

65455

C-3

**Oxisoles y Ultisoles de Colombia
y America Tropical**

**Características Diagnosticas
Implicadas en su Uso y Manejo**

J G Salinas

9

**SCCS - CIAT
1984**

165455

OXISOLES Y ULTISOLES DE COLOMBIA Y LATINOAMERICA

CARACTERISTICAS DIAGNOSTICAS IMPLICADAS EN SU USO Y MANEJO ^{1/}



Jose G Salinas^{2/}

1 INTRODUCCION

Los suelos fuertemente ácidos de America Tropical ($pH < 5.3$), a pesar de constituir el bloque más extenso de tierra potencialmente arable, presentan problemas de manejo que, en general, han limitado el desarrollo agrícola en las áreas influenciadas por estos suelos. Uno de los principales obstáculos para la producción agrícola y pecuaria es la baja fertilidad natural del suelo, la cual es inadecuada para sistemas de manejo primitivo y tradicional, así como también para una tecnología directamente transferida de países con sistemas agrícolas altamente desarrollados. La característica diagnóstica implicada en el uso y manejo de los suelos del trópico americano es la presencia de un "complejo diferencial de infertilidad", que identificaría alta acidez, toxicidades de Al y/o Mn y una deficiencia general de macro y micronutrientes en función del grado de intensidad del sistema agrícola o pecuario a establecer.

La importancia de las limitaciones edáficas muestran que además de la deficiencia casi generalizada de N y P en estos suelos, la toxicidad de aluminio y las deficiencias del calcio, magnesio y potasio ocurren en un 70% o más en la región de suelos ácidos de America Tropical, área que constituye aproximadamente la mitad de la extensión territorial de América Tropical.

^{1/} Trabajo presentado en el Seminario Taxonomía de Suelos del U S D A Su aplicación a los levantamientos, correlación y manejo de suelos y en la transferencia agrotecnológica Bogotá, Agosto 22-25, 1984

^{2/} Ph D Fertilidad de Suelos y Nutrición de Plantas, Programa de Pastos Tropicales, CIAT, Cali, Colombia

El propósito de este trabajo es presentar un resumen de las tecnologías existentes para el uso y manejo de los suelos ácidos, bien drenados, de baja fertilidad natural existentes en los trópicos de América y que se clasifican en su mayoría, como Oxisoles y Ultisoles. Los ejemplos dados son componentes de sistemas globales de producción, que rara vez poseen todos los componentes necesarios que han sido desarrollados para un sistema específico. La mayoría de los ejemplos provienen de América Tropical, reflejando la experiencia del autor, sin restar importancia a numerosos trabajos relacionados y realizados en otras partes del mundo. En este trabajo se emplea la terminología de la taxonomía de suelos (Soil Conservation Service, 1975), incluyendo los regímenes de humedad del suelo.

2 SUELOS ÁCIDOS DEL TROPICO IMPORTANCIA, EXTENSION Y LIMITANTES EN LA PRODUCCION DE ALIMENTOS

Al nivel más amplio de generalización existen tres vías esenciales para incrementar la producción de alimentos en el trópico: incrementando la producción por unidad de área en regiones actualmente cultivadas, expandiendo las tierras bajo riego, y abriendo nuevas tierras para cultivarlas. La primera y última requieren de la disminución o eliminación de los limitantes del suelo, mientras que la segunda elimina la escasez de agua, como el limitante más importante. Bentley et al. (1980) examinaron estas tres alternativas y concluyeron que las tres son necesarias, aunque la alternativa de riego está limitada para áreas relativamente pequeñas y es la más costosa de las tres. Es poco cuestionable el hecho de que aumentar la productividad en tierras que están cultivadas es la vía principal para elevar la producción mundial de alimentos. Sin embargo, estimativos recientes de la FAO, citados

por Duda1 (1980), muestran que, para que la producción de alimentos per capita permanezca al nivel actual, aún inadecuada, la producción de alimentos se debe incrementar en un 60% hasta el año 2000. Además, Duda1 estimó que el incremento de los rendimientos en las tierras en actual uso, no es suficiente con el fin de alcanzar este propósito, en los próximos años será necesario incorporar 200 millones de hectáreas adicionales a la agricultura. Esta cantidad es aproximadamente equivalente al área cultivada actualmente en los Estados Unidos. Será posible esto? La respuesta depende en gran medida del uso y manejo que se haga de los suelos ácidos del trópico.

Actualmente, el mundo está empleando cerca de un 40% de sus recursos de tierras potencialmente arables (Buringh et al., 1975). El potencial enorme para la expansión de la frontera agrícola del mundo, está en el bosque húmedo tropical y en las regiones de sabana, ecosistemas dominados por suelos ácidos que son clasificados en su mayoría como Oxisoles y Ultisoles (Kellogg y Orvedal, 1969. National Academy of Science, 1977). Estas extensas regiones poseen, en gran proporción, una topografía favorable para la agricultura, temperaturas adecuadas para el crecimiento de las plantas durante todo el año, humedad suficiente durante el año en un 70% de la región, y de 6 a 9 meses en el 30% restante (Sanchez, 1977). Los principales factores limitantes que obstaculizan el desarrollo agrícola en estas áreas son la baja fertilidad natural del suelo, el transporte limitado y la carencia de una infraestructura de mercado.

La extensión aproximada de áreas dominadas por Oxisoles y Ultisoles en los trópicos suman en total cerca de 1582 millones de hectáreas o sea un 43% del mundo tropical. La concentración abundante de Oxisoles se presenta en

las sabanas de América del Sur, la Amazonía oriental y parte de África central. Estos suelos generalmente se encuentran localizados en superficies geológicas antiguas y estables, las cuales se tornan atractivas para la agricultura mecanizada. Los Ultisoles se encuentran dispersos en grandes áreas de América Tropical, África y el sureste de Asia. Muchas de estas regiones se han desarrollado rápidamente.

En América Tropical, la distribución de suelos ácidos a nivel de país, releva la importancia de estos suelos en Colombia, que junto al Brasil, Bolivia y Venezuela, presentan un área que constituye más del 50% de la extensión territorial de cada país (Cuadro 1).

En el caso específico de Colombia, los suelos ácidos ($\text{pH} \leq 5$) se hallan distribuidos prácticamente en todo el territorio (Cuadro 2) y la mayor incidencia en una determinada región depende principalmente de las condiciones ambientales, material parental del suelo, procesos de meteorización y tiempo de exposición de éstos suelos. Es así que en las regiones de los Llanos Orientales, Selva Amazónica, Costa Pacífica y áreas extensas de la Región Andina, es posible encontrar la mayor concentración de suelos ácidos (Oxisoles y Ultisoles).

Existen otros suelos ácidos, con propiedades y potenciales similares clasificados como Inceptisoles ácidos y bien drenados (Dystrupepts), suelos ácidos de cenizas volcánicas (Dystrandeps), y arenas rojas y ácidas bien drenadas (Quartzipsaments Oxíc). En este trabajo se excluyen los suelos ácidos mal drenados y que tienen un régimen de humedad del suelo acuico.

América Tropical, en un nivel amplio de diagnóstico para el uso y manejo de suelos ácidos puede ser subdividida en dos regiones principales, con base en los sistemas agrícolas y los limitantes del suelo (Sanchez y Cochrane, 1980).

Cerca de un 30% de la América Tropical (405 millones de hectáreas) está dominada por suelos con alto nivel de bases, relativamente fértiles, que sostiene poblaciones densas. El 70% de la porción tropical del hemisferio occidental restante está dominado por suelos ácidos de los órdenes Oxisoles y Ultisoles, con densidades de población relativamente bajas y la mayoría bajo vegetación de bosque y de sabana.

