. _____ (ed.). (1973). *N.C. Agric. Exp. Sta. Tech. Bull.* 219.
50. _____ (1976). "Properties and management of soils in the tropics". Wiley, New York.
51. _____ (1977). En "Proc. Int. Sem. on Soil environment and fertility management in intensive agriculture". pp. 535-566. *Soc. Sci. Soil and Manure*, Tokyo, Japan.
52. _____ (1979). En "Soils research in agroforestry" (H.O. Mongi and P.A. Huxley, eds.), pp. 79-124. ICRAF, Nairobi, Kenya.
53. Sánchez, P.A., and Cochrane, T.T. (1980). En "Priorities for alleviating soil-related constraint to food production in the tropics", pp. 107-140. IRRI, Los Baños, Philippines.
54. Sánchez, P.A., and Isbell, R.F. (1979). En "Pasture production in acid soils of the tropics" (P.A. Sánchez and L.E. Tergas, eds.), pp 25-54. CIAT, Cali, Colombia.
55. Sánchez, P.A., and Nureña, M.A. (1972). *N.C. Agric. Exp. Sta. Tech. Bull.* 210.
56. Sánchez, P.A., and Gavidia, A., Ramírez, G.E., Vergara, R., and Minguillo, F. (1973). *Soil Sci. Soc. Am. Proc.* 37, 789-791.

57. Sánchez, P.A., and Uehara, G. (1980). en "Phosphorus in Agriculture" (E.E. Khaswaneh, E. Sample, and E.J. Kamprath, eds.), pp 471-514. Amer. Soc. Agron, Madison, Wisconsin.
58. Simar, A., Cradock, F.W., and Hudson, A.W. (1974). Plant Soil 41, 129-140.
59. Spain, J.M. (1975). Am. Soc. Agron. Spec. Publ. 24, 18.
60. _____ (1976). En "Plant adaptation to mineral stress in problem soils" (M.J. Wright, ed.), pp. 213-222. Cornell Univ. Press, Ithaca, New York.
61. _____ (1979). En "Pasture production in acid soils in the tropics" (P.A. Sánchez and L.E. Tergas, eds.), pp. 167-175. CIAT, Cali, Colombia.
62. Spain, J.M., Francis, C.A., Howeler, R.H., and Calvo, F. (1975). En "Soil Management in Tropical América" (E. Bornemisza and A. Alvarado, eds.), pp 308-329. North Carolina State Univ., Raleigh.
63. Valverde, C., and Bandy, D.E. (1981). En "Amazon agricultural and land use research". CIAT, Cali, Colombia (en impresión).
64. Villachica, J.H. (1978). Ph.D. Thesis, North Carolina State University, Raleigh.
65. Vlamis, J., and Williams, D.E. (1973). Plant Soil 39, 245-251.
66. Wade, M.K. (1978). Ph.D. Thesis, North Carolina State University, Raleigh.
67. Wolf, J.M. (1977). Pesq. Agropec. Bras. 12, 141-150.
68. Zandstra, H.G. (1971). Ph.D. Thesis, Cornell University, Ithaca, New York.

11976
C-2

PRINCIPIOS BASICOS DE LA ASOCIACION DE CULTIVOS

Susana García
Jeremy Davis

Introducción

La asociación de cultivos en el trópico tiene una historia casi tan larga como la historia de la agricultura. Los sistemas complejos del campesino actual en América tienen sus raíces sin duda en las culturas indígenas y sus cultivos de subsistencia. Su importancia se preserva en numerosas zonas de minifundio en América Central y América del Sur, en especial a todo lo largo de la cordillera andina, en los valles, altiplanos y laderas.

La investigación agrícola en el trópico ha ignorado por largo tiempo esta realidad, enfocándose hacia el desarrollo de una tecnología cuyo objetivo es una producción más eficiente de monocultivos. En este sentido se ha llegado a aumentar el potencial de rendimiento de muchos cultivos a través de nuevas prácticas culturales, uso de fertilizantes, fungicidas, insecticidas y herbicidas y así mismo mediante el mejoramiento genético, con la obtención de nuevas variedades de rendimiento superior para condiciones de alta tecnología.

Sin embargo, muchos de los cultivos alimenticios en el trópico se siguen produciendo en pequeñas fincas con sus sistemas de cultivo tradicionales, sistemas complejos con dos o más cultivos en el mismo lote, bajas densidades, labores manuales con mano de obra familiar y sin uso de insumos químicos y variedades regionales de cultivo tradicional.

