

OXISOLES Y ULTISOLES DE COLOMBIA Y LATINOAMERICA

CARACTERISTICAS DIAGNOSTICAS IMPLICADAS EN SU USO Y MANEJO

CENTRO DE ECOLOGIA

José G Salinas*

1 INTRODUCCION

Los suelos fuertemente acidos de America Tropical (pH < 5.3) a pesar de constituir el bloque mas extenso de tierra potencialmente arable presentan problemas de manejo que en general han limitado el desarrollo agricola en las areas influidas por estos suelos. Uno de los principales obstaculos para la produccion agricola y pecuaria es la baja fertilidad natural del suelo la cual es inadecuada para sistemas de manejo primitivo y tradicional asi como tambien para una tecnologia directamente transferida de paises con sistemas agricolas altamente desarrollados. La caracteristica diagnostica implicada en el uso y manejo de los suelos del tropico americano es la presencia de un complejo diferencial de infertilidad que identifica la alta acidez toxicidad de la Al y/o Mn y una deficiencia general de macro y micronutrientes en funcion del grado de intensidad del sistema de manejo o recurso a establecer.

La importancia de las limitaciones edaficas muestran que ademas 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 mas en la region de suelos acidos de America Tropical area que constituye aproximadamente la mitad de la extension territorial de America Tropical.

El proposito de este trabajo es presentar un resumen de las tecnologias existentes para el uso y manejo de los suelos acidos bien drenados de baja fertilidad natural existentes en los tropicos de America y que se clasifican en su mayoria como Oxisoles y Ultisoles. Los ejemplos dados son componentes de sistemas globales de produccion que rara vez poseen todos los componentes necesarios que han sido desarrollados para un sistema especifico. La mayoria de los ejemplos provienen de America 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 terminologia de la taxonomia de suelos (Soil Conservation Service 1975) incluyendo los regimenes de humedad del suelo.

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

Al nivel mas amplio de generalizacion existen tres vias esenciales para incrementar la produccion de alimentos en el tropico incrementando la produccion por unidad de area en regiones actualmente cultivadas expandiendo las tierras bajo riego y abriendo nuevas tierras para cultivarlas. La primera y ultima requieren de la disminucion o eliminacion de los limitantes del suelo mientras que la segunda elimina la escasez de agua como el limitante mas importante. Bent et al (1980) examinaron estas tres alternativas y concluyeron que las tres son necesarias aunque la alternativa de riego esta limitada para areas relativamente pequenas y es la mas costosa de las tres. Es poco cuestionable el hecho de que aumentar la productividad en tierras que estan cultivadas es la via principal para elevar la produccion mundial de alimentos. Sin embargo estimativos recientes de la FAO citados por Dudal (1980) muestran que para que la produccion de alimentos por capita permanezca al nivel actual agradecida la produccion de alimentos debe incrementar en un 60% hasta el año 2000. Ademas Dudal estimó que el incremento de los rendimientos en las tierras en actual uso no es suficiente con el fin de alcanzar este proposito en los proximos años sera necesario incorporar 200 millones de hectareas adicionales a la agricultura. Esta cantidad es aproximadamente equivalente al area cultivada actualmente en los Estados Unidos. Sera posible esto? La respuesta depende en gran medida del uso y manejo que se haga de los suelos acidos del tropico.

Actualmente el mundo esta empleando cerca de un 40% de sus recursos de tierras potencialmente arables (Buringh et al 1975). El potencial enorme para la expansion de la frontera agricola del mundo esta en el bosque humedo tropical y en las regiones de sabana ecosistemas dominados por suelos acidos que son clasificados en su mayoria como Oxisoles y Ultisoles (Kellogg y Ovedal 1969 National Academy of Science 1977). Estas extensas regiones poseen en gran proporcion una topografia 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 region y de 6 a 9 meses en el 30% restante (Sanchez 1977). Los principales factores limitantes que

Ph D Fertilidad de Suelos y Nutricion de Plantas Programa de Pastos Tropicales CIAT Cali Colombia

81, 49 Bq, 3 P

destaculizan el desarrollo agricola en estas areas son la baja fertilidad natural del suelo, el transporte limitado y la carencia de una infraestructura de mercado.

