CIAT
SB
197
.P32
Pt. 1

CIAT
COLECCION HISTORICA

Introducción

1. Programa de Pastos Tropicales. Toledo, J.M.

2. Estudios del Uso Potencial de la Tierra para la Evaluación y Transferencia de Agrotecnología basada en Germoplasma en América Tropical. Un Informe Preliminar. Cochrane, T.T. y Sánchez, L.F.

5623

CIAT
BIBLIOTECA
5394i

SERVICIOS REFERENCIALES Y BIBLIOGRAFICOS

PROGRAMA DE PASTOS TROPICALES

José M. Toledo*

INTRODUCCION

La carne y la leche son artículos de consumo alimenticio importantes en América Latina. Independientemente del nivel de ingreso, el presupuesto destinado por los consumidores urbanos para la adquisición de estos dos artículos es grande. La carne representa entre el 10 y el 24% del total de gastos en alimentación y la leche entre 7 y 15% (Cuadros 1 y 2). Cuando el desembolso para la adquisición de carne se expresa como una proporción del ingreso familiar, los mayores valores corresponden a los ingresos más bajos, lo cual claramente indica una fuerte preferencia por este artículo en dichos grupos, lo cual es corroborado por la mayor elasticidad ingreso de la demanda estimada para estos grupos.

El Cuadro 3 muestra para el período 1970-1978 la tasa de crecimiento de la demanda y de la producción de carne en Latinoamérica. Con excepción de los países de zonas templadas, en los demás países y subregiones, la rápida demanda por carne no es compensada por la producción, lo mismo ocurre con la leche.

Este imbalance entre demanda y tasa de crecimiento en producción causa un continuo incremento en los precios, afectando tanto la dieta como

---

* Coordinador Programa de Pastos Tropicales

Cuadro 1. Distribución del ingreso familiar, gastos en consumo de carne y elasticidad del ingreso de demanda, para carne, por ciudad y estrato de ingreso.

Ciudad	Rango de Ingresos	Gastos en carne como % de Gastos en Alimentos	Gastos en carne como % de Ingreso Total	Elasticidad Ingreso de Demanda
Cali (Colombia)	I	24.2	16.4	1.28
	II	24.3	14.7	0.77
	III	23.3	11.4	0.42
	IV	18.6	5.5	0.41
São Paulo (Brazil)	I	9.5	6.7	0.86
	II	12.5	7.0	1.18
	III	12.8	4.8	0.47
	IV	13.4	3.6	0.43
Lima (Perú)	I	18.6	11.7	0.92
	II	19.4	8.7	0.88
	III	20.9	7.8	0.79
	IV	18.3	4.4	0.04
Caracas (Venezuela)	I	12.4	5.7	0.80
	II	14.3	5.7	0.54
	III	14.0	4.7	0.72
	IV	14.0	3.8	0.48

Fuente : CIAT Annual Report 1978 and 1979.

Cuadro 2. Asignación del ingreso familiar y gastos en el consumo de leche y derivados y elasticidad ingreso de demanda para leche, por ciudades y estrato de ingreso.

Ciudad	Rango de Ingreso	Gastos en leche como % de		Elasticidad Ingreso de Demanda
		Gastos de Alimentos	Ingreso Total	
Bogotá	I	9.6	6.1	0.91
	II	10.0	5.3	0.69
	III	11.6	5.3	0.69
	IV	10.6	3.1	0.52
Cali	I	7.0	4.9	1.02
	II	9.5	6.0	0.91
	III	13.1	6.6	1.15
	IV	12.5	4.1	0.37
Medellín	I	8.5	4.8	1.55
	II	11.2	6.2	1.45
	III	13.5	6.2	1.20
	IV	13.1	3.8	0.56

Fuente.; CIAT Annual Report 1979.

Cuadro 3. Tasa anual de crecimiento de la producción y demanda de carne en Latinoamérica. 1970-1978.

Region y País	Tasa de Crecimiento	
	Demanda	Producción
	%	
América Tropical	5.9	3.3
Bolivia	6.1	5.9
Brazil	7.2	3.5
Colombia	7.2	3.5
Dominican Republic	7.5	1.2
Ecuador	8.3	2.6
Mexico	4.5	9.3
Paraguay	3.5	3.2
Peru	5.4	-3.2
Venezuela	4.6	4.1
America central	4.6	3.3
Caribe	4.0	1.7
Zona templada de América Latina	1.7	2.7
AMERICA LATINA	5.4	4.5

Fuente: Latin America: Trend Highlights for CIAT Commodities. CIAT 1980.

el patrón general de vida de los extractos de la población con más bajos ingresos. La Figura 1 muestra el precio real de la carne al consumidor en los últimos 20 años en Brasil, Colombia y Venezuela.

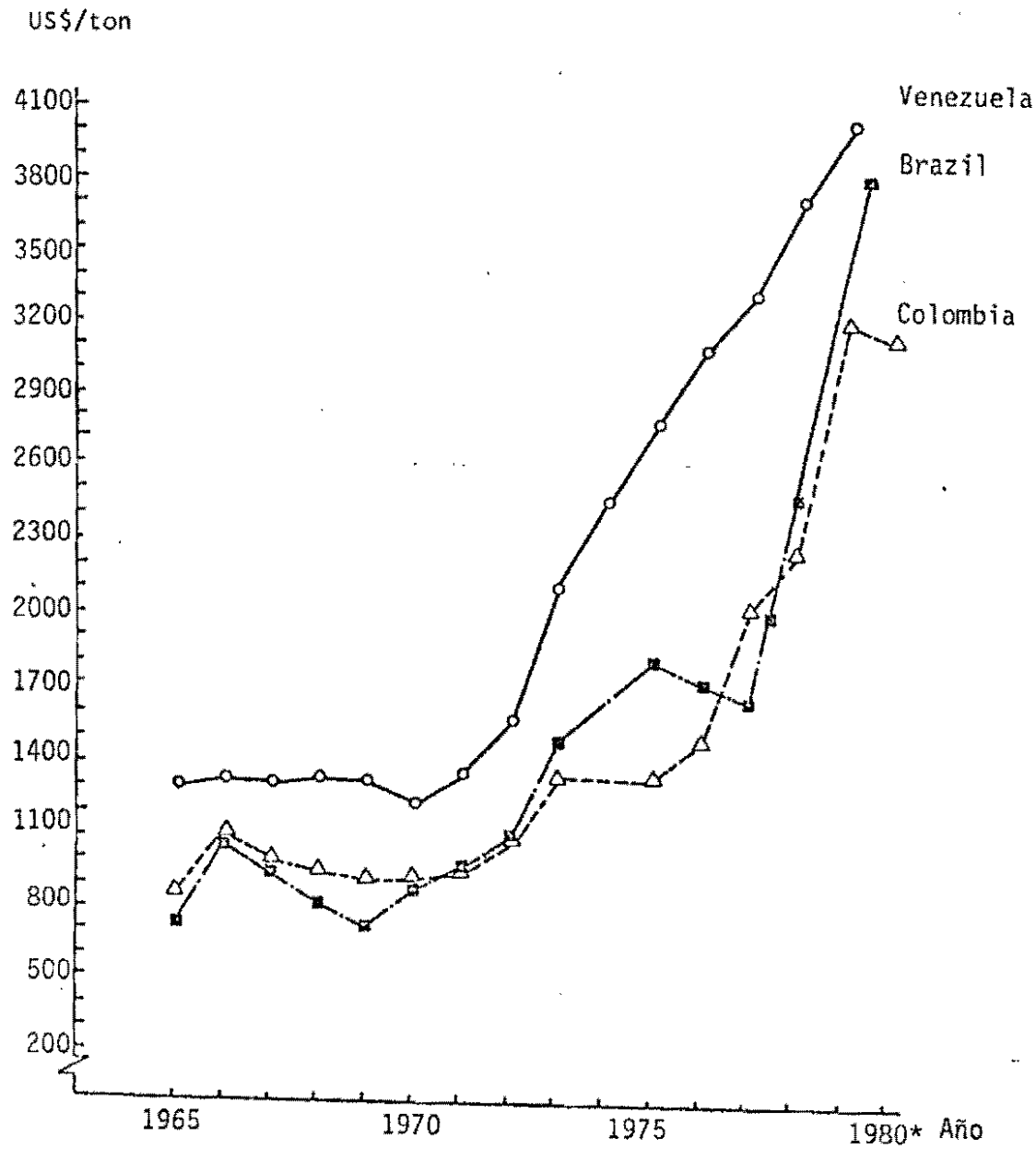
La población de ganado en América Latina es el doble de la de Estados Unidos (Cuadro 4). Sin embargo, la producción en América Latina es menos del 70% que la de Estados Unidos. Esto es debido a la baja productividad de los hatos en América Latina (aproximadamente 30% de la producción/animal/año obtenida en Estados Unidos).