A pesar de la creencia ampliamente difundida de que los Oxisoles y Ultisoles no pueden sostener una agricultura intensiva y sostenida en los trópicos (Mc Neil, 1964, Goodland e Irwin, 1975), existe una amplia evidencia de que estos suelos pueden ser cultivados continuamente y manejados intensivamente para el crecimiento de cultivos anuales (Sánchez, 1977, Marchetti y Machado 1980), pastos (Vincente-Chandler et al., 1974) y cultivos perennes (Alvim 1976). Este también es el caso de los Oxisoles y Ultisoles de Hawái y los Ultisoles del suroriente de China, los cuales sostienen densas poblaciones.

Los principales limitantes relacionados con los suelos de América tropical y su región de suelos ácidos se presentan en el Cuadro 3 con base en estimaciones preliminares. Los más ampliamente difundidos en las regiones de Oxisoles-Ultisoles son más de naturaleza química que física, incluyendo las deficiencias de fósforo, nitrógeno, potasio, azufre, calcio, magnesio y zinc, más la toxicidad por aluminio y la alta fijación de fósforo. Los limitantes físicos del suelo más importantes son la baja capacidad de retención de agua disponible en muchos Oxisoles y la susceptibilidad a la erosión y compactación de muchos Ultisoles con textura arenosa en la capa superficial del suelo. El riesgo de la presencia de lateritas cubre una extensión menor y la mayoría de las plantas blandas se presentan en el subsuelo, en topografía

llana y no propensa a la erosión. En contraste, los limitantes del suelo más importantes de las regiones son suelos con altos niveles de bases en América Tropical son el estrés por sequía, deficiencias de nitrógeno y riesgos de erosión (Sánchez y Cochrane, 1980)

Cuando los limitantes químicos del suelo se eliminan encalando y aplicando fertilizantes, las productividades de estos Oxisoles y Ultisoles se ubican entre las mayores en el mundo. Por ejemplo, la Figura 1 muestra la producción anual de materia seca del pasto elefante (Pennisetum purpureum) con fertilización intensiva con nitrógeno en Ultisoles de Puerto Rico y donde todos los limitantes de la fertilidad han sido eliminados. Esta producción se aproxima al potencial máximo calculado para las latitudes tropicales de 60 ton/ha/año de materia seca, de acuerdo con DeWitt (1967). En la Figura 2 se muestra otro ejemplo en el cual se obtuvieron excelentes producciones de grano de maíz del orden de 6.3 ton/ha/cosecha, en un Oxisol arcilloso de Brasilia, Brasil, cuando su alto requerimiento de fósforo se suplió con una aplicación al voleo de 563 kg de P/ha y se corrigieron los otros limitantes químicos del suelo mediante encalamiento y fertilización.

Estas estrategias de manejo pueden ser muy beneficiosas aún a los precios actuales, cuando el mercado provee una relación favorable entre el precio de la cosecha y el costo de fertilizante. Cuando quiera que las consideraciones económicas y de infraestructura hagan rentable esta estrategia de altos insumos, debería aplicarse vigorosamente. Sin embargo, en la mayoría de las regiones tropicales con suelos ácidos (Oxisoles y Ultisoles) no existen condiciones favorables de mercado ya sea porque los fertilizantes y la cal son costosos y no están del todo disponibles debido a que su transporte es excesivamente costoso o simplemente debido a que los agricultores no desean correr los riesgos de producción.

3 COMPONENTES ESENCIALES EN EL USO Y MANEJO DE OXISOLES Y ULTISOLES

Como bloques de construcción para tecnologías apropiadas, se están desarrollando varios conceptos o técnicas para el uso y manejo de Oxisoles y Ultisoles de los trópicos

La siguiente es una lista parcial, algunos de los cuales pueden ser combinados para ciertos sistemas agrícolas, dependiendo del grado de su intensidad

- 1 Selección de tierras apropiadas donde la tecnología a desarrollarse tenga en la mayoría de las veces ventaja comparativa sobre la tecnología de altos insumos debido a las propiedades del suelo, topografía y acceso al mercado
- 2 Uso de especies y variedades de plantas que sean tolerantes a la mayoría de los factores limitantes de los suelos ácidos y que también se adapten al clima, plagas y enfermedades
- 3 Desarrollo de prácticas eficientes de desmonte, establecimiento de plantas, sistemas de cultivo y otras, con el fin de desarrollar y mantener una cobertura vegetal del suelo
- 4 Manejo de la acidez del suelo en función del sistema agrícola a establecer, haciendo énfasis en el estímulo de un desarrollo radical profundo en el subsuelo
- 5 Manejo eficiente de fertilizantes fosforados relacionando con procesos biológicos (micorrizas) y enfatizando el aumento de fuentes baratas de fósforo y prolongando el efecto residual de su aplicación
- 6 Maximizar el uso de la fijación biológica de nitrógeno, con énfasis en cepas de Rhizobium tolerantes a la acidez del suelo

- 7 Identificar y corregir las deficiencias de otros nutrientes esenciales para las plantas mediante prácticas eficientes en la relación suelo-planta o suelo-planta-animal
- 8 Enfatizar la evaluación y cuantificación del reciclaje de nutrientes en cualquier tipo de sistema agrícola o pecuario

3.1 Selección de Áreas

Seleccionar áreas con suelos y posiciones fisiográficas más apropiadas para aplicar una tecnología de alta, intermedia y baja intensidad, debe constituir el primer paso. En esta selección se deben dejar las mejores tierras en términos de su alta fertilidad natural, su potencial de riego o su proximidad a los mercados para tecnologías agrícolas o pecuarias intensas. En América Tropical, desafortunadamente no siempre éste es el caso. Comúnmente se encuentran valles donde los mejores suelos de la parte baja están sometidos a sistemas de manejo extensivo con el uso de bajos insumos, en tanto que en terrenos adyacentes con pendientes elevadas se hacen intentos por usar una agricultura intensiva. En muchos casos, esto se debe a los sistemas de tenencia de la tierra. Se deberían hacer esfuerzos por intensificar la producción en aquellos suelos con las menores limitaciones químicas.

Los esquemas de evaluación en gran escala han mejorado el entendimiento de las áreas adecuadas para cada tipo de tecnología en América Tropical. Aproximadamente el 6% de la Amazonia (30 millones de hectáreas) está dominado por suelos bien drenados y con un alto nivel de bases, los cuales se clasifican como Alfisoles, Inceptisoles, Vertisoles y Mollisoles (Cochrane y Sanchez, 1981). La alta fertilidad de estos suelos ofrece una ventaja comparativa para la producción intensiva de cultivos alimenticios anuales o para la utilización

de cultivos susceptibles a la acidez del suelo como el cacao (Theobroma cacao) Además, el mismo estudio indica que el Amazonas tiene alrededor de 116 millones de hectáreas con suelos mal drenados en planicies inundables o pantanos y que representan un 24% de la cuenca amazónica Algunas de las áreas inundables de tipo aluvial ya se encuentran en uso intensivo, tales como muchas "várzeas" en Brasil y muchas "restingas" en Perú y Ecuador Sin embargo, los riesgos de inundación limitan el potencial de producción en las topografías más bajas

Por otras razones diferentes, se debe dar baja prioridad a los suelos ácidos e infértiles con limitaciones físicas severas, tales como una capa arable superficial, pendientes pronunciadas y suelos con arena gruesa clasificados como Psamments o Spodosols, que a menudo son llamados "Podzoles tropicales" Este último grupo de suelos tiene una baja fertilidad natural extrema y presentan riesgos de lixiviación y erosión Este último grupo cubre alrededor de 41 millones de hectáreas equivalentes a un 8.5% de la Amazonía (Cochrane y Sánchez, 1981) Los Psamments y Spodosols representan sólo el 2.2% de la Amazonía y presentan en forma combinada las peores limitaciones edáficas tanto físicas como químicas

El área total en la región amazónica en donde puede aplicarse la tecnología de bajos insumos es, en consecuencia, del orden de 275 millones de hectáreas o 57% de la cuenca amazónica con Oxisoles y Ultisoles que tienen pendientes menores que un 8%

En las regiones de sabana de América Tropical resulta más fácil priorizar los suelos para cada tipo de tecnología, pero los criterios son los mismos que en las regiones de bosque Algunas de las islas de suelos de alta fertilidad ya se encuentran en producción intensiva, como los Llanos Orientales de Venezuela

Los suelos superficiales y los suelos de pendientes pronunciadas se pueden identificar fácilmente en las sabanas. Las extensas áreas de planicies inundables estacionalmente, tales como parte de los Llanos Occidentales de Venezuela y su extensión hacia Colombia y parte del Beni de Bolivia y el Pantanal en Brasil, requerirán una estrategia de uso y manejo diferente.