La extension aproximada de areas dominadas por Oxisoles y Ultisoles en los tropicos suman un total cerca de 1582 millones de hectareas o sea un 43% del mundo tropical. La concentracion abundante de Oxisoles se presenta en las sabanas de America del Sur, la Amazonia oriental y parte de Africa central. Estos suelos generalmente se encuentran localizados en superficies geologicas antiguas y estables las cuales se tornan atractivas para la agricultura mecanizada.

Los Ultisoles se encuentran dispersos en grandes areas de America Tropical, Africa y el sureste de Asia. Muchas de estas regiones se han desarrollado rapidamente.

En America Tropical, la distribucion de suelos acidos a nivel de pais refleja la importancia de estos suelos en Colombia que junto a Brasil, Bolivia y Venezuela presentan un area que constituye mas del 50% de la extension territorial de cada pais (Cuadro 1).

En el caso especifico de Colombia, los suelos acidos ($pH \leq 5.5$) se han distribuido practicamente en todo el territorio (Cuadro 2) y la mayor incidencia es en una determinada region dependiente principalmente de las condiciones ambientales mas que de la parentela del suelo—procesos de meteorizacion y tiempo de exposicion de estos suelos. Es asi que en las regiones de los Llanos Orientales, Sur y Amazonica, Costanera y areas extensas de la Region Andina, es posible encontrar la mayor concentracion de suelos acidos (Oxisoles y Ultisoles).

Existen otros suelos acidos con propiedades y potenciales similares clasificados como Inceptisoles acidos y bien drenados (Dystrandepts), suelos acidos de cenizas volcanicas (Dystrandepts) y arenas rojas y acidas bien drenadas (Quartzipsamentos Oxic). En este trabajo se excluyen los suelos acidos mal drenados y que tienen un regimen de humedad del suelo acido.

En America Tropical, en un nivel amplio de diagnostico para el uso y manejo de suelos acidos pueden ser subdividida en dos regiones principales con base en los sistemas agricolas y los limitantes del suelo (Sanchez y Cochrane, 1980).

Cerca de un 30% de la America Tropical (405 millones de hectareas) esta dominada por suelos con alto nivel de bases relativamente fertilis que sostiene poblaciones densas. El 70% de la produccion tropical del hemisferio occidental esta dominada por suelos acidos de los ordenes Oxisoles y Ultisoles con densidades de poblacion relativamente bajas y la mayoria bajo vegetacion 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 tropicos (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 (Sanchez, 1977; Marchetti y Machado, 1980), pastos (Vicente Chandler et al., 1974) y cultivos perennes (Alvim, 1976). Este tambien es el caso de los Oxisoles y Ultisoles de Hawaii y los Ultisoles del suroriente de China, los cuales sostienen densas poblaciones.

Los principales limitantes relacionados con los suelos de America tropical y su region de suelos acidos se presentan en el Cuadro 3 con base en estimaciones preliminares. Los mas ampliamente difundidos en las regiones de Oxisoles y Ultisoles son mas de naturaleza quimica que fisica, incluyen las deficiencias de fosforo, nitrogeno, potasio, azufre, calcio, magnesio y zinc, mas la toxicidad por aluminio y la alta fijacion de fosforo. Los limitantes fisicos del suelo mas importantes son la baja capacidad de retencion de agua disponible en muchos Oxisoles y la susceptibilidad a la erosion y compactacion de muchos Ultisoles con textura arenosa en la capa superficial del suelo. El riesgo de la presencia de la termita cubre una extension menor y la mayoria de las plintitas bandadas se presentan en el subsuelo en topografia llana y no propensa a la erosion. En contraste, los limitantes del suelo mas importantes de las regiones con altos niveles de bases en America Tropical son el estres por sequia, deficiencia de nitrogeno y riesgos de erosion (Sanchez y Cochrane, 1980).

Cuando los limitantes quimicos 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 produccion anual de materia seca del pasto elefante (*Pennisetum purpureum*) con fertilizacion intensiva con nitrogeno en Ultisoles de Puerto Rico y donde todos los limitantes de la fertilidad han sido eliminados. Esta produccion se aproxima al potencial maximo 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 maiz del orden de 63 ton/ha/cosecha en un Oxisol arcilloso de Brasilia, Brasil, cuando su alto requerimiento de fosforo se suplio con una aplicacion al voleo de 563 kg de P/ha y se corrigieron los otros limitantes quimicos del suelo mediante encalado y fertilizacion.