Esta baja productividad animal es debida principalmente a los sistemas extensivos de producción utilizados en América Latina en contraste con los sistemas intensivos utilizados en Estados Unidos.

Sinembargo, la productividad ganadera también es baja cuando se compara con regiones de sistemas de producción extensiva, tal como ocurre en zonas templadas de latinoamérica (Cuadro 4). Esta productividad tan baja es debida al efecto combinado de manejo, nutrición, salud animal y mejoramiento. Indudablemente la nutrición juega un papel clave determinante del nivel que pueda obtenerse con los demás factores.

Latinoamérica es un continente con extensas áreas de suelos ácidos infértiles (Oxisoles y Ultisoles). El Cuadro 5 muestra la magnitud de este recurso el cual abarca entre 40-50% del total de los recursos de tierra.

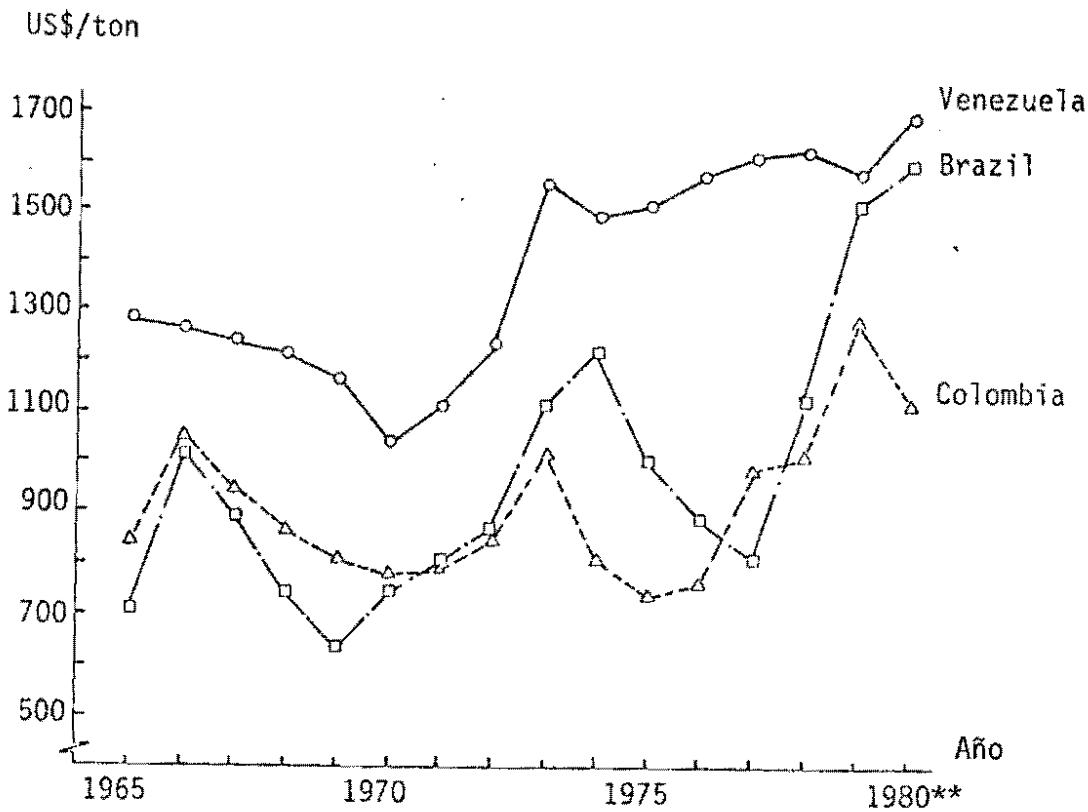
Figura 1. Precios corrientes de la carne al consumidor en Venezuela, Colombia y Brazil. 1965-1980.



* Primer semestre

Fuente: CIAT, Trend Highlights 1980

Figura 11. Precios reales de la carne al consumidor en Venezuela, Colombia y Brasil. 1965-1980*



* Derivado del índice total de precios
** Primer semestre

Cuadro 4. Existencia ganadera y productividad por animal en América Latina y USA. 1974-1977.

Region y País	Existencia (1974/1977)	Producción* (1974/1977)	Producción/Anim. en Existencia (1974/1977)
	Cabezas (millones)	Ton (millones)	kg/año
USA	127.6	11.23	88
América Tropical	184.7	4.64	25
Bolivia	3.0	0.69	23
Brazil	94.3	2.22	24
Colombia	23.3	0.50	21
Dominican Republic	1.9	0.04	20
Ecuador	2.7	0.06	23
Mexico	28.5	0.94	33
Paraguay	5.3	0.11	21
Perú	4.2	0.09	21
Venezuela	9.5	0.26	28
America Central	10.7	0.32	30
Caribe	1.4	0.03	23
Zona templ. America Latina	73.1	3.12	43
AMERICA LATINA	257.8	7.76	30

* Equivalente de peso en canal

Fuente: Latin America: Trend Highlights for CIAT Commodities. 1980.

Cuadro 5. Distribución y proporción de Oxisols y Ultisols en America. Latina.

Region	Areas Oxisol y Ultisol	Proporción de la region
	Millones/ha	(%)
Tropical Latin America	848.5	51
Tropical South America	828.2	59
Tropical Central America y El Caribe	15.8	23
Total Latin America	851.1	42

Fuente : Latin America: Trend Highlights for CIAT Commodities. 1980.

La capacidad de carga, así como la productividad animal en estas regiones es tan baja como los promedios nacionales.

La carga promedia en las sabanas de suelos oxisoles de 0.12 animales/ha., puede incrementarse potencialmente más de 10 veces. En adición, la producción de carne por animal puede llegar a ser más del doble. Asimismo, los suelos ácidos infértiles pueden contribuir en forma significativa a incrementar la producción de leche, especialmente cuando se encuentran cerca a los centros de consumo.

Estas áreas tienen un gran potencial para la producción agrícola ya que poseen una alta radiación solar, y en general, suelos con buenas propiedades físicas y una estación larga de crecimiento. Sinembargo, la acidez y altos contenidos de aluminio en los suelos, o en general la falta de fertilidad en el suelo, constituye una seria limitación para la producción de cultivos.

Consecuentemente, la mayoría de la agricultura y de los sistemas intensivos de producción de ganado, están hoy en los suelos más fértiles. Los Oxisoles y Ultisoles de Latinoamérica constituyen la frontera agrícola subutilizada del continente.

La baja calidad y poca disponibilidad de forraje para los animales es el principal obstáculo para la producción de carne y leche en estos suelos. Otro obstáculo lo constituye la falta de infraestructura, pero su

importancia varía dependiendo de la distancia a los sitios de mercadeo y de un país a otro.

En respuesta a este problema, siendo la carne y la leche alimentos básicos en la dieta de la población de Latinoamérica y considerando las extensas áreas de suelos ácidos infértiles, el Programa de Pastos Tropicales del CIAT tiene como objetivos generales:

a) Incrementar la producción de carne y leche
b) Desarrollar tecnología que sirva como base para la expansión económica y ecológica de la frontera agrícola en América Tropical.
c) Promover la producción de cosechas en los suelos fértiles, mediante el desarrollo y generación, en colaboración con los Programas Nacionales, de tecnologías apropiadas de Producción de Praderas en suelos ácidos infértiles de Latinoamérica.

HISTORIA

El Programa de Pastos Tropicales ha evolucionado desde su estado inicial de disciplinas relacionadas con producción animal a través de tres etapas progresivas.

Durante la etapa inicial de formación (1969-1974) el entonces Programa de Sistemas de Producción de Carne enfatizó la identificación de problemas y las soluciones potenciales en las áreas de salud animal, manejo

animal y sistemas de producción de ganado en general. Durante este período una proporción relativamente pequeña de los recursos del Programa se destinó a Pastos y Forrajes y la mayoría de la investigación de campo se efectuó en Colombia. A partir de la información recopilada durante este período inicial, llegó a ser evidente que la baja producción ganadera en el trópico de Latinoamérica era debido principalmente a la extrema desnutrición y a enfermedades relacionadas con ella. La baja disponibilidad de forraje y su pobre calidad a través de todo el año, fué identificado como el problema más crítico para incrementar la producción.

Esta condición constituyó la base del Programa de Producción de Carne. Durante el período 1975-1977, el Programa se concentró esencialmente en los suelos ácidos infértiles de sabanas existentes en Latinoamérica. De esta manera, el Programa amplió el área geográfica de sus actividades hacia otros países, mientras disminuía sus objetivos de investigación concentrándose en la investigación de pastos, con el objeto de remover los principales obstáculos para la producción en ecosistema de sabana.

