

Los suelos del Trópico de Cochabamba (Bolivia): Identificación de restricciones edáficas para cultivos de banano, palmito, piña y pastos *

Armando Ferrufino Coqueugniot ¹ y Luis Meneses Junco ²

¹ Ing. Agr., M.Sc., Ph.D. Gerente a.i. Nuevo IBTA -Proyecto CONCADE, Cochabamba, Bolivia.
armando_ferrufino@dai.com, armferrufino@yahoo.com

² Arq. Especialista en Sistemas de Información Geográfica, Proyecto CONCADE, Cochabamba, Bolivia.

Resumen del trabajo presentado al III Congreso Boliviano de la Ciencia del Suelo. Sociedad Boliviana de la Ciencia del Suelo. Santa Cruz de la Sierra, 17-19 Septiembre 2003. El trabajo completo, incluyendo los mapas no presentados en este artículo, puede ser consultado en el sitio web www.inpofos.org

Introducción

El Programa de Desarrollo Alternativo Regional en el Trópico de Cochabamba (TC) desde hace varios años atrás ha promocionado el cultivo de varias especies para diversificar la producción agrícola de la zona, incluyendo banano, piña, palmito, maracuyá, pimienta, pasturas y otras en cuyo cultivo están involucrados miles de pequeños productores. En general, los niveles de productividad de los cultivos mencionados son bajos a medios. Se ha comprobado que uno de los factores más restrictivos de la productividad es la acidez de los suelos y la baja proporción de bases cambiables, que pueden ser corregidos mediante el uso de enmiendas y la fertilización. La difusión de información sobre las características de los suelos del TC y la identificación de los factores más restrictivos para la productividad de cultivos específicos es importante para que técnicos de investigación, extensionistas, promotores agrícolas y productores los conozcan y traten de resolverlos a través de la generación y transferencia de tecnología. El objetivo del presente trabajo es proporcionar a técnicos y productores, mapas de referencia que muestren las características físico-químicas más importantes de los suelos del TC y que les permitan identificar los factores más limitantes de suelo para los cultivos de banano, piña, palmito y pastos y encontrar información para su manejo.

Materiales y métodos

El rango de temperatura media anual en el TC es de 25°C a 28°C. El rango de precipitación media anual es de 3000 a 6000 mm año⁻¹; el 80% de la precipitación anual ocurre entre los meses de octubre a abril. En este trabajo se recopiló información de varios estudios de suelos realizados en el Trópico de Cochabamba y se los reunió en una base de datos georeferenciada en coordenadas UTM WGS 84. El área de estudio correspondió a la zona colonizada del Trópico de Cochabamba, ubicada entre 16°39' – 17°25' de latitud sur y 64°14' – 65°44' longitud oeste, cubriendo un área aproximada de 550.00 ha.

La caracterización físico-química de los suelos se realizó a partir los análisis de 727 perfiles reportados por PRODES (1980), Monteith (1995), Soto (1996, 1997, 2000), ZONISIC (2000), Quiroga (2002) y A. Ferrufino (com. personal). Se generaron mapas de suelos, a escala 1:50.000 utilizando los promedios ponderados de las características físico-químicas de los primeros 20 cm del suelo. En este documento se presentan mapas a una escala 1:600.000.

Las características químicas incluidas en los mapas fueron los contenidos de cationes intercambiables: potasio (K), calcio (Ca), magnesio (Mg), sodio (Na), aluminio (Al); la capacidad de intercambio catiónica efectiva (CICE), la saturación de Al, la saturación

de bases y el contenido de fósforo (P). Dentro las características físicas se incluyeron la textura y la capacidad de drenaje. Esta última variable fue caracterizada utilizando el Fertility and Capability System (FCC) (Sánchez *et al.*, 1982), que califica la capacidad de drenaje con base en la presencia de motas en los primeros 50 cm del suelo. Otras restricciones físicas que pueden restringir el desarrollo de los cultivos son la pendiente y la pedregosidad, aspecto que no fue incluido en este trabajo. Para la calificación del nivel de nutrientes u otras características se utilizaron los parámetros sugeridos por el Instituto Agronómico de Campinas, Brasil (IAC, 1997) (Tabla 1).