Estas estrategias de manejo pueden ser muy beneficas aun a los precios actuales cuando el mercado provee una relacion 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 tipos

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

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

1. 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
2. Desarrollo de prácticas eficientes de desmonte, establecimiento de plantas, sistemas de cultivo y otras con el fin de desarrollar, mantener una cobertura vegetal del suelo
3. 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
4. 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
5. Maximizar el uso de la fijación biológica de nitrógeno con enmiendas de *Rhizobium* tolerantes a la acidez del suelo
6. Identificar y corregir las deficiencias de otros nutrientes esenciales para las plantas mediante prácticas eficientes en la relación 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 densidad debe constituir el primer paso. En esta relación 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 este 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 mejores 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 Mollicisoles (Cochrane y Sánchez 1981). La alta fertilidad de estos suelos ofrece una ventaja comparativa para la producción intensiva de cultivos al mentir los 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 varzeas 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 Amazonia (Cochrane y Sánchez 1981). Los Psamments y Spodosols representan solo el 2.2% de la Amazonia y presentan en forma combi-

nada 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 de 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 puede 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 requieren 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 ella 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 existe 19 millones de hectáreas de sabana 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 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 disponi-

ble (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 Sanchez 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 Amazonia 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 arábol 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 cuales 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 limi-

tantes 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 Sanchez 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 solo 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 Lonergan 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 de 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 (Kampath 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 los 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 acepciones 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 Fósforo

El fósforo es uno de los nutrientes 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 forma 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 e hidróxidos de hierro y aluminio y que son los responsables en gran parte de la fijación del fósforo (Pope 1976 Lopez y Cox 1979 Sanchez y Uehara 1980). La alta fijación de fósforo se considera como una de las principales razones por las cuales extensas áreas de tierra arables en sabanas de América Tropical se encuentran subutilizadas (Leon 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 Sanchez (1976) Fenster y Leon (1979a,b) Leon y Fenster (1979a,b 1980) y Sanchez 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 consiste al presente de seis componentes principales cinco de los cuales se encuentran relacionados bien es aplicados: (1) la determinación de la concentración más apropiada de metales y dosis de aplicación para estimar los efectos iniciales y residuales; (2) el mejoramiento de los procedimientos de evaluación de la fertilidad de suelos para hacer recomendaciones de aplicación; (3) el uso de fuentes de costo o menos costosas como las rocas fosforadas ya sea solas o en combinación con otros nutrientes; (4) el uso de cantidades moderadas de calcio para aumentar la disponibilidad de fuentes solubles de fósforo; (5) la selección de especies y variedades que puedan crecer bien en condiciones de niveles menos de fósforo disponible en el suelo; (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 con inua 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 (Sanchez 1976 Spain 1976 Lopez 1980). Este síndrome de baja fertilidad en ocasiones ha provocado que estos Oxisoles menos fértiles se les considere como de siertos 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 aun 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

Si criterios anteriores han descrito en forma resumida diversos componentes de tecnologías de manejo de suelos que se

pueden utilizar en los suelos acidos del tropico en America. Obviamente cada componente no se puede aplicar a todas las situaciones o sistemas agricolas en esta extensa area. Algunos componentes son mutuamente excluyentes igualmente hay varios componentes que se encuentran razonablemente bien desarrollados y listos para la validacion local en tanto que otros son apenas observaciones preliminares. Sin embargo globalmente representan filosofias de manejo de suelos del tropico.

4.1 Enfoque de Bajos Insumos Versus Altos Insumos

En el termino tecnologia de bajos insumos hay bastante ambigüedad. Que tan bajo es bajo y en comparacion con que? Los terminos cero insumos e insumos minimos tambien se han utilizado. El primero no es apropiado pues to que en la mayoría de los sistemas cero insumos resulta en cero produccion. Bajos insumos en contraposicion con insumos intermedios o altos merecen alguna cuantificacion. Sanchez y Salinas (1981) sugieren que *la tecnologia de bajos insumos para los suelos acidos del tropico es la necesaria para obtener aproximadamente un 80% de los rendimientos maximos del germoplasma tolerante a la acidez mediante el uso mas eficiente de los suelos fertilizantes y cal.* Los mismos autores muestran que es biologicamente posible alcanzar niveles adecuados de rendimiento con la tecnologia y el germoplasma disponible a un nivel de insumos considerablemente menor que mediante el uso de la tecnologia y el germoplasma tradicional.