AREA DE INTERES

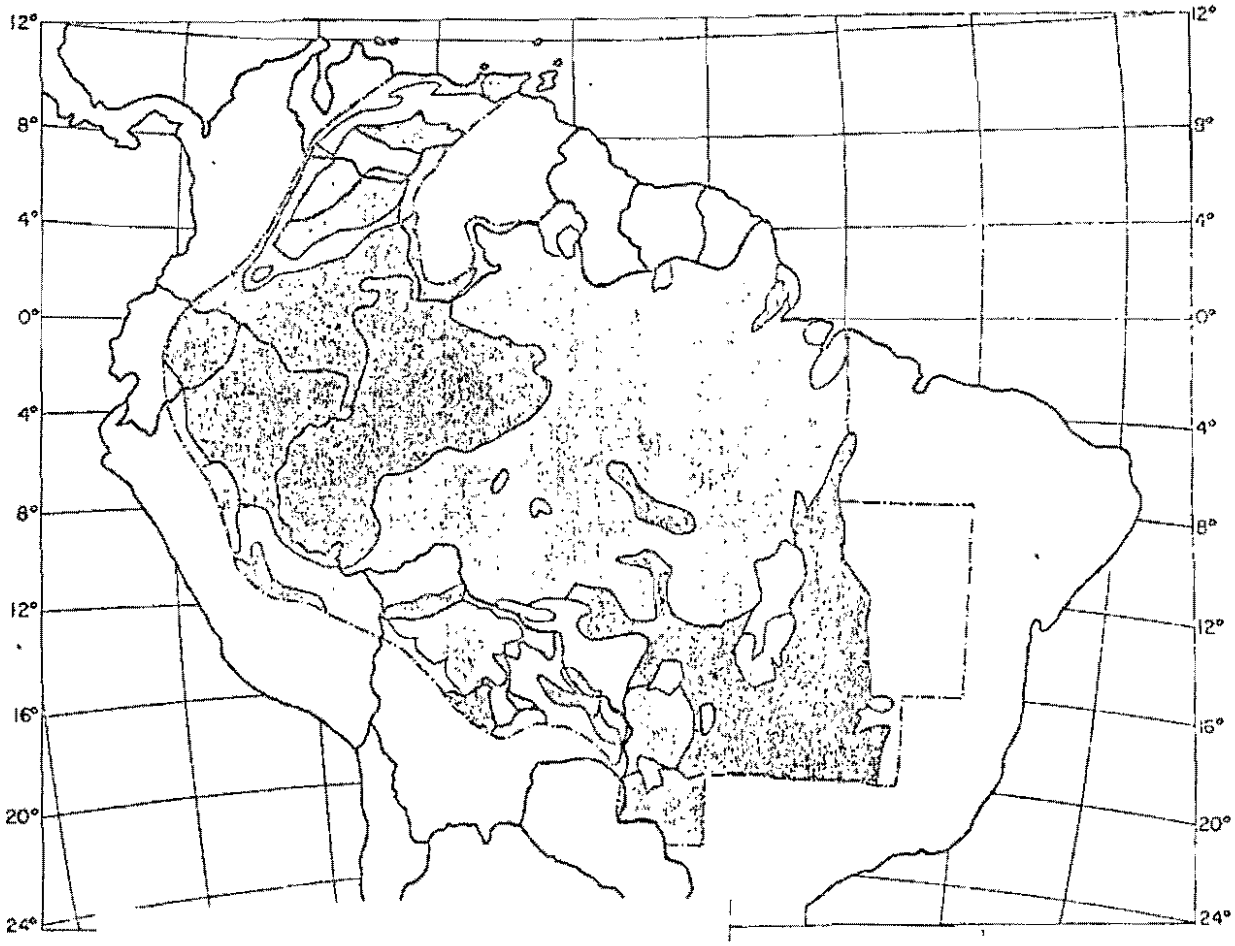
A comienzos de 1978, se inició un reconocimiento de las regiones de suelos ácidos infértiles de América tropical, con el objeto de clasificar los recursos de tierras en términos de clima, topografía y suelos y proveer así el ecosistema respectivo del área de interés del Programa, para servir como una base en el diseño de su investigación y estrategia.

Un análisis de los datos del reconocimiento permitió en 1979 hacer una subdivisión del área en cinco ecosistemas mayores.

1. "Llanos" (sabana tropical bien drenada)
2. "Cerrados" (sabana tropical bien drenada)
3. Sabana tropical pobremente drenada
4. Bosque tropical semi siempre verde estacional
5. Bosque tropical lluvioso.

Estos cinco ecosistemas mayores se pueden observar en la figura 2. Es importante notar que estos ecosistemas están claramente divididos por la evapotranspiración potencial total de la estación húmeda (Twpe). La Twpe entre 910 y 1060 mm. define los "llanos" y "cerrados" como ecosistema de sabana. Este rango de Twpe también incluye el ecosistema de sabana pobremente drenada. La Twpe entre 1060 y 1300 mm. diferencia el bosque semi-siempre verde estacional y una Twpe mayor de 1300 mm. diferencia el bosque lluvioso.

La fisionomía diferente de la vegetación nativa de los "llanos" y "cerrados" permite dividir las sabanas bien drenadas, utilizando la temperatura media durante la estación lluviosa (MTWS) como el parámetro principal, en dos tipos, Isotérmicas (MTWS < 23,5°C) e Isohypertérmicas (MTWS > 23.5°C). Los "llanos" son predominantemente del tipo de sabana Isohypertérmica bien drenada, debido principalmente a su proximidad al Ecuador y su poca elevación. Sinembargo, en los "cerrados" los dos tipos de sabana Isohypertérmica e Isotérmica ocurren de acuerdo con la latitud y elevación.



Bosque estacional semisiempre verde

Sabana bien drenada (llanos)

Sabana bien drenada (cerrado)

Sabana pobremente drenada

Bosque tropical lluvioso

Bosque deciduo

Otros

Figura 2. Ecosistemas principales de Suramérica Tropical.

Al presente el Programa ha concentrado la investigación solamente en la sabana bien drenada, tipo "llanos" y "cerrados". Ensayos regionales preliminares se han establecido en forma exploratoria en los otros tres ecosistemas, con prioridad descendiente en el orden siguiente: sabanas pobremente drenadas, bosque estacional y bosque lluvioso. En los dos últimos ecosistemas,el énfasis se pondrá en renovación de praderas debido a que existen praderas que en la mayoría de los casos se encuentran en estado avanzado de degradación.

El trabajo de reconocimiento del área de actuación es de gran valor para el Programa de Pastos Tropicales,ya que le permite clasificar los ecosistemas por condiciones de clima y suelo para diseñar la estrategia en colección de germoplasma y seleccionar los sitios para pruebas iniciales de comportamiento y la localización de los ensayos regionales. En el futuro, se espera que la información acerca de las características socioeconómicas (comunicaciones, infraestructura, población, mercadeo, etc.) de las áreas estará disponible. Toda esta información conjuntamente con el conocimiento del rango de adaptación del germoplasma promisorio (al clima, fertilidad del suelo, plagas y enfermedades),debe ser la mayor contribución a los sistemas de producción ganadera en el área de interés.

OBJETIVO Y ESTRATEGIAS

El objetivo principal del Programa de Pastos Tropicales es "desarrollar tecnología de bajo costo,con la aplicación de mínimos insumos en praderas para incrementar la producción de carne y leche en suelos ácidos

infértiles de América tropical".

El objetivo anterior se logra a través de:

a) Selección de germoplasma forrajero adaptado a condiciones ambientalesa adversas (clima y suelos) así como también enfermedades y plagas.

b) Desarrollar praderas productivas y persistentes.