Tabla 1. Límites de interpretación de los niveles de distintos nutrientes o características químicas de suelos para cultivos tropicales.

Elemento/Característica	Nivel				
	Muy bajo	Bajo	Medio	Alto	Muy alto
Acidez (pH)	>6	5.6-6.0	5.1-5.5	4.4-5.0	<4.3
Fósforo (mg kg ⁻¹)	0-5	6-12	13-30	31-60	> 60
Calcio (cmol ₍₊₎ kg ⁻¹)	-	0-3	4-7	> 7	-
Magnesio (cmol ₍₊₎ kg ⁻¹)	-	0-4	5-8	5-10	-
Potasio (cmol ₍₊₎ kg ⁻¹)	0-0.07	0.08-0.15	0.16-0.30	0.31-0.60	> 0.60
Saturación de Al (%)	0-20	21-40	41-60	61-90	>90
Saturación de bases (%)	0-25	26-50	51-70	71-90	>90

La base de datos de suelos georeferenciada fue incluida en el Sistema de Información Geográfica (SIG), Arc View 8.3, del Proyecto de Desarrollo Alternativo CONCADE. La distribución espacial de las características químicas y físicas de los suelos se procesó con el método de interpolación geométrica llamada “distancia inversa ponderada” (*inverse distance weighted-IDW*) del módulo *Spatial Analysis* del Arc Gis., que tiene las siguientes características:

- Asume que cada punto de la muestra tiene una influencia local que disminuye con la distancia.
- Usa un número especificado de puntos para determinar el valor por cada celda.
- IDW debe usarse cuando se tiene un juego denso de puntos de muestreo para capturar la magnitud de variación de la superficie local.
- Si las muestras están muy esparcidas, los resultados no pueden representar la superficie deseada adecuadamente.

Estas consideraciones permiten suponer que en zonas en las que no se obtuvieron muchas muestras, la estimación del SIG pudo ser de menor precisión, mientras que en zonas con alta densidad de muestras se espera una estimación más precisa. Los mapas deben ser considerados por el lector como una referencia general. Siempre es aconsejable caracterizar las condiciones edáficas de fincas o parcelas, para tener un panorama más detallado de las mismas.

En los mapas de suelos se superpusieron las áreas cultivadas con banano, piña, palmito y pastos obtenidas de imágenes satelitales Landsat 7, de 15 m de resolución, tomadas en junio de 2002 y procesadas como *shape* files o polígonos de parcelas de cultivos.

Resultados y discusión

Características generales de los suelos del TC

Los suelos del TC son de origen aluvial y residual. Los suelos aluviales del Pleistoceno ocupan las llanuras de inundación y las terrazas bajas, mientras que los suelos residuales formados *in situ*, ocupan las terrazas altas y las colinas (Alvarado, 1986). Los suelos del TC son variables en características físicas y químicas, y esta variación puede ocurrir en distancias cortas. Las diferencias son debidas mayormente a la posición fisiográfica, que determina el tiempo de exposición a la meteorización, y las diferencias en material parental (Monteith, 1995).

Las características químicas de las llanuras aluviales están fuertemente influenciadas por las características químicas de los sedimentos que arrastran los ríos que las inundan, o que las inundaron en el pasado, por lo que los suelos de las llanuras aluviales reflejan cercanamente las propiedades de sus materiales parentales sedimentarios. Las terrazas medias y altas tienen suelos más intemperizados, por que estuvieron expuestos por un mayor tiempo a factores de formación de suelo como clima, organismos y otros.

Los principales órdenes de suelo presentes en el TC son Entisoles, ubicados generalmente en las llanuras aluviales y terrazas bajas, Inceptisoles en terrazas medias y Ultisoles en terrazas altas y colinas.