Que es lo malo de la tecnologia tradicional de altos insumos que ha sido la base de gran parte de nuestra produccion actual mundial de alimentos? Desde el punto de vista agronomico es poco lo malo que tiene. Si fuéramos agricultores en una region de Oxisoles y el gobierno nos diera a escoger entre superar los principales factores limitantes edaficos mediante la financiacion de aplicaciones masivas de fosforo suficiente cal y sistemas suplementarios de riego y la alternativa de poner en practica los componentes descritos en esta revision inmediatamente tomaríamos la primera alternativa. Como agricultores veríamos el valor de nuestra tierra aumentando al transformarse de tierras marginales a tierras excelentes por la aplicacion de insumos.

Sin embargo dichas oportunidades son la excepcion en vez de la regla en las regiones de suelos acidos de America Tropical. La magnitud del capital necesario para invertir y aplicar la tecnologia de altos insumos a estos suelos normalmente va mas alla de los recursos de la mayoría de los gobiernos y de las organizaciones privadas. Las prioridades politicas tambien dictaminan que la intensificacion agricola mediante un alto nivel de insumos se localice en donde este

la gran concentracion de agricultores generalmente en suelos con un alto nivel de bases.

Los costos crecientes de los insumos relacionados con el petroleo y el énfasis mundial de conservar los recursos naturales de la tierra anteponen restricciones adicionales al enfoque de maximos insumos. Las metas de desarrollo de muchos paises tropicales requieren que tanto los productores como los consumidores de recursos limitados sean los principales beneficiarios de la tecnologia agricola mejorada. Nickel (1979) indico que si los consumidores de bajos ingresos han de beneficiarse los aumentos en la produccion de alimentos se deben lograr a costos unitarios mas bajos. Estos bajos costos unitarios se pueden alcanzar mediante tecnologia que tenga una base biologica la cual con frecuencia es de aplicacion neutra. Para asegurar que los productores de bajos recursos tengan acceso a esta tecnologia no debe depender de grandes cantidades de insumos como prados. *En consecuencia la principal justificacion de la tecnologia de manejo de suelos con bajos insumos socioeconomica y no agronomica.*

En el pasado los agricultores se ajustaron a su falta de poder adquisitivo aplicando cantidades bajas de insumos a un sistema agricola diseñado para operar mejor a niveles altos de insumos. Ejemplos de estos abundan en America Latina en donde las deficiencias de nutrimentos son evidentes en muchos campos. Muchos agricultores saben que sus cultivos podrian dar mayores rendimientos si se les aplicara mas fertilizantes a las variedades con alto potencial de rendimiento pero no pueden comprar mas o no se atreven a hacerlo debido al alto riesgo involucrado. Otro ejemplo es el intento en gran escala de la produccion de ganado de carne en Oxisoles y Ultisoles del Amazonas de Brasil mediante la siembra de *Panicum maximum* sin fertilizacion fosforada. Este es claramente el caso de la ignorancia de factores limitantes edaficos muy obvios. Como lo ha mencionado repetidamente Paulo Alvim en reuniones acerca del Amazonas la agricultura es diferente de la mineria. Los agricultores deben adicionar fertilizantes con el fin de sostener la produccion inclusive en los mejores suelos de las regiones templadas.

La tecnologia de manejo de suelos con bajos insumos para estos suelos acidos es diferente de la adopcion parcial de la tecnologia de altos insumos. *La tecnologia de bajos insumos no es menos o lo mismo sino una manera diferente de manejar el suelo.* El adelanto fundamental ha sido la identificacion de especies y variedades importantes que pueden tolerar grados significativos de factores limitantes impuestos por la acidez del suelo. Entonces es cuestion de determinar la cantidad de fertilizante y de cal que estas especies tolerantes requieren para producir un 80% de su rendimiento maximo 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, encañamiento 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 efectos 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 puede ser 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 tomar un espectro de tiempo útil más prolongado que las variedades tolerantes a enfermedades o insectos. El ion 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 por

den 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 fertilizante 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 a 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 puede ser 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 (Sanchez, 1976). Sin embargo, algunos Oxisoles presentan contenidos muy altos de fósforo, tales como el Eustróxico del Cerrado de Brasil.