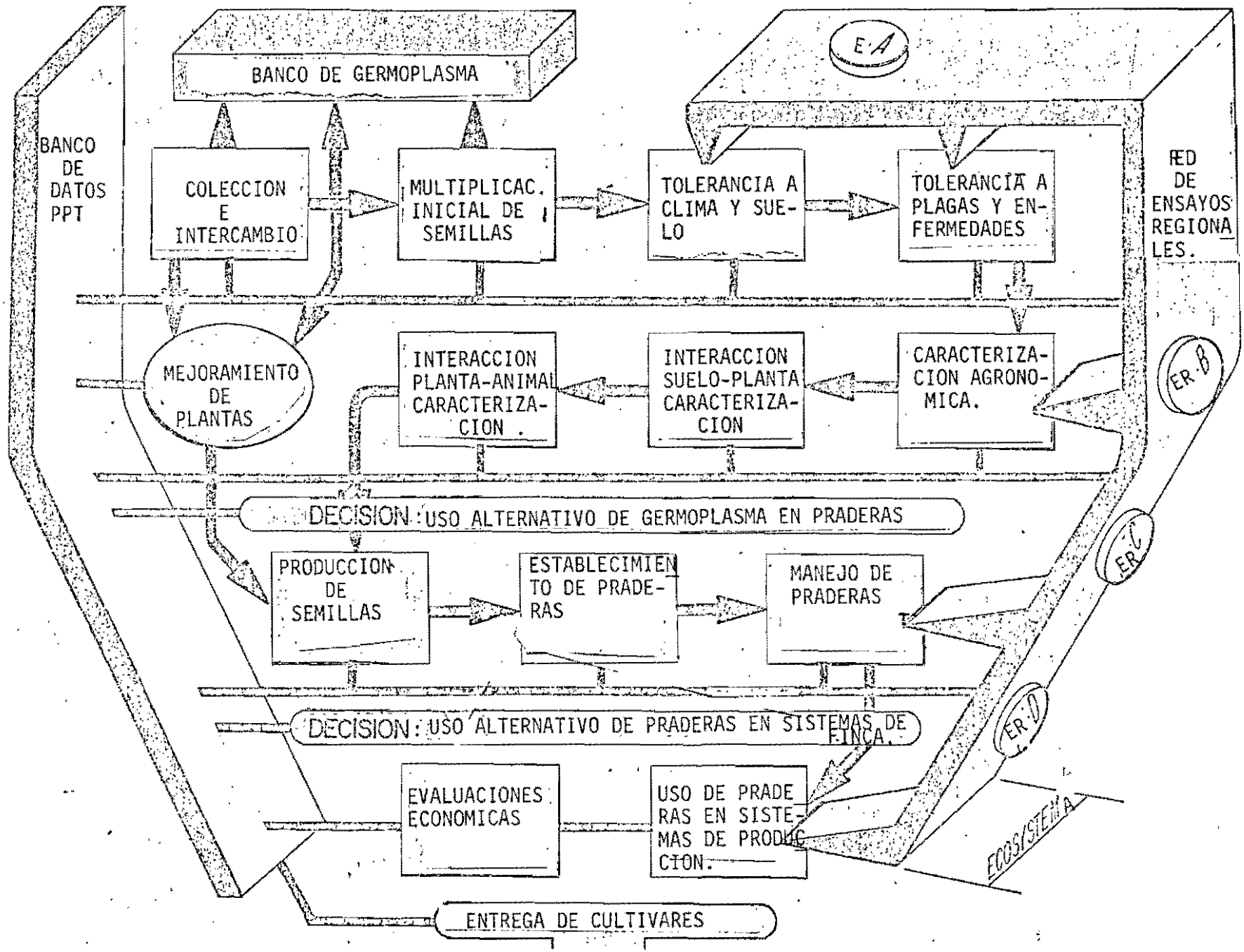
c) El estudio del papel de las praderas mejoradas en los sistemas de producción y el desarrollo complementario de sistemas de manejo animal y salud animal.

ORGANIZACION

Las etapas de investigación en el Programa se muestran en la Figura 3. Puede notarse la configuración tridimensional del diagrama. El flujo del germoplasma y de la información en un plano para cada ecosistema mayor, mientras que el banco de germoplasma, el banco de datos así como la red de ensayos regionales están en tercera dimensión (al fondo) a través de los ecosistemas.

El germoplasma colectado va a una caracterización inicial y a un estado de multiplicación de semilla. Todas las accesiones son por lo tanto enviadas a diferentes ecosistemas para pruebas iniciales de adaptación a clima y suelo así como tolerancia a plagas y enfermedades. Además se evalúan en cada ecosistema las características agronómicas,que aseguran la persistencia de los ecotipos, así como también las interacciones suelo-planta y planta-animal.

ETAPAS DE LA INVESTIGACION EN EL PROGRAMA DE PASTOS TROPICALES POR ECOSISTEMA



A este nivel, el germoplasma promisorio se caracteriza en forma intensa,hasta tener suficiente información para tomar el primer nivel de decisión, y poder responder la pregunta: Qué alternativa usar en una pradera? Además, los bancos de datos deben tener suficiente información recopilada para mostrar claramente las características de accesiones en las especies claves que requieren algún mejoramiento genético.

Luego de tomar la decisión de promover germoplasma a Categoría IV, se requiere un gran esfuerzo en multiplicación de semilla para emprender el establecimiento de praderas a gran escala y de pruebas de evaluación en pastoreo. A este nivel, el número de accesiones de evaluación se reduce en forma notable.

La segunda decisión es hecha por el grupo de economía en sistemas de fincas, conjuntamente con el grupo de establecimiento y manejo de praderas, y así determinar el uso alternativo de praderas en sistemas de finca (Figura 3).

Como consecuencia, el Programa de Pastos Tropicales se divide en tres grupos importantes de investigadores.

1. Grupo de Evaluación de Germoplasma
2. Grupo de Manejo y Evaluación de Praderas, y
3. Grupo de Evaluación de Praderas en Sistemas de Finca.

Esta organización funcional ayuda a desarrollar una línea coordinada de interrogantes e ideas que integra y aumenta la eficiencia de todo

el Programa.

El grupo que trabaja en "Germoplasma",concentra su atención en la caracterización del germoplasma con énfasis en las llamadas "Especies Claves".

El grupo que trabaja en "sistemas",analiza los sistemas de producción predominantes en un ecosistema específico dentro del marco socioeconómico del respectivo país o región. Este grupo define por el programa de componentes técnicos de la pradera,la necesidad de resolver en forma estratégica los principales obstáculos de la productividad en los sistemas de finca. También, evalúan el impacto esperado de la tecnología de pradera mejorada en sistemas de producción.

El grupo de manejo y evaluación de praderas se concentra en desarrollar praderas y evaluar los requerimientos de manejo y potencial de producción animal. Este grupo trabaja en interacción con los otros dos y sirve de puente entre ellos.

El Cuadro 6, ayuda a comprender mejor los pasos de la investigación del Programa,así como también la responsabilidad de estos tres grupos. En este cuadro se mencionan y se explican mejor los mismos grupos que aparecen en la Figura 3.

Así mismo,al lado izquierdo se muestran cinco categorías de germoplasma. Estas categorías son en la actualidad niveles de evaluación y

grado de promisión. Los nombres de estas categorías son los siguientes:

Categoría I : Identificación de germoplasma promisorio

Categoría II : Evaluación agronómica en pequeñas parcelas

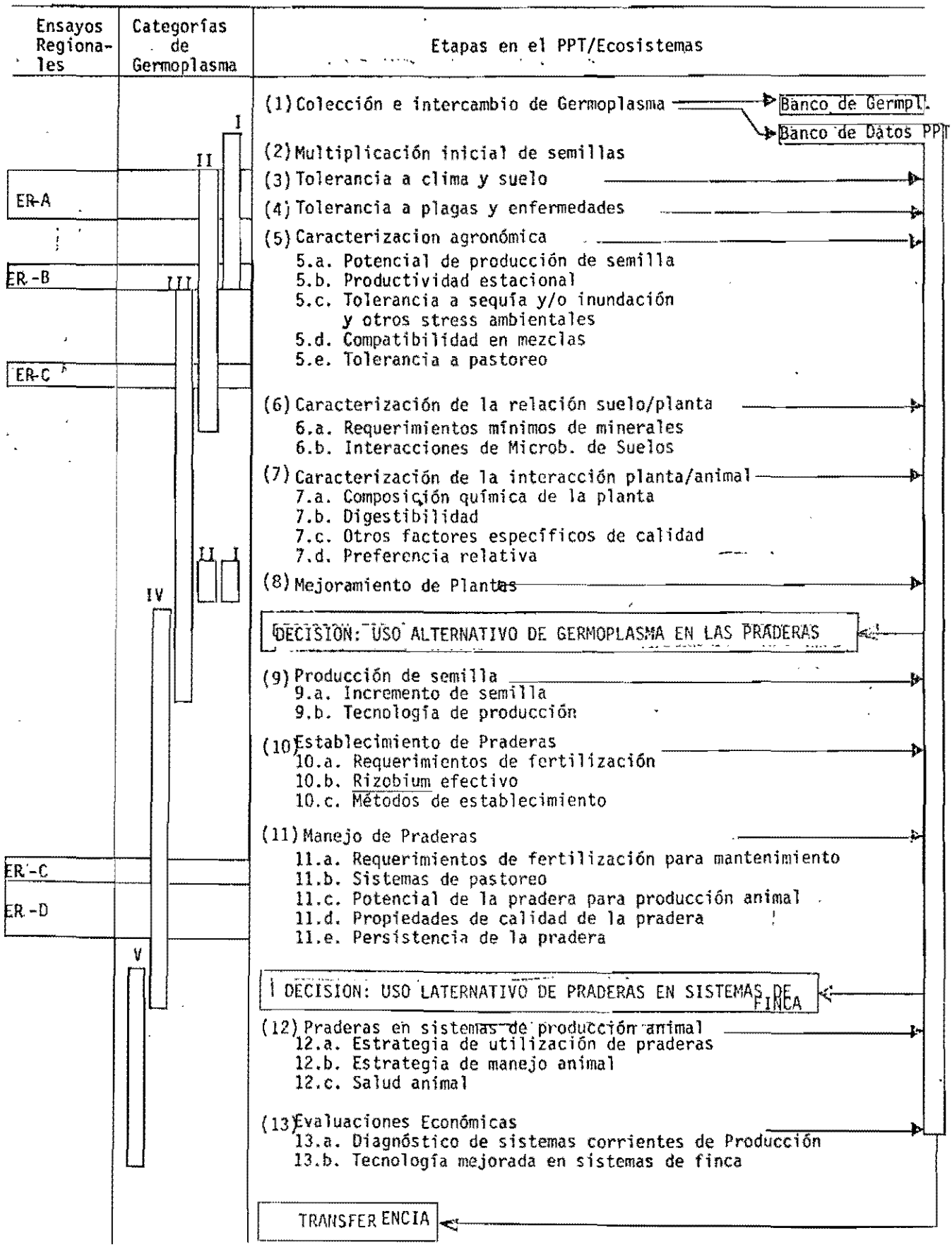
Categoría III: Evaluación agronómica de praderas