El Estudio sobre Recursos de Tierra de América Tropical por el Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT, 1978), indica que en las regiones de sabana existen 71 millones de hectáreas con Oxisoles y Ultisoles que tienen pendientes menores del 8%. Estas tierras corresponden aproximadamente al 24% de las regiones de sabana y es en ellas en donde, en principio, los diferentes tipos de tecnologías (alta, intermedia, baja), en función de factores socioeconómicos y presencia de infraestructura, pueden ser aplicadas. Adicionalmente, existen 19 millones de hectáreas de sabanas con Oxisoles y Ultisoles con pendientes entre 8-30% que podrían ser usadas en sistemas pecuarios (producción de carne).

Aunque las generalizaciones anteriores proporcionan un panorama general, la selección real de áreas debe hacerse en sitios específicos. Los parámetros edáficos no son en sí suficientes para una selección apropiada. En consecuencia, la clasificación de tierras es una herramienta más útil debido a que considera, además de las características edáficas, el clima, la fisiografía, la vegetación nativa y la infraestructura. El enfoque de los sistemas de tierra usado en el Estudio de Recursos de Tierras del CIAT parece ser un método apropiado para evaluar el potencial de estas extensas áreas. Usando una escala de 1:1 millón, alrededor de 500 sistemas han sido identificados hasta el presente y cada sistema representa un patrón repetitivo de clima, suelo, fisiografía y vegetación (Cochrane, 1979). Los suelos y el clima se

clasifican según sistemas técnicos tales como el índice de humedad disponible (Hargreaves, 1977, Hancock et al , 1979) y el Sistema de Clasificación de Suelos por su Fertilidad (Buol et al , 1975) Los datos se agrupan en cintas de computadora (Cochrane et al , 1979) y los usuarios de estas cintas pueden examinar mapas elaborados en computadora de regiones específicas, identificando uno o varios parámetros, tales como suelos superficiales o suelos con una saturación de aluminio mayor del 60% a una cierta profundidad

En Brasil se ha desarrollado una modificación del Sistema de Clasificación de Tierras por su Capacidad de Uso del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (USDA), tomando en cuenta la realidad del medio ambiente tropical Ramalho et al , (1978) redefinió las clases de capacidad de uso de las tierras en términos de alto, moderado y bajo uso de insumos Niveles altos de insumos significa un uso intensivo de fertilizantes, cal, mecanización y otra tecnología nueva Uso "moderado" de insumos implica utilización limitada de fertilizantes y de mecanización agrícola Esto corresponde al concepto de la tecnología de bajos insumos dado por Sánchez y Salinas (1981) El "bajo" uso de insumos de Ramalho y colaboradores, implica trabajo manual y poca o ninguna aplicación de insumos Este sistema interpretativo ha sido aplicado al levantamiento de suelos RADAM en la Amazonía brasileña (Ministerio de Minas y Energía, 1973-1979)

Consecuentemente, para definir los sistemas de tecnología a usar en el manejo de Oxisoles y Ultisoles, es apropiado seleccionar suelos con pendientes menores que el 8% Los suelos con un alto contenido de bases deben ser utilizados más intensivamente y evitar suelos ácidos con limitaciones físicas severas tales como pendientes pronunciadas, capa arable superficial, los Spodosoles y suelos mal drenados o suelos inundables estacionalmente

3 2 Selección de Especies y Variedades Tolerantes a las Limitaciones Edáficas de Oxisoles y Ultisoles

Existe una amplia base de germoplasma de cultivos anuales, cultivos permanentes, cultivos arbóreos y especies de pastos tolerantes a la acidez y adaptados a las condiciones tropicales de América Latina. Además, la selección en programas de mejoramiento genético puede suministrar variedades tolerantes a la acidez a partir de especies que por lo general son sensibles. Sin embargo, el grado de cuantificación de estas diferencias es limitado. Se necesita una clasificación más sistemática sobre cuáles son los niveles críticos de tolerancia de cada variedad o especie importante. Dicho sistema de clasificación de plantas podría ligarse con los sistemas actuales de clasificación de suelos con el fin de comparar mejor las características de la planta con los factores edáficos limitantes. Existen en la literatura numerosos estudios sobre la selección de especies y variedades de plantas tolerantes a las limitaciones edáficas de Oxisoles y Ultisoles (Ayarza y Salinas, 1982, Salinas, 1978, Sánchez y Salinas, 1981, Spain, 1981).

La característica básica de cualquier tecnología a desarrollar para el uso y manejo de Oxisoles y Ultisoles es dar el uso más eficiente a los insumos adquiridos, sembrando especies o variedades que sean más tolerantes a los factores limitantes existentes en el suelo y, de esta forma, disminuir las tasas de aplicación de fertilizantes, para obtener una producción económicamente viable.

Aunque el conocimiento básico sobre la adaptación de las plantas a las condiciones adversas del suelo ácido (Levit, 1978) ha estado disponible durante décadas, sólo hasta hace pocos años se iniciaron estudios sistemáticos para desarrollar la tecnología basada en este concepto (Foy y Brown,

1964, Spain et al , 1975, NCSU, 1975, Foy y Fleming, 1978, Loneragan, 1978) Dichos esfuerzos han causado una controversia considerable y algunas malas interpretaciones, tales como la creencia de que pueden desarrollarse cultivos "a prueba de fertilizantes" y la preocupación de que ocurra una degradación del suelo y de los nutrientes disponibles

3.3 Manejo de la Acidez del Suelo

Las limitaciones de la acidez del suelo son eliminadas en las regiones templadas y aun en muchas áreas tropicales mediante el encalado para subir el pH próximo a la neutralidad. Esta estrategia no funciona en la mayoría de los suelos ácidos clasificados como Oxisoles y Ultisoles, debido a la baja actividad química de los minerales arcilla que manifiestan estos suelos y que a menudo resulta en una disminución de los rendimientos cuando estos suelos son encalados próximos a la neutralidad (Kamprath, 1978) además, los costos de transporte de la cal son en la mayoría de los casos, muy elevados en varias áreas de sabanas y bosques. Sin embargo, las principales limitaciones de la acidez del suelo (toxicidad de aluminio y/o manganeso y deficiencias de calcio y magnesio) deben ser atenuadas para tener una agricultura exitosa en estas regiones.

Tres estrategias principales son empleadas para atenuar las limitaciones de la acidez de estos suelos sin la aplicación masiva de cal: (1) Encalar para reducir la saturación de aluminio por debajo de niveles tóxicos para sistemas agrícolas específicos, (2) Aplicar cal dolomítica para suministrar calcio y magnesio como nutrientes y promover su movimiento al subsuelo y, (3) Usar especies y variedades tolerantes a la toxicidad de aluminio y/o manganeso

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 del calcio y deficiencia del magnesio. A su vez, son engañosas las aceveraciones 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 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 nutrientes esenciales. Las aplicaciones de cal en pequeñas dosis son probablemente menos costosas por unidad de nutriente 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 estrés por la sequía.

3.4 Manejo del Fosforo

El fósforo es uno de los nutrimentos más limitantes en la mayoría de los suelos ácidos tropicales, tales como los Oxisoles y Ultisoles, así como también en suelos derivados de cenizas volcánicas (Andepts). La capacidad de fijación de fósforo en estos suelos en formas no inmediatamente disponibles para las plantas, presenta también varias implicaciones agro-económicas y que es probable afirmar que esta situación es representativa de vastas áreas en América Tropical.