(Moura et al 1971) pero la poca informacion disponible indica que la mayoría de los Oxisoles y Ultisoles presentan por lo general bajos niveles de fosforo

4.4 Necesidades de Investigación

Esta revision ha mostrado la factibilidad del enfoque de tecnologías de altos y bajos insumos y presento 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 querran 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 revision tambien 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 terminos de los niveles criticos de nutrientes.* Dada la interacción entre los niveles de aluminio, calcio y fosforo disponible en el suelo se deben establecer los factores que se mantienen constantes. Esos factores constantes deben reflejar los niveles encontrados en el sistema edafico agrícola particular, no necesariamente eliminandolos 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 criticos 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 terminos 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 edaficos 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 periodo de tiempo muy cor-

to. 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 de calcio y del magnesio, como también de otros factores que alivian la toxicidad de aluminio en subsuelo por medio de la lixiviación.
7. *La tolerancia a los bajos niveles de fosforo aprovechable requiere una mayor comprensión.* Las teorías y los estudios de invernadero sobre la capacidad diferencial de las plantas para acidificar su rizosfera (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 fosforo aprovechable, inoculación con *Rhizobium* e inoculación potencial de cepas mejoradas de micorrizas. Es necesario desarrollar fuentes de fertilización de fosforo 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 y leguminosas 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.

Cuadro 1 Distribución de Urales y Ultisoles por país en Suramérica

País	Área influida (millares ha)	Proporción del país (%)	Importancia
Brasil	572 71	63 0	+++
Colombia	67 45	57 0	++
Bolivia	39 54	67 0	+++
Venezuela	1 04	58 0	+++
Peru	50 01	44 0	++
Paraguay	29 15	24 0	+
Ecuador	1 61	23 0	+
Chile	1 7	2 0	
Argentina	1 23	0 4	
Uruguay	0 00	0 0	

* +++ de 65% del país
 ++ de 50% del país
 + de 30% del país

Fuente: FAO, FAO, Co. Inter. (1971)

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

Región 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 17	0 49
Valle del Bajo Magdalena	5 40	1 57
Llanos Orientales	4 93	2 65
Llanos Occidentales	4 10	3 40

Fuente: Lora et al. 1972

* Datos del área de la zona

CUADRO 3 PRINCIPALES LIMITACIONES EDÁFICAS EN AMÉRICA TROPICAL
(2J 1 23 S)

Limitación Edáfica	Región Suelos Ácidos Infértiles ¹	
	Área (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 área de esta región de suelos ácidos es aproximadamente 1043 x 10⁶ha