Categoría IV : Evaluación de manejo de praderas

Categoría V : Evaluación de praderas en sistemas de finca

Los ensayos regionales de evaluación, que se efectúan en cooperación con instituciones nacionales a través de cinco ecosistemas diferentes, se muestran en el lado izquierdo del cuadro. Es necesario notar que los ensayos regionales solamente se refieren a etapas de investigación por categorías en un ecosistema dado ya que la red de ensayos regionales es un esfuerzo cooperativo con instituciones nacionales, se espera que éstas conduzcan en forma paralela la investigación necesaria para llenar los vacíos en la información necesaria para moverse de un paso a otro. El Programa de Pastos Tropicales interactúa con las instituciones nacionales, pero tal interacción aumenta conjuntamente con los pasos de la evaluación en un ecosistema determinado (Figura 4).

Cuadro 6. Etapas de la investigación por ecosistemas en el Programa de Pastos Tropicales. Evaluación por categorías y a nivel de Ensayos Regionales



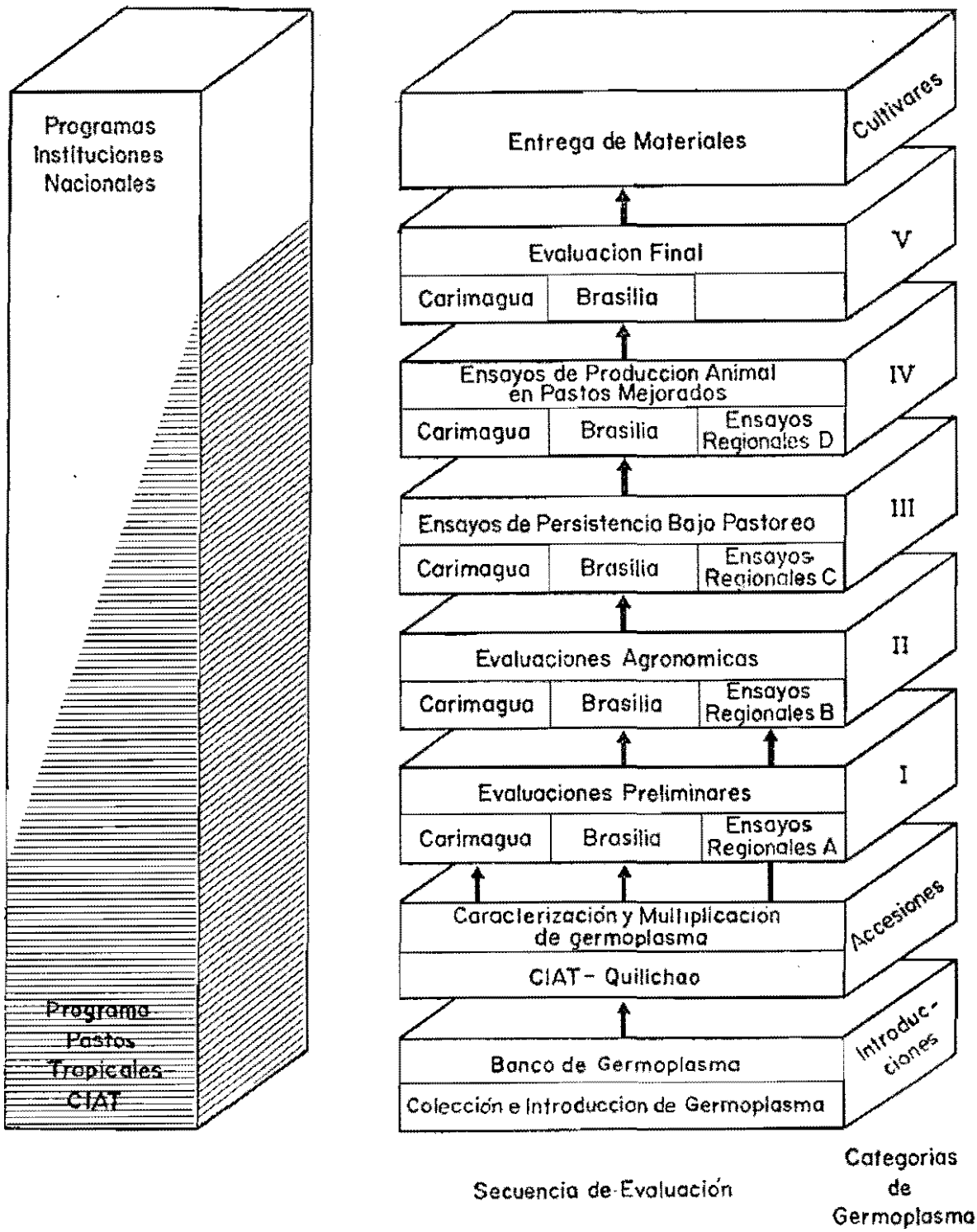


Fig. 4. Secuencia de evaluación de germoplasma

ESTUDIOS DEL USO POTENCIAL DE LA TIERRA PARA LA EVALUACION Y TRANSFERENCIA DE AGROTECNOLOGIA BASADA EN GERMOPLASMA* EN AMERICA TROPICAL. Un informe intermedio.

T.T. Cochrane y L.F. Sánchez

INTRODUCCION.

El propósito de este informe es resumir la metodología adoptada por CIAT** para proveer un inventario geográfico del uso potencial de la tierra de América tropical para la evaluación y transferencia de agrotecnología basada en germoplasma, y revisar el progreso hecho sobre este trabajo hasta la fecha.

Probablemente sea cierto decir que, aunque la así llamada "revolución verde" está aún progresando con firmeza, los avances en años recientes no han sido tan llamativos como los primeros resultados atribuíbles al desarrollo de variedades enanas de trigos mexicanos y cultivares de alto rendimiento de arroz asiáticos. Parte del problema es que muchos cultivares de plantas comestibles que rinden buenas cosechas en un ecosistema tropical, no siempre lo hacen tan bien en otro. En años recientes, los criadores de plantas han intentado desarrollar cultivares adaptados a un amplio rango de condiciones de clíma y suelo, pero ésto raramente se hace sobre la base de inventarios adecuados del potencial de uso de la tierra.

Con el fin de solucionar este problema, CIAT está llevando a cabo un inventario del recurso tierra diseñado para proveer una pauta para el desarrollo y transferencia de agrotecnología basada en germoplasma, compatible con las realidades de los ecosistemas agrícolas de América tropical.

---

* Semillas y material vegetativo propagativo.

** Centro Internacional de Agricultura Tropical, Apdo. Aéreo 67-13, Cali-Colombia.

Hasta la fecha, los estudios cubren la región central baja de Sudamerica tropical y una parte de Centroamerica incluyendo la costa del Golfo de México. En el caso de las tierras bajas de Sudamerica tropical, el Mapa de Suelos del Mundo de FAO-UNESCO (1971-1975) indica que hay extensas áreas de suelos muy pobres y posiblemente frágiles, principalmente Oxisoles y Ultisoles, los cuales indicarían la necesidad de una inquietud especial para el entendimiento de la naturaleza del recurso suelo.

Hay muchas - y a menudo conflictivas - opiniones como la relacionada con la naturaleza de las dos mayores regiones de las tierras bajas de Sudamerica tropical: las sabanas y los bosques amazónicos. En el caso de las sabanas, su simple existencia es un enigma que ha provocado considerable controversia (Goodland, 1975). Sin embargo, estudios tales como la revisión erudita de Eiten de los Cerrados de Brasil central (1972), y publicaciones más recientes incluyendo aquellas del acta del simposio de 1976 sobre los Cerrados (Ferri ed., 1976) indican que estas tierras son ahora mucho mejor comprendidas. En lo que concierne a la Amazonía, muchas autoridades consideran a sus suelos incapaces de sostener producción agrícola o ganadera una vez que se elimina la vegetación primaria (Gouru, 1961; Setzer, 1967; Reis, 1972; Tosi, 1974; Budowski, 1976; Schubart, 1977; Irion, 1978; Goodland et al., 1978). No obstante, hay amplia evidencia para mostrar que la producción agrícola y ganadera es no solamente posible, sino aún rentable (Falesi, 1976, 1978; Alvim, 1978, 1979; Sánchez, 1977, 1979; Serrao et al., 1979; Toledo y Morales, 1979; Cochrane y Sánchez, 1980).