En los ecosistemas de sabana y bosque con suelos clasificados como Oxisoles y Ultisoles, el estimado de la deficiencia de fósforo asciende a un 96% del área (Cuadro 3). Los problemas de la deficiencia de fósforo, en estos suelos están en relación con la fijación de fósforo, la cual generalmente aumenta con el contenido de arcillas debido a su relación directa con el área superficial en donde se localizan los óxidos y hidróxidos de hierro y aluminio y que son los responsables en gran parte de la fijación del fósforo (Pope, 1976, Lopes y Cox, 1979, Sánchez y Uehara, 1980). La alta fijación de fósforo se considera como una de las principales razones por las cuales extensas áreas de tierras arables en sabanas de América Tropical se encuentran subutilizadas (León y Fenster, 1980).

El costo unitario relativamente alto de los fertilizantes fosforados junto con la ampliamente difundida deficiencia y fijación de fósforo, exige que para estos suelos se desarrollen tecnologías que puedan hacer un uso más eficiente del fósforo aplicado. Salinas y Sánchez, (1976), Fenster y León (1979a,b), León y Fenster (1979a,b, 1980) y Sánchez y Uehara (1980) han sugerido estrategias similares con el fin de desarrollar sistemas de manejo apropiados para el fósforo en cultivos y pasturas de los suelos ácidos.

de América Tropical. La estrategia consta al presente, de seis componentes principales, cinco de los cuales se encuentran relativamente bien establecidos: (1) la determinación de la combinación más apropiada de métodos y dosis de aplicación para estimar los efectos iniciales y residuales; (2) el mejoramiento de los procedimientos de evaluación de la fertilidad del suelo para hacer recomendaciones de aplicación de fósforo; (3) el uso de fuentes de fósforo menos costosas, tales como las rocas fosfóricas, ya sea solas o en combinación con superfosfato; (4) el uso de cantidades moderadas de cal para aumentar la disponibilidad de fuentes solubles de fósforo; (5) la selección de especies y variedades que puedan crecer bien en condiciones de niveles menores de fósforo aprovechable en el suelo; y (6) la exploración de las posibilidades prácticas de las asociaciones de micorrizas para aumentar la absorción del fósforo por las plantas.

En conclusión, se puede afirmar que con frecuencia, el fósforo es el insumo comprado más costoso en Oxisoles y Ultisoles de América Tropical. Excepto en las tierras recientemente desmontadas en bosques húmedos, la fertilización fosforada es casi siempre esencial para sistemas de producción continua de cultivos o pastos. La alta capacidad de fijación de fósforo de los Oxisoles y Ultisoles francos y arcillosos ha hecho surgir temores por las grandes cantidades de fósforo que se requerirían para estas extensas áreas. Cinco de los principales componentes de la tecnología de manejo de suelos con bajos insumos, ya sea aplicados individualmente o preferiblemente juntos, pueden reducir considerablemente los requerimientos de fósforo y así aumentar la eficiencia de utilización de esta fuente básica.

3.5 Manejo de Otros Nutrientes en Oxisoles y Ultisoles

Además de las toxicidades de aluminio y manganeso, las deficiencias de calcio, magnesio y fósforo y la alta fijación de fósforo, muchos Oxisoles y Ultisoles de América Tropical también son deficientes en otros nutrientes esenciales, especialmente nitrógeno, potasio, azufre, zinc, cobre, boro y molibdeno (Sánchez, 1976, Spain, 1976, Lopes, 1980) Este síndrome de baja fertilidad en ocasiones ha provocado que estos Oxisoles menos fértiles se les considere como "desiertos de fertilidad"

La baja fertilidad natural de Oxisoles-Ultisoles no se puede eliminar sin insumos significativos de fertilizantes. Hay varios medios disponibles para disminuir los requerimientos globales de fertilizantes. Sin embargo, la necesidad de la fertilización nitrogenada puede ser básicamente eliminada en sistemas de pasturas a base de leguminosas mediante el uso de cepas de Rhizobium tolerantes a la acidez en asociación con especies de leguminosas tolerantes a la acidez. Esto también es posible con las leguminosas de grano tolerantes a la acidez, pero definitivamente no lo es para especies cereales y cultivos de raíces. El efecto residual del nitrógeno fijado por una leguminosa para un cultivo no leguminoso ya sea intercalado o en rotación parece ser muy bajo puesto que la mayor parte del nitrógeno es removido a la cosecha. El aumento de la eficiencia de la fertilización nitrogenada para especies no leguminosas se puede lograr mediante el mejoramiento de la época y el método de aplicación de los fertilizantes. Es poco lo que se conoce acerca de la eficiencia de la fertilización nitrogenada de cultivos de cereales tolerantes a la acidez.

Las deficiencias de potasio y azufre están ampliamente difundidas y, en el caso de la deficiencia de azufre, esta se halla aún más debido al uso de

fertilizantes con mayor concentración de los elementos mayores. La identificación de deficiencia de estos nutrientes y de micronutrientes es una brecha considerable en América Tropical. Esta se puede superar mediante servicios efectivos de evaluación de la fertilidad del suelo, incluyendo el establecimiento de niveles críticos y recomendaciones de fertilizantes.

El reciclaje de nutrientes se debe promover, pero en sistemas de producción de cultivos, las posibilidades parecen ser muy limitadas a la utilización de los residuos de cosecha. Es necesario cuantificar la magnitud del reciclaje de nutrientes en sistemas de pasturas y en sistemas silviculturales.

4 EVALUACION COMPARATIVA DE TECNOLOGIAS PARA EL MANEJO DE LOS SUELOS ACIDOS

Secciones anteriores han descrito en forma resumida diversos componentes de tecnologías de manejo de suelos que se pueden utilizar en los suelos ácidos del trópico en América. Obviamente, cada componente no se puede aplicar a todas las situaciones o sistemas agrícolas en esta extensa área objetivo, algunos componentes son mutuamente excluyentes. Igualmente, hay varios componentes que se encuentran razonablemente bien desarrollados y listos para la validación local, en tanto que otros son apenas observaciones preliminares. Sin embargo, globalmente representan filosofías de manejo de suelos del trópico.

4.1 Enfoque de Bajos Insumos Versus Altos Insumos

En el término "tecnología de bajos insumos" hay bastante ambigüedad. Qué tan bajo es bajo y en comparación con qué? Los términos "cero insumos" e "insumos mínimos" también se han utilizado. El primero no es apropiado.

puesto que en la mayoría de los sistemas cero insumos resulta en cero producción. Bajos insumos, en contraposición con insumos intermedios o altos, merecen alguna cuantificación. Sanchez y Salinas (1981) sugieren que *la tecnología de bajos insumos para los suelos ácidos del trópico es la necesaria para obtener aproximadamente un 80% de los rendimientos máximos del germoplasma tolerante a la acidez mediante el uso más eficiente de los suelos, fertilizantes y cal*. Los mismos autores muestran que es biológicamente factible alcanzar niveles adecuados de rendimiento con la tecnología y el germoplasma disponible a un nivel de insumos considerablemente menor que mediante el uso de la tecnología y el germoplasma tradicional.

¿Qué es lo malo de la tecnología tradicional de altos insumos que ha sido la base de gran parte de nuestra producción actual mundial de alimentos? Desde el punto de vista agronómico, es poco lo malo que tiene. Si fuéramos agricultores en una región de Oxisoles y el gobierno nos diera a escoger entre superar los principales factores limitantes edáficos mediante la financiación de aplicaciones masivas de fósforo, suficiente cal y sistemas suplementarios de riego y la alternativa de poner en práctica los componentes descritos en esta revisión, inmediatamente tomaríamos la primera alternativa. Como agricultores veríamos el valor de nuestra tierra aumentando, al transformarse de tierras marginales a tierras excelentes por la aplicación de insumos.