Características físicas

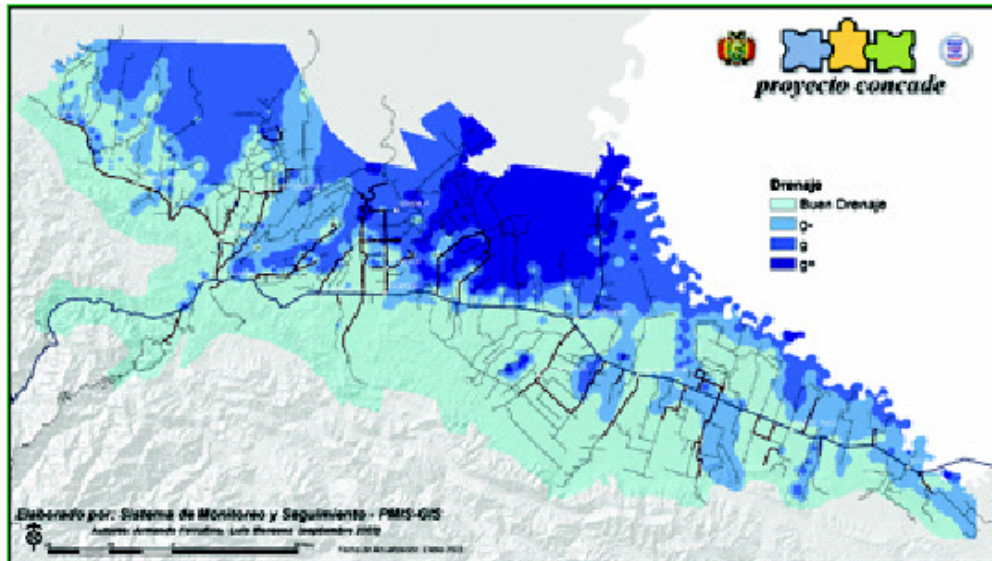
Textura

La mayoría de los suelos presentó contenidos medios de arena entre 15 y 45%, contenidos medios de limo entre 30 a 45% y de arcilla entre 15 y 30%.

Consecuentemente, la textura predominante fue la franca. Desde el punto de vista físico los suelos francos son los que tienen una proporción más balanceada de macro y micro poros.

Drenaje

El Mapa 1 es una caracterización de la capacidad de drenaje de los suelos del TC según la clasificación FCC. Este mapa fue confeccionado sólo con parte de la base de datos, por lo que debe considerarse que tiene un alto grado de generalización. En el futuro cercano se planea realizar trabajos más detallados sobre drenaje de suelos en el TC. Sin embargo, adicionalmente se analizaron datos de Soto (1996, 1997, 2000) sobre textura de suelos y proporción de macro y micro poros en los suelos del TC. La proporción de micro poros se incrementó, de una forma no lineal, con el contenido de arcilla, mientras que la proporción de macro poros, se incrementó con los contenidos de arena. A medida que la proporción de micro poros se incrementa, la capacidad de drenaje de los suelos disminuye. Contrariamente, a medida que la proporción de macro poros aumenta, también lo hace la capacidad de drenaje de los suelos. Sin embargo, en el TC la capacidad de drenaje de los suelos no sólo es afectada por la textura/proporción de micro y macro poros, sino también por la posición de los suelos en el paisaje. Los suelos de las terrazas altas son, en general, bien drenados, mientras que los suelos de las llanuras aluviales cercanas a los ríos presentan problemas de drenaje. Las terrazas bajas y medias pueden presentar problemas de mal drenaje estacional.