Fuente Adaptado de Sánchez y Salinas 1981

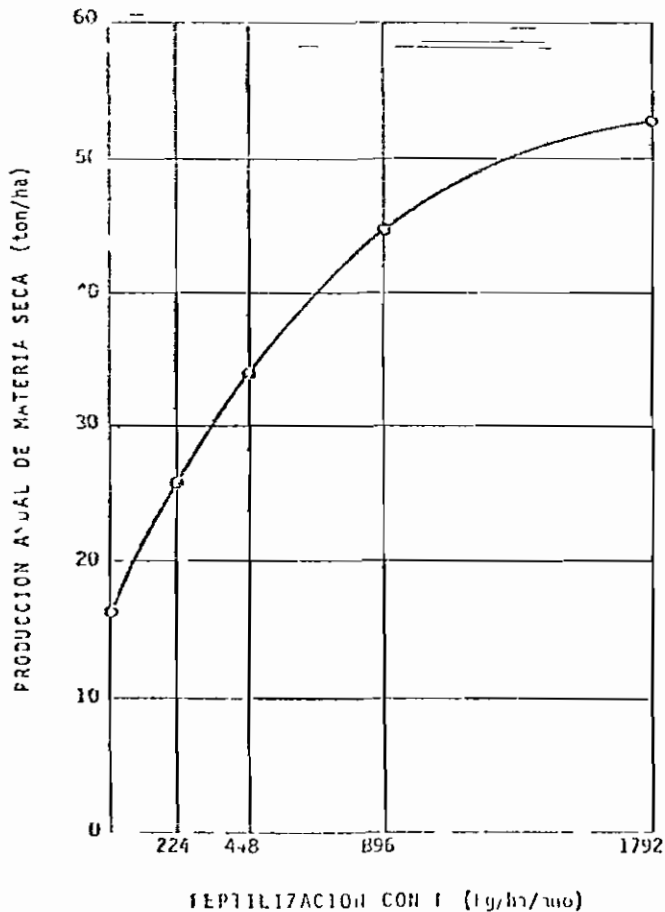
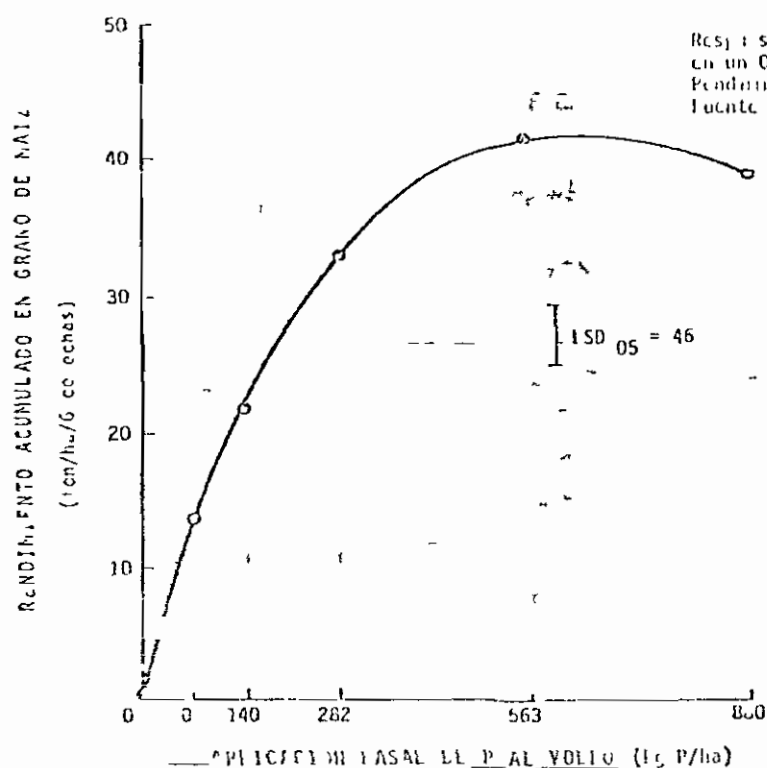


Figura 1

Producción anual de materia seca de *Pennisetum purpureum* cv Napier bajo corte en Ultisols de las montañas andinas de Ecuador bajo manejo intensivo.
Fuente: Vicente Chandra et al. (1974)