Sin embargo, dichas oportunidades son la excepción en vez de la regla en las regiones de suelos ácidos de América Tropical. La magnitud del capital necesario para invertir y aplicar la tecnología de altos insumos a estos suelos, normalmente va más allá de los recursos de la mayoría de los

gobiernos y de las organizaciones privadas. Las prioridades políticas también dictaminan que la intensificación agrícola mediante un alto nivel de insumos, se localice en donde esté la gran concentración de agricultores, generalmente en suelos con un alto nivel de bases.

Los costos crecientes de los insumos relacionados con el petróleo y el énfasis mundial de conservar los recursos naturales de la tierra anteponen restricciones adicionales al enfoque de "máximos insumos". Las metas de desarrollo de muchos países tropicales requieren que tanto los productores como los consumidores de recursos limitados sean los principales beneficiarios de la tecnología agrícola mejorada. Nickel (1979) indicó que si los consumidores de bajos ingresos han de beneficiarse, los aumentos en la producción de alimentos se deben lograr a costos unitarios más bajos. Estos bajos costos unitarios se pueden alcanzar mediante tecnología que tenga una base biológica la cual con frecuencia es de aplicación neutra. Para asegurar que los productores de bajos recursos tengan acceso a esta tecnología, no debe depender de grandes cantidades de insumos comprados. *En consecuencia, la principal justificación de la tecnología de manejo de suelos con bajos insumos en regiones de Oxisoles-Ultisoles de América Tropical, es de naturaleza socioeconómica y no agronómica.*

En el pasado, los agricultores se ajustaron a su falta de poder adquisitivo aplicando cantidades bajas de insumos a un sistema agrícola diseñado para operar mejor a niveles altos de insumos. Ejemplos de estos abundan en América Latina, en donde las deficiencias de nutrientes son evidentes en muchos campos. Muchos agricultores saben que sus cultivos podrían dar mayores rendimientos si se les aplicara más fertilizantes a las variedades con alto potencial de rendimiento, pero no pueden comprar

más o no se atreven a hacerlo debido al alto riesgo involucrado. Otro ejemplo es el intento en gran escala de la producción de ganado de carne en Oxisoles y Ultisoles del Amazonas de Brasil mediante la siembra de Panicum maximum sin fertilización fosforada. Este es claramente el caso de la ignorancia de factores limitantes edáficos muy obvios. Como lo ha mencionado repetidamente Paulo Alvim en reuniones acerca del Amazonas, "la agricultura es diferente de la minería". Los agricultores deben adicionar fertilizantes con el fin de sostener la producción, inclusive en los mejores suelos de las regiones templadas.

La tecnología de manejo de suelos con bajos insumos para estos suelos ácidos es diferente de la adopción parcial de la tecnología de altos insumos. *La tecnología de bajos insumos no es menos o lo mismo sino una manera diferente de manejar el suelo.* El adelanto fundamental ha sido la identificación de especies y variedades importantes que pueden tolerar grados significativos de factores limitantes impuestos por la acidez del suelo. Entonces, es cuestión de determinar la cantidad de fertilizante y de cal que estas especies tolerantes requieren para producir un 80% de su rendimiento máximo en forma sostenida.

4.2 Productividad de los Sistemas de Altos y Bajos Insumos

Los sistemas de manejo de suelos de altos insumos agrónomicamente viables producen casi invariablemente rendimientos más altos que los sistemas de bajos insumos definidos aquí. Hay varias razones que responden a esta observación. Cuando se eliminan los factores limitantes edáficos mediante fertilización, enclavamiento y riego, es posible utilizar especies y variedades que presentan un mayor rendimiento potencial absoluto que las variedades

tolerantes a la acidez disponibles hasta el momento. La razón de esta diferencia es muy simple. Los fitomejoradores se han concentrado tradicionalmente en el aumento del rendimiento potencial en ausencia de factores limitantes edáficos. El mejoramiento genético para combinar los distintos atributos del alto rendimiento con la tolerancia a la acidez es aún incipiente. Sin embargo, no hay variedades de arroz tolerantes al aluminio con el potencial de rendimiento de IR8. Andropogon gayanus no tiene el potencial de producción o la calidad nutricional que Pennisetum purpureum fertilizado en forma intensiva, pero su apetecibilidad por el ganado es alta. Stylosanthes guianensis no supera a la alfalfa en términos de su calidad en condiciones óptimas.

Esta limitación es probablemente cuestión de tiempo puesto que algunas tolerancias a los estreses de la acidez del suelo están controladas por uno o dos genes, que con frecuencia son dominantes (Rhue, 1979). En consecuencia, la combinación de la tolerancia a la acidez con el alto rendimiento potencial parece factible desde el punto de vista del fitomejoramiento. Sin embargo, el mejoramiento genético por la tolerancia a la acidez del suelo apenas está comenzando. La mayor parte del trabajo en este campo está basado en la selección del germoplasma preexistente y no de poblaciones segregantes producidas por un programa de mejoramiento genético por tolerancia a la acidez. Es necesario intensificar el trabajo conjunto entre los fitomejoradores y los científicos especialistas en suelos. Su beneficio podría ser tan importante como los esfuerzos exitosos de los fitomejoradores con los patólogos y entomólogos en el mejoramiento de la resistencia a enfermedades o insectos. En efecto, el beneficio puede ser aún mayor puesto que las variedades tolerantes a la acidez pueden tener

un espectro de tiempo útil más prolongado que las variedades tolerantes a enfermedades o insectos. El ión aluminio no muta hacia una raza más virulenta como sí ocurre con muchos hongos o cepas de bacterias.

4.3 Minería del Suelo o Mejoramiento del Suelo?

Se ha manifestado que las especies de plantas tolerantes a las limitaciones de los suelos ácidos, particularmente las tolerantes a niveles más bajos de fósforo aprovechable, pueden agotar completamente la baja reserva de nutrientes que tienen estos suelos y dejarlos totalmente inútiles. La tecnología de bajos insumos a veces se considera como el último esfuerzo para extraer el último poco de fertilidad de estos suelos.

Este argumento se debe analizar en términos de las reservas totales del suelo, las cantidades de fertilizantes que se deben agregar y la extracción total de nutrientes.

Mediante el crecimiento continuo de plantas, la disponibilidad de ciertos nutrientes en el suelo disminuye eventualmente por debajo del nivel crítico. En Oxisoles y Ultisoles, esto ocurre relativamente rápido con el nitrógeno y el potasio, elementos que son muy móviles en su forma aprovechable. El agotamiento del nitrógeno es muy poco factible debido a la gran reserva en la fracción orgánica y su reposición mediante descomposición radical, fijación de nitrógeno y otros factores en el sistema agrícola. Los contenidos de materia orgánica no son generalmente diferentes a los principales suelos de la región templada (Sanchez, 1976). La situación con el azufre es similar. La tasa de agotamiento del potasio depende de la reserva del suelo en forma no intercambiable, principalmente en minerales de las arcillas. Las reservas de potasio de estos suelos

comúnmente proporcionan menos que el nivel crítico generalmente aceptado de 0.15 meq/100 g. Por consiguiente, se establece un equilibrio entre el potasio aprovechable (intercambiable) y el no intercambiable. Este nivel no logrará sostener un crecimiento rápido de las plantas pero no disminuirá las reservas de potasio en el suelo a cero. Como los residuos de cosecha o las pasturas maduras presentan generalmente altos niveles de este elemento, generalmente ocurre algún grado de reciclaje.

El potencial de "minería" del calcio, magnesio, zinc, hierro, cobre, boro, manganeso y molibdeno parece menos factible, puesto que las cantidades removidas por las cosechas de las plantas son muy pequeñas en comparación con las reservas totales de los suelos en Oxisoles y Ultisoles. Igualmente, las formas aprovechables de estos elementos son menos móviles en los suelos y, por consiguiente, están menos sujetas a pérdidas.