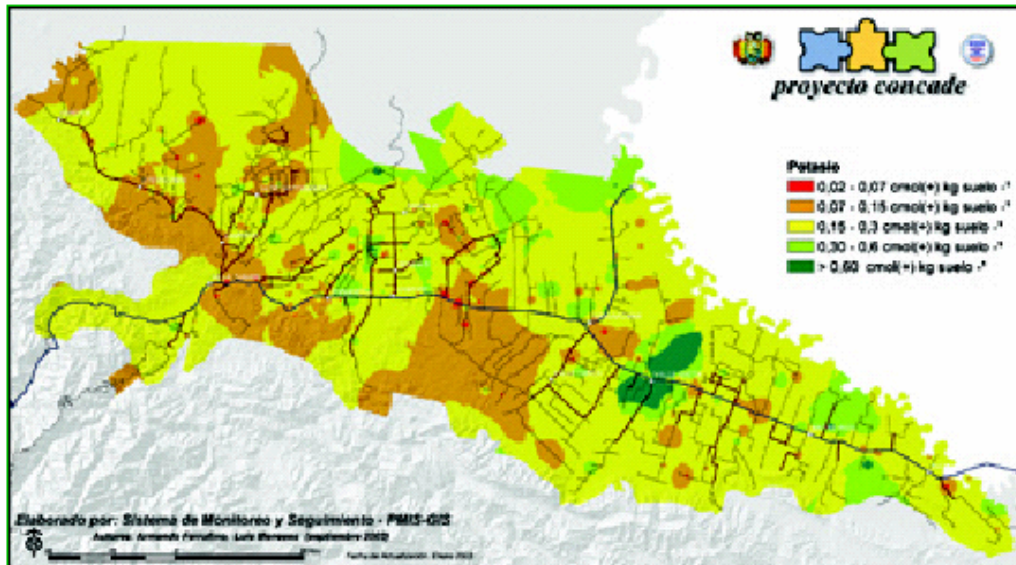
Mapa 1. Características de drenaje de suelos del TC definidas por el método FCC. El modificador g- indica condiciones de saturación de agua en el suelo por muy corto tiempo, que no llegan a las capas superficiales. El modificador g indica condiciones de saturación por períodos largos en las capas profundas y saturación intermitente en las capas superiores. El modificador g+ indica condiciones de saturación por períodos largos en todas las capas hasta la superficie.

Características químicas

Bases intercambiables

Los suelos del TC presentan, predominantemente, bajos contenidos de Ca intercambiable (hasta $3 \text{ cmol}(+) \text{ kg}^{-1}$). En la cuenca del río Chapare se encuentran contenidos intermedios de este nutriente, debido a que en la zona cordillerana de esta cuenca se encuentran depósitos de dolomita, material arrastrado por los sedimentos que acarrea ese río.

Similarmente a lo que ocurre con los contenidos de Ca, los contenidos de Mg intercambiable también son bajos. Los suelos de la cuenca baja del río Chapare presentan contenidos medios, debido a que el río arrastra sedimentos de depósitos de dolomita y magnesita que se encuentran en la porción cordillerana de la cuenca. Los contenidos de K intercambiable son mayormente bajos a medios en los suelos del TC (Mapa 2). Sin embargo, los suelos del TC presentan contenidos diferentes de minerales meteorizables que pueden aportar K para los cultivos, que generalmente extraen K en cantidades importantes. Monteith (1995) menciona la presencia de micas y feldespatos, principalmente en los suelos de la cuenca del río Chapare. Esta característica puede afectar marcadamente la dinámica del K en el suelo. Se planea realizar estudios para conocer con más detalle la capacidad de los suelos del TC para aportar K a través de minerales meteorizables.



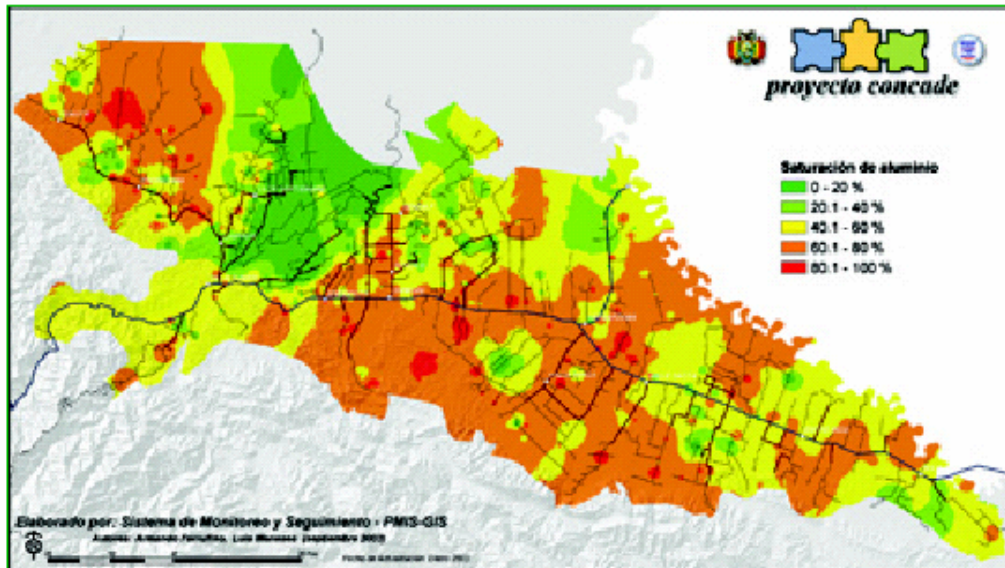
Mapa 2. Contenidos promedio de K intercambiable en los primeros 20 cm de suelos del TC. Se puede observar que predominan niveles bajos a medios de este nutrimento en todas las cuencas de los ríos principales de la zona.