La importancia de estos sistemas de producción ha llevado a la necesidad de orientar la investigación hacia el entendimiento de los sistemas con el objeto de contribuir con una nueva tecnología para el mejoramiento de las condiciones de vida y productividad del campesino.

Importancia de la asociación de cultivos

La asociación de cultivos puede definirse como un sistema en el cual dos o más especies cultivadas se siembran con suficiente proximidad en el espacio para resultar en una competencia interespecífica para un recurso limitante o potencialmente limitante (Hart, 1975a). Esta definición implica que cada cultivo estará afectado por competencia con las otras especies componentes del sistema. Como consecuencia, el rendimiento de una especie será menor cuando es asociada que en monocultivo.

La característica más notable del sistema es que cualquier variación en un factor que influya en el crecimiento y desarrollo de las plantas, resultará en una ventaja selectiva de uno de los cultivos sobre el otro. Esta interacción dinámica entre los cultivos asociados trae aparejada una mayor estabilidad de producción del sistema como un conjunto, con un menor riesgo de pérdida total por cualquier factor de stress físico o enfermedad de una de las especies. Cuando el rendimiento de un cultivo disminuye, aumenta el del otro o los otros.

Al definirse esta interacción como un atributo propio del sistema, se evidencia la necesidad de analizar y evaluar los sistemas de asociación de cultivos que se encuentran en la realidad entre las formas tradicionales

de los campesinos en América, como un conjunto integrado por dos o más cultivos, con una mayor estabilidad de producción y menor riesgo a través de los años que los unicultivos por separado. La mayor estabilidad del ecosistema se explica como un freno a la multiplicación de los patógenos e insectos por la presencia de la otra especie, frente a las altas densidades de siembra del unicultivo (Rappaport, 1971). Lépiz (1974) ha observado en México, en varios años de ensayos de asociación maíz-frijol, mayor sanidad del frijol asociado en cuanto a plagas y enfermedades respecto a los unicultivos. También se produce un mejor aprovechamiento de las variaciones del medio ambiente, ventaja que tiene una mezcla de genotipos en un ambiente variable, por ejemplo en un factor como distribución de las lluvias. La eficiencia fotosintética del ecosistema asociado es mayor que en los unicultivos, debido al mayor aprovechamiento de la luz en estratos foliares diferentes o más amplios. El sombreado de los cultivos favorece así mismo una mayor competencia del sistema con las malezas.

Respecto a la interacción y estabilidad en la asociación de maíz-frijol, comenta Lépiz: "en algunos ensayos los rendimientos de frijol han sido sobresalientes, en algunos otros el maíz no ha logrado una buena producción y en otros más, tanto el frijol como el maíz han producido buena cosecha; de acuerdo principalmente a la disponibilidad de humedad en un momento dado".

En cuanto a la asociación de cultivos como alternativa para el agricultor se evidencia en varios trabajos (Francis, Sanders, 1979; Hart, 1975b; Tobón et al, 1975, Lépiz, 1974) que el beneficio económico de las asociaciones en la mayoría de los casos es significativamente más alto que el de los unicultivos, siendo una buena alternativa para el uso de los recursos del campesino en las zonas estudiadas. "La ganancia combinada de ambos cultivos en la asociación supera sistemáticamente a la ganancia que se obtiene al sembrar frijol o maíz solos (Lépiz, 1974). "Los sistemas de alternativas probados de unicultivos de maíz y frijol con variedades mejoradas, con mayor fertilización y mayores densidades de población no fueron superiores en ingresos netos a los sistemas agrícolas tradicionales" (relevo papa-maíz-frijol) (Tobón, 1975).

La disminución del riesgo en el sistema de asociación, junto al mayor beneficio económico, demuestran la racionalidad de estos sistemas agrícolas tradicionales y su persistencia en los distintos países del área. Como contraparte, los unicultivos, sistemas de siembra de una sola variedad a densidades altas de población, en extensiones y con uso de maquinarias, tiene una productividad elevada y se la considera como una evolución de la agricultura. Sin embargo, también se dice que es el ecosistema más delicado e inestable que jamás haya aparecido en la tierra.