Esto nos deja al fósforo, el elemento alrededor del cual se presenta la mayoría de los argumentos sobre la "minería del suelo". El contenido total del fósforo en la capa superficial de Oxisoles y Ultisoles oscila entre 100 y 200 ppm de P, en comparación con el nivel de aproximadamente 3000 ppm de P en los suelos de arcillas de alta actividad con un alto nivel de bases de la región occidental central de Estados Unidos y regiones templadas similares (Sánchez, 1976). Sin embargo, algunos Oxisoles presentan contenidos muy altos de fósforo, tales como el Eustrótox del Cerrado de Brasil (Moura et al., 1971), pero la poca información disponible indica que la mayoría de los Oxisoles y Ultisoles presentan por lo general bajos niveles de fósforo.

4 4 Necesidades de Investigación

Esta revisión ha mostrado la factibilidad del enfoque de tecnologías de altos y bajos insumos y presentó ejemplos de los componentes de ambas tecnologías de manejo de suelos. Las instituciones de investigación responsables del desarrollo de sistemas agrícolas y pecuarios para suelos representativos posiblemente querrán integrar los componentes que son pertinentes a su situación en sus sistemas agrícolas. Por consiguiente, la primera prioridad de investigación en la mayoría de las situaciones es desarrollar totalmente los componentes de esas tecnologías para un sistema agrícola o pecuario en particular.

Esta revisión también presenta varias brechas importantes en el conocimiento. Una lista parcial de estas brechas en el conocimiento es la siguiente:

- 1 *Caracterización de las principales variedades de ecotipos promisorios de las principales especies de cultivos anuales, pastos y cultivos permanentes por su tolerancia a las distintas limitaciones impuestas por la acidez del suelo en términos de los niveles críticos cuantitativos.* Dadas las interacciones entre los niveles de aluminio, calcio y fósforo disponible en el suelo, se deben especificar los factores que se mantienen constantes. Estos factores constantes deben reflejar los niveles encontrados en el sistema edáfico-agrícola particular, no necesariamente eliminándolos como limitantes. En el caso de especies leguminosas, se deben utilizar plantas inoculadas con una cepa de Rhizobium apropiada.
- 2 *La caracterización de los niveles críticos por pruebas de suelos para las deficiencias o toxicidades de nutrientes en los principales tipos*

de suelos para especies y variedades utilizadas en diferentes sistemas agrícolas y pecuarios. Las principales brechas se encuentran en los nutrientes secundarios y en los micronutrientes.

- 3 *El desarrollo de medios para interpretar los sistemas de evaluación de tierras en términos de los requerimientos de tecnología de altos y/o bajos insumos*
- 4 *El estudio de los cambios en las propiedades del suelo tanto químicas como físicas, con el tiempo, en las principales situaciones de los sistemas edáficos-agrícolas. Estos estudios permitirían predecir los cambios en la dinámica de los nutrientes o en la deterioración física del suelo y corregir estos cambios antes de que ocurran. La información sobre dinámica del suelo es escasa y generalmente refleja un período de tiempo muy corto. También se requieren estudios a largo plazo para observar los cambios en las propiedades del suelo a fin de establecer una mejor comprensión de lo que ocurre en suelos manejados mediante sistemas de bajos insumos. Los interrogantes acerca del grado de reciclaje de nutrientes, la cantidad de nitrógeno residual en sistemas que incluyen leguminosas y la eficiencia del uso de fertilizantes podrían ser respondidos mediante estos estudios a largo plazo de las propiedades del suelo y sus relaciones con la producción de plantas.*
- 5 *Los sistemas de agrosilvicultura se deben cuantificar. La mayor parte de la información en este trabajo se relaciona con cultivos alimenticios anuales y pasturas. Es necesario establecer una base de datos sobre sistemas agrícolas que incluyen especies forestales solas o en combinación con cultivos anuales y pasturas.*

- 6 *El aumento de la fertilidad del subsuelo requiere trabajo adicional considerable* Se requiere una mayor comprensión básica sobre la química del movimiento del calcio y del magnesio, como también de otros factores que alivian la toxicidad de aluminio en subsuelo por medio de la inoculación
- 7 *La tolerancia a los bajos niveles de fósforo aprovechable requiere una mayor comprensión* Las teorías y los estudios de invernadero sobre la capacidad diferencial de las plantas para acidificar su rizósfera (Israel y Jackson, 1978, Van Raij y Van Diest, 1979) se deben probar y validar en las condiciones de Oxisoles-Ultisoles
- 8 *Los distintos componentes de la tecnología de manejo del fósforo en bajos insumos se debe reunir en un solo paquete* Es posible combinar para sistemas específicos de suelos-agricultura las mejores fuentes, dosis, métodos de aplicación y la interacción con variedades tolerantes a bajos niveles de fósforo aprovechable, inoculación con Rhizobium e inoculación potencial de cepas mejoradas de micorrizas. Es necesario desarrollar fuentes de fertilización de fósforo mejoradas o menos costosas
- 9 *Adaptar las especies o variedades de leguminosas tolerantes a la acidez del suelo con cepas de Rhizobium*, con el fin de hacer que ambas sean compatibles al mismo grado de los estreses impuestos por la acidez del suelo y para favorecer la persistencia de los rizobios en el suelo
- 10 *El desarrollo de nuevos métodos para mejorar la eficiencia de la fertilización nitrogenada en cultivos no leguminosos y de la fertilización con potasio en todos los cultivos* La baja recuperación de los fertilizantes nitrogenados y potásicos es un obstáculo considerable que no permite disminuir los costos unitarios

5 BIBLIOGRAFIA

- Alvim, P T 1976 Desarrollo Rural Am 8 187-194
- Ayarza, M A y J G Salinas 1982 Suelos Ecuatoriales 12 110-126
- Bentley, C F , H Holowaychuck, L Leskiw y J A Toogood 1980 En "Bonn Conference on Agricultural Production Report" Rockefeller Foundation, New York
- Buringh, P , H D J van Heemst y C J Staring 1975 "Computation of the Absolute Maximum Food Production of the World" Agricultural Univ , Wageningen, Netherlands
- Buol, S W , P A Sánchez, R B Cate, Jr y M A Granger 1975 En "Soil Management in Tropical America" (E Bornemisza y A Alvarado, eds), pp 126-141 North Carolina State Univ , Raleigh
- CIAT 1978 "Annual Report for 1977" Centro Internacional de Agricultura Tropical, Cali, Colombia
- Cochrane, T T 1979 En "Pasture Production in Acid Soil of the Tropics" (P A Sanchez y L E Tergas, eds), pp 1-12 Centro Internacional de Agricultura Tropical, Cali, Colombia
- Cochrane, T T y P A Sánchez 1981 En "Amazon Agricultural and Land Use Research" Centro Internacional de Agricultura Tropical, Cali, Colombia (en impresión)
- Cochrane, T T , J A Porras, L G Azevedo, de, P Jones y L F Sanchez 1979 "An Explanatory Manual for CIAT's Computerized Land Resource Study of Tropical America" Centro Internacional de Agricultura Tropical, Cali, Colombia
- Dewitt, C T 1967 En "Harvesting the Sun" (A San Pietro, F A Greer y T J Army, eds), pp 315-320 Academic Press, New York