Figura 2



BIBLIOGRAFIA

- Alvim P T 1976 Desarrollo rural Am 8 187 194
- Ayarza M A y J G Salinas 1982 Suelos Ecuatoriales 12 110 126
- Berney C F H Holowaychuck L Leskiw y J A Toogood 1980 En Boon Conference on Agricultural Production Report Rockefeller Foundation New York
- Buringh P H D J van Heemst y C J Stating 1975 Computation of the Absolute Maximum Food Production of the World Agricultural Univ Wageningen Netherlands
- Buol S W P A Sanchez R B Cate Jr y M A Gran ger 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 Sanchez 1981 En Amazon Agricultural and Land Use Research Centro Internacional de Agricultura Tropical Cali Colombia (en impresion)
- Cochrane T T J A Porras L G Acevedo 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
- 12 Fenster W E y L A Leon 1979a En Pasture Production in Acid Soils of the Tropics (P A Sanchez y L E Tergas eds) pp 109 122 CIAT Cali Colombia
 - 13 Fenster W E y L A Leon 1979b En Seminar on Phosphate Rock for Direct Application pp 174 210 International Fertilizer Development Center Muscle Shoals Alabama
 - 14 Foy C D y J C Brown 1964 Soil Sci Soc Am Proc 28 27 32
 - 15 Foy C D y A L Fleming 1978 Am Soc Agron Spec Publ 32 301 328
 - 16 Goodland R J A y H S Irwin 1975 Amazon Jungle Green Hell to Red Desert? Elsevier Amsterdam
 - 17 Hancock J K R W Hill y G H Hargreaves 1979 Potential Evapotranspiration and Precipitation Deficit for Tropical America CIAT Cali Colombia
 - 18 Hargreaves G H 1977 World Water for Agriculture Climate Precipitation Probabilities and Adequacies for Related Agriculture Ohio State University Logan
 - 19 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
 - 20 Kamprath E J 1973 En A Review of Soils Research in Tropical Latin America (P A Sanchez ed) pp 138 161 179 191 North Carolina St Univ Raleigh
 - 21 Kellogg C E y A C Ordeval 1969 Adv Agron 21 109 170
 - 22 Leon L A y W E Fenster 1980 El Uso de Pocas Fosfatadas como Fuente de Fosforo en Suelos Acidos e Infertiles de Sur America (IFDC CIAT Cali Colombia)
 - 23 Leitt J 1978 Am Soc Agron Spec Publ 32- 161 162
 - 24 Loneragan J F 1978 Am Soc Agron Spec Public 32 329 343
 - 25 Lopez A S 1980 En Priorities for Alleviating Soil Related Constraints to Food Production in the Tropics pp 277 298 IIRI Los Baños Philippines
 - 26 Lopez A S y F R Cox 1979 Rev Bras Cien Solo 3 82 88
 - 27 Marchetti D y A D Machado (eds) 1980 Cerrado Uso e Manejo Editerra Brasilia Brasil
 - 28 McNeil M 1964 Sci Am 211 96 102
 - 29 Moura W S W Buol y E J Kamprath 1972 Experimentiae (Brazil) 13 235 247
 - 30 National Academy of Sciences 1977 World Food and Nutrition Study The Potential Contributions of Research National Academy of Sciences Washington D C
 - 31 NCSU 1975 Agronomic Economic Research on Tropical Soils Annual Report for 1974 North Carolina State Univ Raleigh
 - 32 NCSU 1978 Agronomic Economic Research on Tropical Soils Annual Report for 1976 77 North Carolina State Univ Raleigh
 - 33 Nickel J L 1979 En CIAT Highlights for 1978 pp viii CIAT Cali Colombia
 - 34 Pope R A 1976 Ph D Thesis North Carolina State University Raleigh
 - 35 Ramalho Filho A E G Pereira and K J Beek 1978 Sistema de Avaliacao de Aptidao Agricola das Terras Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos EMBRAPA Rio de Janeiro Brazil
 - 36 Rhue R D 1979 En Stress Physiology in Crop Plants (H Mussel and R C Staples ed) pp 61 80 Wiley New York
 - 37 Salinas J G 1978 Ph D Thesis North Carolina State University Raleigh
 - 38 Salinas J G y P A Sanchez 1976 Cien Cult (Brasil) 28 156 168
 - 39 Sanchez P A y J G Salinas 1981 Adv Agron 34 279 406
 - 40 Sanchez C 1977 Encalamiento de Ultisoles de Sabana Univ del Oriente Josepin Venezuela

- 41 Sanchez P A 1976 Properties and Management of Soils in the Tropics Wiley New York
- 42 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
- 43 Sanchez P A y T T Cochrane 1980 En Priorities for Alleviating Soil Related Constraints to Food Production in the Tropics pp 107 140 IRR Los Baños Philippines
- 44 Sanchez 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
- 45 Soil Conservation Service 1975 U S Dep Agric Handb 436 Washington D E
- 46 Spain J M 1979 En Pasture Production in Acid Soils in Tropics (P A Sanchez y L E Tergas eds) pp 167 175 CIAT Cali Colombia
- 47 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
- 48 Van Raij B y A van Diest 1979 Plant Soil 51 557 589
- 49 Vicente Chandler H F Abruña R Caro Costas J Figarella S Silva y Pearson R W 1974 Univ P R Agric Exp Sta Bull 223