La cantidad de información sobre relevamientos de suelos e inventarios del recurso tierra sobre Sudamerica tropical ha aumentado rápidamente durante los pasados quince años. La sección de referencia enumera algunos de los trabajos disponibles para los autores, pero no es de ninguna manera

exhaustiva. Una síntesis de esta información, aunque preliminar, se intenta hacer en este trabajo.

METODOLOGIA:

CIAT, en colaboración con las agencias nacionales*, ha estado recolectando información sobre el recurso tierra de Sudamerica tropical desde mediados de 1977 (CIAT, 1978, 1979, 1980; Cochrane, 1979; Cochrane et al., 1979). Los objetivos son la formulación de una guía práctica para la selección de cultivares apropiados de leguminosas y gramíneas, fríjol, yuca, maíz y arroz para los ecosistemas de mayor importancia económica, formar una base geográfica para la transferencia de agrotecnología basada en germoplasma especialmente relacionado a esos cultivos, y proveer información para producción de cultivos, pastos y agroforestal en general. La información del recurso tierra se pone dentro de una base geográfica comparable mediante la delimitación de sistemas de tierras (área o grupo de áreas a través del cual hay un patrón recurrente de clima, paisaje y suelo). El término "sistema de tierra" fue usado originalmente por Christian y Stewart en sus estudios de la región Katherine-Darwin, de Australia Norte (1953). La definición de un sistema de tierra tal como se usa en los estudios de CIAT, aunque conceptualmente similar, difiere en cuanto a que introduce al clima como un parámetro directo en su definición. El tratamiento de los parámetros ambientales es inherente a la delineación de los sistemas de tierra en el siguiente orden categórico para formar una verdadera clasificación de tierras:

---

* Ministerios de Agricultura de la mayoría de los países latinoamericanos, excepto para el Centro de Pesquisa Agropecuaria dos Cerrados de EMBRAPA, Brasil.

1. Clima
   a) Energía radiante recibida
   b) Temperatura
   c) Evapotranspiración potencial
   d) Balance de humedad
   e) Otros factores climáticos
2. Paisaje
   f) Forma de la tierra
   g) Hidrología
   h) Vegetación
3. Suelo
   i) Características físicas del suelo
   j) Características químicas del suelo

Los sistemas de tierra se delinearon directamente sobre imágenes de satélite y de radar. Aunque el trabajo ha sido principalmente un ejercicio de recopilación de la información existente, se llevó a cabo una cantidad limitada de trabajo de campo para ayudar a cerrar brechas de conocimientos y estandarizar criterios. La Figura 1 resume la cobertura de los principales estudios de relevamientos de suelos que proveyeron información. Luego de la recopilación, revisión y mapeo de la información de clima, paisajes y suelo, se prosiguió con la codificación y registro de datos para formar un sistema computarizado que agilizó el almacenamiento y recuperación de datos, producción de mapas temáticos y análisis. Se obtuvieron datos climáticos de largos períodos de 1144 estaciones de América tropical, compilados por Hancock et al., (1979). Sin embargo, hay grandes áreas, particularmente en la Amazonía sin estaciones, o donde las distancias entre ellas son demasiado grandes como para permitir extrapolaciones

altamente seguras.

La evapotranspiración potencial (POT ET), fue calculada para fijar la cantidad de energía disponible y para determinar el balance de humedad y las estaciones de crecimiento. Se usó la ecuación de Hargreaves (1977), basada principalmente sobre la radiación solar y la temperatura. El déficit de precipitación (DEF PREC) es la diferencia entre la precipitación media y la POT ET. La precipitación confiable (DEP PREC) refleja la ocurrencia de precipitación al nivel de 75% de probabilidad, ésto es, la cantidad de precipitación que será igualada o excedida en tres de cada cuatro años. El índice de disponibilidad de humedad (MAI) en un índice de adecuacidad de humedad al nivel de 75% de probabilidad de ocurrencia de precipitación, calculada dividiendo la DEP PREC por la POT ET. Hargreaves (1975) cita varias fuentes ilustrando buenas correlaciones entre el MAI y el crecimiento de cultivos (tan altas como R = .92 para trigo de secano en Irán). Sin embargo, Hargreaves nota que "cuando la capacidad de almacenamiento de humedad del suelo es adecuada por menos de una semana, la correlación entre el MAI y la producción del cultivo probablemente bajará". Recomendó que un mes seco se definiera como aquel con valores MAI < que 0.33. Este nivel, sin embargo puede ser demasiado alto para suelos con muy baja capacidad de retención de humedad. La estación húmeda, por lo tanto, se define como aquella parte del año con valores de MAI mayores que 0.33. La evapotranspiración total de la época húmeda (WSPET) fue calculada como la suma de la POT ET durante los meses húmedos o parte de ellos. Las temperaturas medias de la estación húmedad (WSMT) fueron calculadas de manera similar.

Las clases de vegetación fueron identificadas siguiendo el criterio de Eyre (1968) para bosques tropicales y Eiten (1972) para sabanas tropicales. Se hicieron correlaciones entre tipos de vegetación fisionómicos y

parámetros climáticos para suelos bien drenados con más de 20 años de datos climáticos. Como resultado de tales análisis fueron identificadas varias subregiones climáticas.

El paisaje fue subdividido en sistemas de tierras los cuales fueron delineados sobre imágenes de satélite y de radar de visión lateral (U.S. Geological Survey 1977, Projeto Radambrasil 1972-1978). Los mapas fueron cotejados, dibujados a escala 1:1.000.000 y numerados de acuerdo al código de la Carta Internacional del Mundo al millonésimo (Kerstenetzky, 1972). Luego, ellos fueron computarizados en unidades de 4 x 5 minutos (aproximadamente 6.800 hect.) para servir como base a la producción de mapas temáticos. Una cantidad limitada de trabajo de campo fue llevada a cabo para proveer control terrestre y ayudar a estandarizar criterio descriptivo de los sistemas de tierra. Las variaciones, aunque no mapeadas debido a limitaciones de escala, fueron descritas como facetas del terreno, estimándose la proporción de cada una dentro de los sistemas de tierra. De este modo fueron computados rasgos seleccionados del paisaje sobre la base de la subdivisión de facetas del terreno. Debe notarse que como la unidad de mapeo más pequeña fue el sistema de tierra, el mapeo temático para una característica dada, a menos que se condicione de otro modo, representa la clasificación para la principal faceta del terreno.

La subdivisión de sistemas de tierra en facetas del terreno fue particularmente útil para cubrir la brecha entre sistemas de tierra y unidades de suelo. Obviamente las facetas del terreno contienen suelos con una variación en sus propiedades, pero debe aceptarse algún nivel de generalización al hacer un inventario del recurso tierra. Los suelos más extensivos en cada faceta del terreno fueron primero clasificados hasta la categoría de gran grupo del sistema de Taxonomía de Suelos (Soil Survey Staff 1975),

y se aproximaron estimaciones areales para cada gran grupo de acuerdo a divisiones topográficas dentro de las subdivisiones climáticas. Luego, los suelos fueron descritos en términos de sus principales propiedades físicas y químicas.

Debe notarse que la Taxonomía de Suelos no provee información suficiente para el agrupamiento de suelos "que tienen propiedades químicas y físicas similares que reflejen su respuesta al manejo y manipuleo para su uso" hasta que se alcance la categoría de Familia; la cantidad de relevamiento de suelos necesario para clasificar los suelos hasta el nivel de Familia a través de la región y en relación a aquel sistema está simplemente inalcanzable.

Se registraron y codificaron varias propiedades físicas y químicas del suelo superficial (0-20 cm de profundidad) y del subsuelo (21-50 cm de profundidad). Las propiedades físicas del suelo incluyen pendiente, textura, presencia de material grueso, profundidad, tasa de infiltración inicial, conductividad hidraúlica, drenaje, capacidad de retención de humedad, régimen de temperatura, régimen de humedad y presencia de arcillas expandibles. Las propiedades químicas del suelo incluídas fueron pH, % saturación Al; Al, Ca, Mg, K, Na intercambiables, bases totales intercambiables (TEB), capacidad de cambio catiónica efectiva (CICE), M.O., P disponible (los datos de P disponible usando las metodologías de Bray, Olsen y Truog fueron aproximados con valores asumidos derivados del método descrito por Vettori, 1969), fijación de P, Mn, S, Zn, Fe, Cu, B, Mo disponibles, carbonatos libres, salinidad, % saturación Na, presencia de arcillas cat, amorfismo rayos-x, y elementos de importancia para la nutrición animal. Debe enfatizarse que la cantidad y calidad de datos disponibles variaron considerablemente de una región a otra, que la información de elementos menores y traza raramente estuvo disponible, y las a menudo largas distancias entre los

sitios de muestreo complicaron el problema de generalización de datos. Sin embargo, ellos fueron tabulados de acuerdo al sistema de Clasificación de Capacidad de Fertilidad del Suelo (FCC) descrito por Buol et al.,(1975) y modificado por Sánchez et al.,(1980). Las unidades FCC fueron incorporadas dentro de los programas de computación para permitir la producción de mapas temáticos. Otros parámetros no incluídos en el sistema FCC fueron divididos en clases arbitrarias.