- Dudal, R 1980 In "Priorities for Alleviating Soil Related Constraints to Food Production in the Tropics", pp 23-37 International Rice Research Institute, Los Baños, Philippines
- Fenster, W E y L A León 1979a En "Pasture Production in Acid Soils of the Tropics" (P A Sánchez y L E Tergas, eds), pp 109-122 CIAT, Cali, Colombia
- Fenster, W E y L A León 1979b En "Seminar on Phosphate Rock for Direct Application", pp 174-210 International Fertilizer Development Center, Muscle Shoals, Alabama
- Foy C D y J C Brown 1964 Soil Sci Soc Am Proc 28 27-32
- Foy, C D y A L Fleming 1978 Am Soc Agron Spec Publ 32 301-328
- Goodland, R J A y H S Irwin 1975 "Amazon Jungle Green Hell to Red Desert?" Elsevier, Amsterdam
- Hancock, J K , R W Hill y G H Hargreaves 1979 "Potential Evapotranspiration and Precipitation Deficits for Tropical America" CIAT, Cali, Colombia
- Hargreaves, G H 1977 "World Water for Agriculture Climate, Precipitation Probabilities and Adequacies for Rainfed Agriculture" Utah State University, Logan
- Israel, D W y W A Jackson 1978 En "Mineral Nutrition of Legumes in Tropical and Subtropical Soils" (C S Andrew y E J Kamprath, eds), pp 113-130 CSIRO, Melbourne, Australia
- Kramprath, E J 1973 En "A Review of Soils Research in Tropical Latin America" (P A Sánchez, ed), pp 138-161, 179-181 North Carolina State Univ , Raleigh
- Kellogg, C E y A C Orvedal 1969 Adv Agron 21 109-170

- León, L A y W E Fenster 1980 "El Uso de Rocas Fosfatadas como Fuente de Fósforo en Suelos Ácidos e Infértiles de Sur América" (IFDC-CIAT, Cali, Colombia)
- Levitt, J 1978 Am Soc Agron Spec Publ 32 161-172
- Loneragan, J F 1978 Am Soc Agron Spec Public 32 329-343
- López, A S 1980 En "Priorities for Alleviating Soil-Related Constraints to Food Production in the Tropics", pp 277-298 IRRI, Los Baños, Philippines
- López, A S y F R Cox 1979 Rev Bras Cienc Solo 3 82-88
- Marchetti, D y A D Machado (eds) 1980 "Cerrado Uso e Manejo" Editeria, Brasilia, Brasil
- McNeil, M 1964 Sci Am 211 96-102
- Moura, W , S W Buol y E J Kamprath 1972 Experientiae (Brazil) 13 235-247
- National Academy of Sciences 1977 "World Food and Nutrition Study The Potential Contributions of Research" National Academy of Sciences, Washington, D C
- NCSU 1975 "Agronomic Economic Research on Tropical Soils" Annual Report for 1974 North Carolina State Univ , Raleigh
- NCSU 1978 "Agronomic-Economic Research on Tropical Soils" Annual Report for 1976-77 North Carolina State Univ , Raleigh
- Nickel, J L 1979 En "CIAT Highlights for 1978", pp 100 CIAT, Cali, Colombia
- Pope, R A 1976 Ph D Thesis, North Carolina State University, Raleigh
- Ramalho Filho, A , E G Pereira and K J Beek 1978 "Sistema de Avaliação da Aptidão Agrícola das Terras" Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos, EMBRAPA, Rio de Janeiro, Brazil

- Rhue, R D 1979 En "Stress Physiology in Crop Plants" (H Mussel and R C Staples, ed), pp 61-80 Wiley, New York
- Salinas, J G 1978 Ph D Thesis North Carolina State University, Raleigh
- Salinas, J G y P A Sánchez 1976 Cien Cult (Brasil) 28 156-168
- Sanchez, P A y J G Salinas 1981 Adv Agron 34 279-406
- Sánchez, C 1977 "Encalamiento de Ultisoles de Sabana" Univ del Oriente, Jusepín, Venezuela
- Sánchez, P A 1976 "Properties and Management of Soils in the Tropics" Wiley, New York
- Sanchez, P A 1977 En "Proc Int Sem on Soil Environment and Fertility Management in Intensive Agriculture", pp 535-566 Soc Sci Soil and Manure, Tokyo, Japan
- Sánchez, P A y T T Cochrane 1980 En "Priorities for Alleviating Soil-Related Constraints to Food Production in the Tropics", pp 107-140 IRRI, Los Baños, Philippines
- Sánchez, P A y G Uehara 1980 En "Phosphorus in Agriculture" (F E Khaswaneh, E Sample y E J Kamprath, eds), pp 471-514 Amer Soc Agron , Madison, Wisconsin
- Soil Conservation Service 1975 U S Dep Agric Handb 436, Washington, D C
- Spain, J M 1979 En "Pasture Production in Acid Soils in the Tropics" (P A Sánchez y L E Tergas, eds), pp 167-175 CIAT, Cali, Colombia
- Spain, J M , C A Francis, R H Howeler y F Calvo 1975 En "Soil Management in Tropical America" (E Bornemisza y A Alvarado, eds), pp 308-329 North Carolina State Univ , Raleigh
- Van Raij, B y A van Diest 1979 Plant Soil 51 557-589
- Vicente-Chandler, J , F Abruña, R Caro-Costas, J Figarella, S Silva y Pearson, R W 1974 Univ P R Agric Exp Sta Bull 223

Cuadro 1 Distribucion de Oxisoles y Ultisoles por pais en Suramerica

| País | Area influida (millares ha) | Proporcion del País (%) | Importancia* |
|-----------|--------------------------------|-------------------------------|--------------|
| Brasil | 572 71 | 68 0 | +++ |
| Colombia | 67 45 | 57 0 | +++ |
| Bolivia | 39 54 | 57 0 | +++ |
| Venezuela | 71 64 | 58 0 | +++ |
| Peru | 56 01 | 44 0 | ++ |
| Paraguay | 9 55 | 24 0 | + |
| Ecuador | 8 61 | 23 0 | + |
| Chile | 1 37 | 2 0 | |
| Argentina | 1 28 | 0 4 | |
| Uruguay | 0 00 | 0 0 | |

* +++ Mas del 50% del país
 ++ mas del 25% del país
 + mas del 10% del país

Fuente Adaptado de Cochiane, T T (1979)

Cuadro 2 Valores promedios de pH y Al intercambiable de suelos de regiones de Colombia con pH igual ó inferior a 5.5

| Region Natural | pH | Al intercambiable (meq/100 g) |
|--------------------------|------|----------------------------------|
| Montañas Andinas | 5.15 | 2.54 |
| Sabana de Bogotá | 5.24 | 1.62 |
| Valle del Alto Magdalena | 5.24 | 1.26 |
| Valle del Cauca | 5.25 | 1.43 |
| Costa Pacífica | 5.32 | 2.23 |
| Costa Atlántica | 5.47 | 0.49 |
| Valle del Bajo Magdalena | 5.40 | 1.57 |
| Llanos Orientales | 4.98 | 2.65 |
| Selva Amazónica* | 4.50 | 3.40 |

Fuente Leon L. A. 1972

* Datos del área de Leticia

CUADRO 3 PRINCIPALES LIMITACIONES EDAFICAS EN AMERICA TROPICAL
(23°N-23°S)

| Limitación Edáfica | Región Suelos Acidos Infértiles ¹ | |
|-----------------------|--|---------------------------------|
| | Area (10 ⁶ ha) | Porcentaje área total (%) |
| DEFICIENCIA | | |
| N | 969 | 93 |
| P | 1002 | 96 |
| K | 799 | 77 |
| Ca, Mg | 740 | 70 |
| S | 742 | 70 |
| Zn | 645 | 62 |
| Cu | 310 | 30 |
| OTRAS | | |
| Toxicidad de Al | 756 | 72 |
| Alta fijación de P | 672 | 64 |