La mayor parte de los suelos del TC tiene valores de CICE bajos a medios, lo que los caracteriza como suelos de baja a media fertilidad. La saturación de bases es la proporción relativa de la sumatoria de Ca, Mg, K y Na intercambiables, respecto a la capacidad de intercambio catiónico efectiva (CICE). La saturación de bases es en general baja en los suelos del TC. Sólo los suelos de la cuenca del río Chapare muestran contenidos muy altos y altos de bases cambiables. La saturación de bases es una referencia sobre la necesidad de encalado que tienen los distintos cultivos.

Acidez

La mayor parte de los suelos del TC tienen niveles de pH entre 4 y 5, lo que los caracteriza como suelos ácidos. Los suelos de la cuenca del río Chapare son los menos ácidos de la zona.

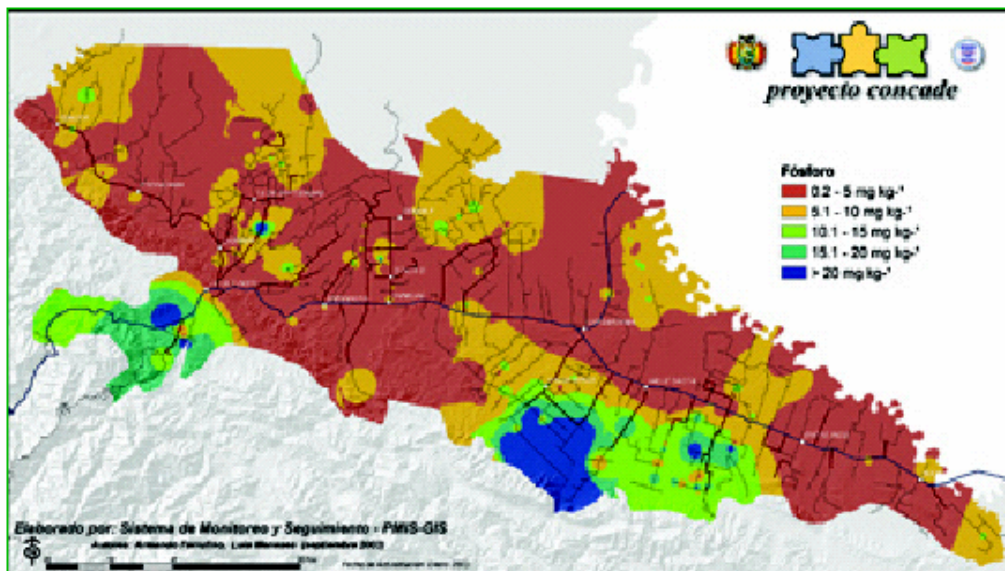
La saturación de Al, la proporción de la CICE que está ocupada por ese catión, está correlacionada con el pH del suelo. Los suelos ácidos presentan altos niveles de saturación de Al. En el TC predominan los suelos con niveles medios a altos de saturación de Al tal como se observa en el Mapa 3.



Mapa 3. Saturación promedio de Al en suelos del TC. La mayor parte de los suelos presenta niveles medios y altos, siendo los suelos de la cuenca del río Chapare los que presentan los menores contenidos de Al.