EL RECURSO TIERRA BASE

La Figura 1 provee una definición geográfica conveniente para esta revisión que resume algunos hallazgos recientes en relación a clima, paisajes y suelos sobre una extensión de aproximadamente 820 millones de hectáreas. Este estudio cubre una gran parte de las áreas de tierras principalmente húmedas y menos desarrolladas de Sudamerica entre 12°N y 20°S de latitud, al este de los Andes, y al oeste del meridiano 42°W.

Subregiones de Clima y Vegetación.

La Figura 2 es un mapa computarizado mostrando las amplias clases de vegetación nativa a través de la región. Las principales clases mostradas son: bosques lluviosos tropicales, bosques tropicales estacionales semisiempreverdes, sabanas bien drenadas y sabanas mal drenadas. Alvim y Silva (1979) han señalado el valor de los estudios del balance de humedad en su comparación de los bosques Amazónicos con las sabanas de Brasil central, y que las diferencias de vegetación pueden ser explicadas sobre la base de cifras del balance de humedad anual. Cochrane y Jones (1980) han investigado recientemente en mayor detalle la dependencia de la vegetación respecto a factores climáticos utilizando varios parámetros con datos recopilados por Hancock. Fue asignada una clase de vegetación a los suelos bien drena-

dos de cada uno de los 251 sitios para los cuales había datos meteorológicos disponibles de un período largo (más de 20 años). Se encontró que los parámetros que más influenciaban la vegetación eran WSPET, el número de meses húmedos y WSMT. El WSPET y WSMT de los 251 grupos de datos fueron sujetos a análisis discriminatorios, no solamente paramétricos sino también no paramétricos y tramados por computadora como se muestra en la Figura 3. El agrupamiento de las clases de vegetación puede verse fácilmente. Las probabilidades posteriores de asignaciones correctas fueron estimadas como: A, bosques deciduous .91; B, sabanas bien drenadas .68; D, bosques tropicales estacionales semi-siempreverdes .71; E, bosques lluviosos tropicales .87; F, bosques subtropicales semi-siempreverdes .67; y G, bosques subtropicales siempreverdes .60. Usando la clasificación vecina más cercana descrita por Cober y Hart (12) e implementada por Barr et al.(13), las probabilidades de clasificación correcta fueron también muy buenas.

Los regímenes WSPE dentro de las zonas de vegetación principal, junto con la duración de la estación húmeda, y las WSMT han provisto una subdivisión conveniente de la región en cinco principales subregiones climáticas, descritas en la Tabla 1 y mostradas en detalle en el mapa producido por la computadora, Figura 4. La WSPE determina el total anual de energía disponible para el crecimiento de la planta cuando los suelos almacenan suficiente humedad para permitir el crecimiento satisfactorio por el menos una semana bajo los regímenes de POT ET prevalecientes. Se considera solamente la precipitación natural al nivel de 75% de probabilidad de ocurrencia, sin riego suplementario.

Aproximadamente 27% de la región cae dentro de la subregión de bosques lluviosos tropicales, principalmente en la mitad occidental de la cuenca Amazónica. Los bosques tropicales estacionales, caracterizados por el

estrecho rango de estación húmeda de 8 a 9 meses, ocupa 38% del área, la mayor parte en el Brasil al este de Manaus. Las sabanas isohipertérmicas (16% de la región) son pastizales naturales usualmente bien drenados rodeados de vegetación de bosque. Ellas incluyen partes de los Cerrados brasileños, las Pampas bolivianas norte y occidentales, los Llanos Orientales de Colombia, una gran parte de los Llanos Centrales de Venezuela, parte de los planos de Amapá y sabanas de Boa Vista y Rupunini. La subregión D es principalmente el área de la meseta central del Cerrado de Brasil, ésta difiere de los Llanos en términos de un régimen de temperatura más frío y ocupan el 5% de la región. La subregión E son áreas principalmente cubiertas con vegetación decidua.

Las características de las subregiones climáticas no toman en cuenta las diferencias entre sabanas bien drenadas y pobremente drenadas. Esta diferencia fundamental entre sabanas ha conducido a una importance confusión en el pasado en relación a la naturaleza de las mismas. Las sabanas pobremente drenadas se encuentran en subregiones climáticas con 3 a 6 meses de estación seca y con un rango variable de WSPE. La Tabla 2 muestra los datos meteorológicos de un sitio elegido como ejemplo.

Al considerar la relación entre WSPE y vegetación, debe notarse que el "stress" por sequía en el suelo se describe en términos del potencial climático para suplementar y extraer humedad del suelo en una localidad dada durante un período dado de tiempo, y la habilidad de suelos de textura media bien drenados para almacenar y suplir agua. En suelos que tienen menos que una mediana capacidad para almacenar agua disponible para las plantas, tales como los Spodosoles arenosos, la vegetación puede sufrir rápidamente "stress" por sequía. Tales situaciones ocurren ampliamente en la cuenca Amazónica. Como Alvim (1978) ha notado, las áreas de vegetación de "campina", un tipo de sabana, son prevalecientes sobre suelos arenosos

con muy baja capacidad de almacenamiento de agua rodeada por suelos con más altas capacidades de almacenamiento de agua cubiertos por bosques estacionales semi-siempreverdes.

A raíz de este trabajo se está volviendo claro el hecho de que la distribución e intensidad de la energía que puede ser usada para el crecimiento de la planta de acuerdo con las condiciones variables del balance de humedad a través del año, está estrechamente asociado con la vegetación nativa. El concepto de WSPE ha provisto una aproximación fresca para el zoneamiento de subregiones climáticas a través de las tierras bajas de Sudamerica tropical para la producción de cultivos perennes sin riego. Esto está conduciendo a un mejor entendimiento de la región y ha provisto a CIAT de base para definir ampliamente condiciones climáticas comparables para la selección y transferencia de nuevas accesiones de plantas para pasturas (CIAT, 1980). Estudios que incluyen aquellos recientemente publicados por Ranzani (1978) ayudarán a definir más precisamente la habilidad de los suelos per sé para suplir humedad del suelo y mejorarán las estimaciones del balance de humedad para sistemas agrícolas específicos.

Paisaje

La región ha sido subdividida en 489 sistemas de tierra. La Figura 5 es un ejemplo del mapeo de sistemas de tierra sobre imágenes de satélite en la región de Concepción de Araguaia, Brasil. La Figura 6 es un perfil topográfico diagramático que ilustra cómo los sistemas de tierra - en este caso el número 257 - fueron a su vez subdivididos en facetas de terreno.

Tierras pobremente drenadas. Aproximadamente 21% (170 millones de hect.) son tierras pobremente drenadas. 82% de esta área (139 millones de hect.) están cubiertas por bosques, y el resto por sabanas nativas. La vasta extensión de bosques pobremente drenados, encontrados a lo largo del

piedemonte andino y especialmente en Amazonía noroeste, impone una barrera natural al desarrollo agrícola. Sin embargo, las tierras periódicamente inundadas o "varzeas" de los principales sistemas fluviales, a menudo tienen suelos naturalmente fértiles, y parece que en un futuro no muy distante, importantes áreas en aumento se pondrán bajo una más intensa producción de cultivos, incluyendo arroz de tierras húmedas. Las tierras de sabanas mal drenadas han sido usadas éxitosamente desde tiempos coloniales para producción extensiva de ganado; áreas significativas se encuentran en el "pantanal" brasileño, las"pampas de Mojos" bolivianas, los "llanos de Apure" colombo-venezolanos, la isla de Marajó en la desembocadura del río Amazonas, los planos de Humaitá al norte de Porto Velho en Amazonía, parte de las sabanas de Amapá cerca de la boca del Amazonas y parte de las sabanas de Boa Vista en Roraima en el norte del Brasil.

Tierras bien drenadas. Alrededor del 79% de la región (649 millones de hect.) está razonablemente bien drenado. La mayor parte (508 millones de hect.) están cubiertas por bosques, y los restantes 141 millones de hect. están cubiertas por las sabanas ya mencionadas al tratar las subregiones C y D. Aproximadamente 77% de las tierras bien drenadas (497 millones de hect.) tiene pendientes menores que 8%, y 23% (152 millones de hect.) tiene pendientes mayores que 8%. Las tierras relativamente planas a menudo están densamente disectadas por pequeñas corrientes. De hecho, sobre 86% del área como un todo, se encuentran corrientes perennes a intervalos menores de 10 km y 39% con separación de menos de 5 km.