Como conclusión de este análisis cabe mencionar del trabajo de Tobón en Colombia, analizando los sistemas complejos de Antioquia, "Sistemas agrícolas como los que los agricultores del Oriente de Antioquia han ideado existen en muchas regiones de agricultura tradicionalmente en América Latina. Por diferentes razones, los agrónomos latinoamericanos hemos aceptado a priori la ineficiencia de estos sistemas agrícolas, frente a los prometedoros avances que ofrece la llamada revolución verde. El hecho en sí de que los sistemas agrícolas tradicionales hayan subsistido pese a la opinión adversa de los agrónomos puede tomarse como una evidencia de que aquellos ofrecen ventajas para los agricultores tradicionales. Si se acepta esta posición, el reto para el fitomejorador

y el agrónomo es desarrollar nuevas variedades y tecnologías apropiadas para los pequeños agricultores que representen un verdadero beneficio para ellos.

Se hace mención de algunas estimaciones estadísticas como ejemplos específicos de la importancia de la asociación de cultivos en el mundo (A.S.A., 1976; Gutiérrez, et al. 1975).

- El 98% de la producción de caupí, principal leguminosa en Africa, se encuentra asociada con otros cultivos alimenticios.
- El 83% del terreno cultivable en la zona norte de Nigeria se dedica a cultivos múltiples.
- El 90% del cultivo de frijol en Colombia se encuentra en asociación con maíz, papa y otros cultivos.
- El 73% de la producción de frijol en Guatemala se encuentra en asociación, principalmente con maíz.
- El 80% de frijol en Brasil se encuentra sembrado en asociación con otros cultivos, principalmente maíz.
- El 58% del frijol en México corresponde a siembras asociadas con maíz.
- El 60% del maíz y un 70-80% de frijol en el trópico latinoamericano se encuentran asociados con otros cultivos.

Terminología de los sistemas de cultivos asociados

Durante el simposio sobre cultivos múltiples celebrado en Knoxville (A.S.A., 1976), se acordó una serie de términos para describir los varios sistemas de cultivos múltiples. Con ello se busca normalizar el uso de dichos términos para evitar problemas de comunicación entre los investigadores.

1. Cultivos múltiples (Multiple Cropping):

La intensificación de la agricultura en tiempo y espacio por medio de la siembra de dos o más cultivos en el mismo terreno, durante el mismo año.

Dentro de este concepto hay una serie de alternativas.

a. Cultivos secuenciales (Sequential Cropping): La siembra de dos o más cultivos en secuencia en el mismo terreno, durante el mismo año. El cultivo que sigue se siembra después de la cosecha del cultivo anterior.

- Cultivos dobles. Dos cultivos por año en secuencia.
- Cultivos triples. Tres cultivos por año en secuencia.
- Cultivos cuádruples. Cuatro cultivos por año en secuencia.
- Cultivo de soca. Cultivo de retoño del cultivo anterior.

b. Cultivos asociados (Intercropping): La siembra de dos o más cultivos simultáneamente o con un traslape en los ciclos vegetativos en el mismo terreno.

- Cultivos mixtos. Siembra por sitios, sin arreglo en surcos.
- Cultivos intercalados. Siembra por surcos de por lo menos uno de los cultivos.
- Cultivos en fajas. Siembra en fajas amplias de varios surcos.
- Cultivos de relevo. Siembra del segundo cultivo antes de la cosecha pero después de la floración del primero.

2. Unicultivo (Sole Cropping):

La siembra de una sola variedad a su densidad normal.

Monocultivo: La siembra repetida del mismo unicultivo en el mismo terreno.

3. Rotación:

La siembra cíclica de una serie de cultivos, que puede incluir un período de descanso, en el mismo terreno a través de varios años.

4. Patrón de cultivos:

La secuencia anual y colocación física de los cultivos, o de los cultivos y el barbecho, en determinado campo.

5. Sistema de cultivos:

Los patrones de cultivos utilizados en una finca y sus interacciones con recursos u otras actividades en la finca, así como la tecnología, disponible que determina su composición.

Según esta terminología, al hablar de cultivos múltiples se trata de una escala de posibilidades agronómicas, desde un extremo de cultivos en secuencia, en serie, traslape parcial o relevo de cultivos hasta el otro extremo de una siembra simultánea de cultivos. En la realidad se presentan distintas situaciones para cada caso, como por ejemplo en asociación directa o siembra simultánea, sistema que puede ser intensivo, con altas densidades de cada cultivo y una producción relativamente alta; o muy tradicional, con varios cultivos, sin organización, a densidades bajas, sin uso tan intensivo del terreno o de otros recursos disponibles.

Ejemplos de asociación de frijol

A continuación se ejemplifican algunos sistemas de asociación de frijol principalmente con maíz, existentes en países de América Latina.

1. Cultivos mixtos frijol trepador - maíz:

Este sistema se encuentra en países como México, Guatemala, Colombia, Ecuador y Perú. Su producción se concentra en los valles y