Fósforo

Los niveles promedio de P en suelos del TC se encuentran en la mayor parte de los suelos del TC entre 1 y 10 mg kg⁻¹, lo que los caracteriza como suelos con bajos contenidos de este nutriente (Mapa 4). Si bien los contenidos de P en la zona son bajos, en general la capacidad de fijación de P es baja, en comparación de otros suelos de los trópicos de Sud América y aumenta con el contenido de arcilla de los suelos (Ferrufino y Alvarado, 1990).



Mapa 4. Contenidos promedio de P en los primeros 20 cm de suelos del TC. La mayor parte de los suelos presenta niveles muy bajos y bajos de P.

Factores edáficos restrictivos para los cultivos de banano, palmito, piña y pastos

Del análisis de los mapas generados en este relevamiento se puede inferir que los factores más restrictivos para la productividad y persistencia de los cultivos de banano, palmito, piña y pastos son la acidez, la baja fertilidad y el drenaje restringido.

La acidez del suelo como factor restrictivo de la productividad de cultivos

Los suelos ácidos están caracterizados por toxicidades de Al, manganeso (Mn) e hidrógeno (H), y deficiencias de Ca, Mg, P, molibdeno (Mo), y silicio (Si) (Kamprath, 1984; Foy, 1992). Todas esas restricciones son conocidas como el complejo de acidez del suelo. La toxicidad de Al es el componente más importante de dicho complejo. El daño a las raíces es la expresión más saliente de la toxicidad de Al, debido a que el sitio de acción del Al es el ápice radicular (Bennet y Breen, 1991). El sistema radicular se reduce y, consecuentemente, la adquisición de nutrimentos y agua, conduciendo a reducciones en el rendimiento de los cultivos. Las especies de Al consideradas tóxicas (Al^{3+} , $Al(OH)^{2+}$ y $Al(OH)_2^+$) para las raíces de los cultivos, predominan a niveles de pH menores a 5.2 (Kinraide, 1991). La saturación de Al es una medida para identificar el grado de dominancia del Al en el complejo de intercambio en un suelo. Los cultivos de banano, palmito, piña y pastos tienen distinta tolerancia al Al (Tabla 2).

La acidez del suelo, y consiguientemente la toxicidad de Al, pueden ser corregidas con la aplicación de diversas enmiendas, entre las cuales las más usadas son la cal y la dolomita (Tabla 2). La primera no se puede utilizar libremente en el TC porque es una sustancia precursora en la fabricación de cocaína. La dolomita es de uso libre en el TC; más aún, existen importantes depósitos en la zona de piedemonte del TC. Por otra parte, la dolomita además de disminuir la acidez del suelo, es una fuente importante de Ca y Mg, nutrimentos que se encuentran en bajos niveles en la mayor parte de los suelos de la zona.

Tabla 2. Niveles óptimos de pH, saturación de Al tolerable y requerimientos **estimados** de encalado para distintos cultivos. Adaptado de Sánchez y Salinas (1983) e Iriarte y Quiroga (1993).

Cultivo	pH óptimo	Saturación de Al tolerada (%)	Cal/dolomita (t ha ⁻¹)
Banano	6.0-7.0	30	1.0-2.0
Palmito	4.5-5.5	50	0.5-1.5
Piña	4.5-5.5	60	0.25-0.5
Pastos-Gramíneas			
<i>Brachiaria decumbens</i>	4.5-5.5	70	0.5-1.0
<i>B. humidicola</i>	4.5-5.5	75	0.5-1.0
<i>Panicum spp.</i>	5.5-6.0	30	1.0-2.0
Pastos-Leguminosas			
<i>Pueraria phaseoloides</i>	5.0-6.0	70	0.5-1.0
<i>Desmodium ovalifolium</i>	4.5-6.0	70	0.5-1.0

La mayor parte del área de cultivo de banano en el TC está en zonas con bajos niveles de Al, por lo que no se requiere aplicación de enmiendas en esas zonas. Sin embargo, existe un área importante de bananales situados en suelos con problemas de acidez para este cultivo. En estas zonas, será necesario aplicar dolomita con base en un análisis de suelo. En plantaciones establecidas, será necesario aplicar dolomita mezclada con yeso para facilitar el movimiento del Ca y del Mg hacia el subsuelo, fenómeno que se

produce en mínima escala si se aplica la dolomita en forma superficial. En general, los subsuelos son más ácidos y contienen más Al intercambiable que las capas superiores del suelo.