¹ El area de esta region de suelos acidos es aproximadamente
1043 x 10⁶ha

Fuente Adaptado de Sánchez y Salinas, 1981

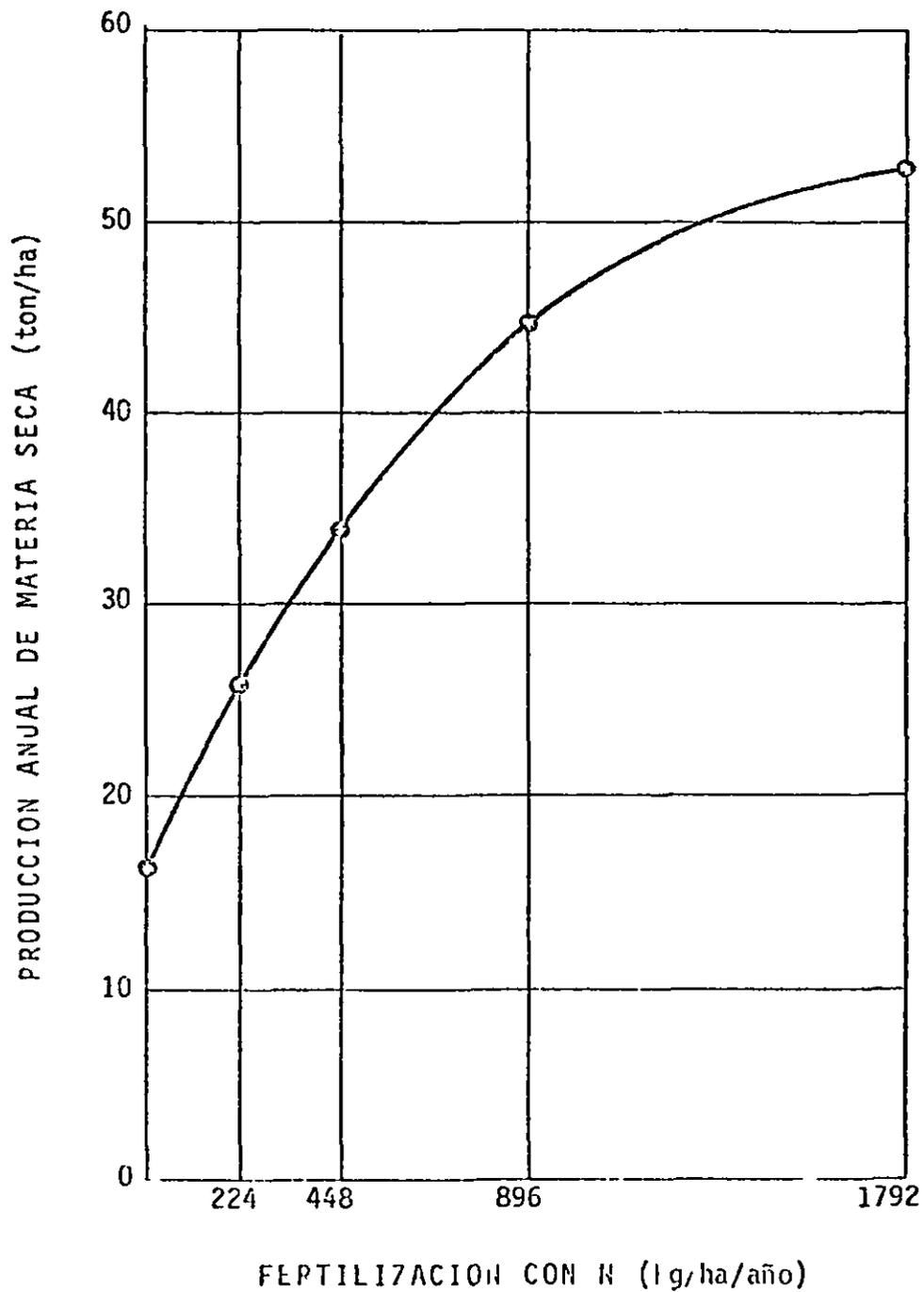


Figura 1 Producción anual de materia seca de *Pennisetum purpureum* cv Napier bajo corte en Ultisoles de las montañas Luquillo de Puerto Rico bajo manejo intensivo
Fuente Vicente-Chandler et al (1974)

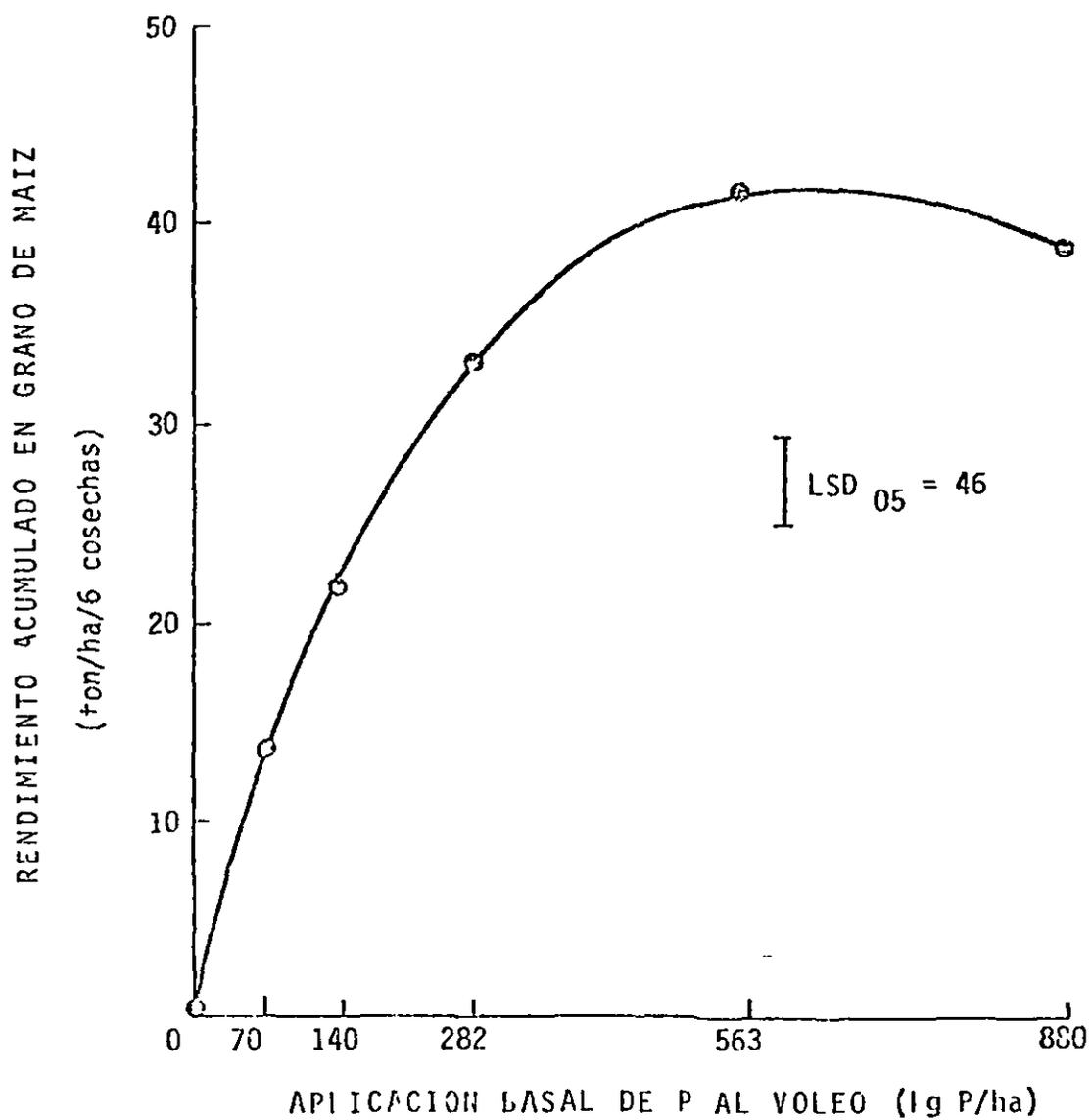


Fig 1a 2 Respuesta del cultivo de maiz a las aplicaciones de fosforo en un Oxisol (Haplustox tipico) del Cerrado de Brasil
 Rendimiento acumulado en grano de seis cultivos consecutivos
 Fuente Adaptado de North Carolina State University (1978)