En el caso de plantaciones de palmito se estima que las plantaciones que se encuentran en suelos con más de 60% de saturación de Al, requerirán de aplicaciones de dolomita, cuya dosis debe ser calculada con base en un análisis de suelo. Es posible que también se requiera corregir la acidez del subsuelo, para lo cual se recomienda aplicar dolomita en combinación con yeso.

La mayor parte de los cultivos de piña en el TC están ubicados en suelos con altos niveles de Al intercambiable. Debido a que esta especie es medianamente tolerante a la toxicidad por Al, se estima que se requieren aplicaciones pequeñas de dolomita, que también contribuirán a mejorar la nutrición de la planta con Ca y Mg.

Las pasturas que predominan en el TC son aquellas compuestas por gramíneas del género *Brachiaria* y varias especies de gramíneas nativas. Debido a que dichas especies son tolerantes a los niveles de Al que tienen los suelos del TC, la aplicación de dolomita no es estrictamente necesaria, aunque contribuiría a mejorar la nutrición de las pasturas por la adición de Ca y Mg. Para especies de gramíneas más sensibles a la toxicidad por Al, como es el caso de las gramíneas del género *Panicum*, y algunas especies de pastos de corte, será necesario el uso de dolomita para incrementar sus rendimientos y persistencia.

La baja fertilidad como factor restrictivo de la productividad de cultivos

Se mencionó que los suelos del TC son en su mayoría de baja a mediana fertilidad, por lo tanto, para obtener altos rendimientos será necesario utilizar niveles apropiados, biológica y económicamente, de macro y micro nutrientes. En la Tabla 3 se presentan datos sobre acumulación de nutrientes en los cultivos de banano, palmito y piña que permiten ilustrar los requerimientos nutricionales de dichos cultivos para alcanzar altos niveles de rendimiento. Indudablemente, es necesario realizar investigaciones de respuesta a la aplicación de nutrientes en las distintas zonas del TC.

Prácticamente todos los cultivos de banano, palmito, piña, se encuentran ubicados en suelos con niveles bajos a medios de K intercambiable, por lo que requerirán fertilización potásica, con niveles apropiados obtenidos en estudios de investigación en distintas zonas del TC. Entre las pasturas, las gramíneas tienen mayores requerimientos que las leguminosas forrajeras.

Tabla 3. Cantidad promedio de nutrientes acumulados en las partes cosechables de banano, palmito y piña. Los datos provienen de varias fuentes citadas por Ferrufino (2001).

Cultivo – Rendimiento	Acumulación (kg ha ⁻¹)				
	N	P	K	Ca	Mg
Banano - 50 t ha ⁻¹	189	29	778	101	49
Palmito - 21 t ha ⁻¹ *	531	38	248	65	43
Piña - 80 t ha ⁻¹	50	3	195	15	5

* *Materia seca total en una plantación de 3200 plantas ha⁻¹*

El mal drenaje como factor restrictivo de la productividad de cultivos

Las restricciones de acidez y baja fertilidad pueden ser eliminadas o reducidas con la aplicación de dolomita u otras enmiendas o la aplicación de fertilizantes, lo que implica

un costo más o menos razonable para ser cubierto por los productores. En el caso del mal drenaje, en general su corrección implica gastos significativos, por lo que se constituye, probablemente, en el factor más restrictivo para la agricultura en el TC. Por esta razón, las características de drenaje de los suelos debieran ser el factor principal en la zonificación por aptitud de suelos para distintos cultivos.

Los cultivos de banano, palmito y piña son altamente sensibles al mal drenaje. Si dichos cultivos están establecidos en suelos con restricciones de drenaje, éstos se convertirán en el factor más limitante de la productividad y persistencia de aquellos. En el caso de pasturas, la mayor parte de las gramíneas y leguminosas forrajeras cultivadas en el TC son poco a medianamente tolerantes a condiciones de drenaje restringido. Algunas áreas de banano y palmito del TC están en suelos con drenaje restringido, lo que indudablemente afecta su productividad. Los cultivos de piña están localizados en su mayoría en suelos bien drenados y existe un área menor de pasturas localizadas en suelos con drenaje restringido. Es necesario realizar más estudios sobre drenaje de suelos en el TC, por lo que debe considerarse al mapa de características de drenaje como preliminar.

Referencias

- Alvarado, A. 1986. Manejo de suelos en el Chapare. Boletín Técnico No. 3 Proyecto IBTA/Chapare. 21 p.
- Bennet, R.J. y C.M. Breen. 1991. The aluminum signal: New dimensions to mechanisms of aluminum tolerance. *En: R.J. Wrigth et al. Eds. Plant-soil interactions at low pH. Kluwer Academic Publishers, Netherlands. pp. 703-716.*
- Ferrufino, A. y A. Alvarado. 1990. Fósforo y pasturas en la región del Chapare. *En: Seminario Nacional Sobre Fertilidad de Suelos y Uso de Fertilizantes en Bolivia. Santa Cruz, Bolivia, Febrero 1990. pp. 391-402.*
- Ferrufino, A. 2001. Respuesta a la fertilización en los cultivos comerciales más importantes del Trópico de Cochabamba. Villa Tunari, Chapare, Proyecto CONCADE, North Carolina State University, DAI. 46p.
- Foy, C.D. 1992. Soil chemical factors limiting plant root growth. *Advances in Soil Science 19:97-149.*
- Kamprath, E.J. 1984. Crop response to lime in the tropics. *En: F. Adams Ed. Soil Acidity and Liming, second edition. pp. 349-368.*
- Kinraide, T.B. 1991. Identity of the rhizotoxic aluminum species. *Plant and Soil 134:167-178.*
- Instituto Agronómico de Campinas (IAC). 1997. Recomendacoes de adubacao e calagem para o estado de Sao Paulo. Boletim Técnico 100. Instituto Agronómico de Campinas, Sao Paulo, Brasil. 285 p.
- Iriarte, R. y A. Quiroga. 1993. Uso de cal y dolomita en suelos del Chapare. CORDEP-DAI, Cochabamba, Bolivia. 129 p.
- Monteith, S.E. 1995. Influences of parent material and time on soil properties in a perudic area of the Bolivian Amazon Basin. Ph.D. Dissertation, North Carolina State University, Raleigh. 169 p.
- PRODES. 1980. Estudio integrado de recursos naturales, Chapare, Bolivia. Servicio Nacional de Aerofotogrametría, Fuerza Aérea Boliviana. La Paz, Bolivia.
- Sánchez, P., Couto, W. y Buol, S.W. 1982. The fertility capability soil classification system: interpretation, applicability and modification. *Geoderma 27:283-309.*
- Sánchez, P.A. y J.G. Salinas. 1983. Suelos ácidos; estrategias para su manejo con bajos insumos en América tropical. Sociedad Colombiana de la Ciencia del Suelo. Bogotá, Colombia. 93 p.

- Soto, C. 1996. levantamiento de suelos y clasificación de tierras para agricultura a secano y pasturas de las subregiones II, VI y VII. Proyecto IBTA/Chapare, Cochabamba, Bolivia. 170 p.
- Soto, C. 1997. Levantamiento de suelos y clasificación de tierras para agricultura a secano y pasturas de las subregiones I y IV. Proyecto IBTA/Chapare, Cochabamba, Bolivia.
- Soto, C. 2000. Levantamiento de suelos y clasificación de tierras para agricultura a secano y pasturas de las subregiones III y V. Informe de consultoría. Proyecto DAI-CONCADE, Cochabamba, Bolivia.
- ZONISIG. 2000. Plan uso del suelo del municipio de Villa Tunari.