La Tabla 3 provee un resumen de la topografía dentro de las amplias subregiones climáticas. Hay una proporción significativamente más alta de tierras pobremente drenadas en la subregión A. Aún así, 70% de las áreas de bosques lluviosos tropicales son bien drenados. De éstos, 128 millones

de hect. tienen pendientes menores de 8%. Con la notable excepción de algunas áreas en las estribaciones subandinas, tales como la región de Florencia en Colombia, y cerca de las principales ciudades en la Selva Baja de Perú, la mayoría de estas tierras están aún cubiertas por la vegetación nativa de bosques lluviosos tropicales. Las variaciones en fisiografía a lo largo del angosto piedemonte subandino y las regiones afectadas por los escudos Precámbricos de Brasil y Guayanas son comúnes y pintorescas. Entre las estribaciones andinas y las mesetas, muchas de las formas de la tierra son ondulaciones suaves y uniformes, aunque a menudo se encuentran diseminadas áreas extensivas de tierras mal drenadas.

Las áreas más grandes de tierras bien drenadas se encuentran sin duda en las subregiones B, C, D y E, en Amazonía central, oriental y sur. La vegetación original de bosque estacional semi-siempreverde está intacta en su mayor parte, aunque en años recientes se han alterado áreas medibles especialmente en Rondonia. Alrededor del 73% (189 millones de hect.) de estas tierras bien drenadas, en la subregión B son relativamente planas, con pendientes menores que 8%. El paisaje de la subregión B tiende a ser menos variables que las tierras encontradas en las otras subregiones. Sin embargo, hay diferencias fisiográficas menores, ya que una gran parte de la subregión B está densamente disectada por los muchos tributarios del sistema del río Amazonas. La subregión C está en gran parte definida por las tierras de sabana bien drenadas, isohipertérmica. Se encuentran áreas extensivas de tierras planas, tales como los planos de Carimagua en Colombia, pero grandes sectores de estas tierras están fuertemente disectados. La subregión D principalmente define las tierras de meseta más altas (> 900 m) de Brasil central, por ejemplo aquellas tierras de los alrededores de Brasilia, y aquellas en los límites latitudinales más bajos y fríos de los Cerrados de Brasil. También hay a menudo extensos sectores de tierras

planas disectadas por valles escarpados en las regiones de meseta más altas. La subregión E cubre un rango mucho más amplio de clima y topografía que las otras.

No hay duda que los 613 millones de hectáreas de tierras bien drenadas de la región con pendientes menores que 30% probablemente representan la mayor reserva mundial para producción de cultivos, pastos y agroforestal bajo condiciones de secano. Se desprende de ésto que sus condiciones edáficas deben ser examinadas cuidadosamente.

GEOGRAFIA DE SUELOS

La distribución areal de suelos de la región se muestra en la Tabla 4 a nivel de orden, suborden y gran grupo de suelos. Esta Tabla se considera tentativa y sujeta a cambios a medida que se disponga de relevamientos más detallados. Todos los 10 órdenes de suelos están representados en la región. La Figura 7 es un mapa producido por el computador que muestra la extensión de los órdenes de suelos con la excepción de Histosoles y Vertisoles debido a su extensión limitada. La mayoría de los suelos se clasifican como Oxisoles y Ultisoles, los que juntos totalizan el 66% de la región. Les siguen en extensión los Entisoles, con alrededor del 19%, algunos de los cuales son de origen aluvial y se encuentran bordeando la red fluvial, y otros están sobre depósitos arenosos. Los restantes órdenes cubren áreas relativamente más pequeñas pero son localmente importantes: Alfisoles (6.7%), Inceptisoles (6.3%), Spodosoles (1.4%), Molisoles (0.2%), Aridisoles (0.1%), Vertisoles (< 0.1%), Histosoles (< 0.1%). La Tabla 4 muestra que el 48% de la región está incluído en cinco grandes grupos: Haplorthox (18%), Tropudults (10%), Acrorthox (8%), Fluvaquents (6%) y Quartzipsamments (6%).

Oxisoles: Los Haplorthox son Oxisoles uniformes, bien drenados, con muy baja fertilidad nativa pero buena estructura de suelo. También son conocidos como Latosol Amarelo y Ferralsoles Xânticos. Los Acrorthox son similares excepto por una capacidad de intercambio de la arcilla más baja. Son suelos profundos, uniformes, bien drenados y dominados por arcilla de baja actividad. Su estructura es buena, pero son extremadamente ácidos y muy bajos en fósforo y bases. Los Oxisoles de las sabanas pueden ser altos fijadores de P; los encontrados en las regiones forestadas no son generalmente grandes fijadores de fósforo. Los Oxisoles de la Amazonía están principalmente bajo vegetación natural, pero se están limpiando áreas crecientes para producción ganadera y de cultivos permanentes.

Ultisoles: Los Ultisoles son muy extensos en ambas posiciones, bien y pobremente drenados. Los Tropudults y Paleudults son suelos bien drenados, ácidos e infértiles, pero con menos propiedades físicas deseables que los Oxisoles debido a un significativo aumento de arcilla en profundidad. Son también conocidos como Podzólicos Rojo Amarillos, Acrisoles Orticos, y Podsólicos Vermelho Amarelo. Los miembros deficientemente drenados por lo general muestran en el subsuelo una capa moteada arcillosa que es una mezcla de caolinita y montmorillonita, la cual a primera vista parece ser plintita , pero los análisis muestran que no lo es (Sánchez y Buol, 1974; Tyler et al., 1978). Se sospecha que muchos de estos suelos clasificados, por varios autores, como Plinthudults son Paleudults o bien Hapludults.

Suelos aluviales: Los suelos a lo largo de los planos de inundación de los ríos, aunque poco extensivos, son muy importantes porque es allí donde se esperan buenas cosechas de cultivos sin enmiendas al suelo. Se clasifican como Entisoles, (Fluvaquents), Inceptisoles y Molisoles. Estos suelos se conocen en otras clasificaciones como suelos Aluviales, Gleys

bajo húmicos y Gleysols dístricos y éutricos. Su principal limitación son las inundaciones periódicas, en parte debido a su impredecibilidad. Los suelos aluviales tienen diferencias en cuanto a su fertilidad nativa, debido a la fuente de sedimentos, la cual es una característica muy variable de los suelos "barriales" y de "varzeas". Consecuentemente, no puede generalizarse que los suelos aluviales son siempre altos en cuanto a fertilidad nativa.

Suelos arenosos: Existen 52 millones de hect. (6.4% de la región) de suelos arenosos de baja fertilidad, clasificados como Quartzipsamments: están ubicados principalmente en las mesetas de Espigao Mestre y Parecis de Brasil oriental y occidental respectivamente. La primera región es desértica en apariencia, la otra está cubierta por pastizales afectados por sequía en la estación seca. Hay áreas considerables de otros suelos de textura liviana en la región, tales como los Psamments en la vecindad de Tres Lagoas, principalmente hacia el este del río Paranaiba.

Spodosoles: Otro orden de suelo que merece la atención es el de los Spodosoles, también conocido como Podzoles, Podzoles de agua subterránea, y Podzoles Tropicales Gigantes, incluyendo sus variantes más profundas como Psamments. Estos suelos derivan de materiales arenosos gruesos y se encuentran en manchones claramente definidos en partes de la Amazonía alejados de los planos de inundación. La vegetación forestal nativa es diferente de la que se encuentra en Oxisoles y Ultisoles. Se le llama "campinaramas" en Brasil. El proyecto Radambrasil ha identificado recientemente grandes áreas de Spodosoles a lo largo de las cabeceras del río Negro, los cuales son en gran parte responsables del color de este río ya que el agua que pasa a través de los Spodosoles característicamente lleva en suspensión materia orgánica. Siendo extremadamente infértiles y muy susceptibles a la

erosión, sería mejor dejar a estos Spodosoles en su estado natural. Desafortunadamente los Spodosoles han recibido más atención científica de la que se merecen en términos de su extensión areal (1.4% de la región). Por lo tanto, la investigación sobre Podsoles tropicales en la literatura internacional (Klinge 1965, 1967, 1975, Stark 1978, Sombroek 1979) debe mantenerse en perspectiva; más aún, bajo ninguna circunstancia puede ser extrapolada a los Oxisoles y Ultisoles dominantes.

Suelos fértiles bien drenados: Desafortunadamente solo alrededor de 5.2% de la región tiene suelos bien drenados altos en fertilidad nativa (Tabla 7, suelos sin modificadores). Estos se clasifican principalmente como Tropudalfs y Paleustalfs (Terra Roxa Estruturada), Eutropept (Eutric Cambisols), Tropofluvents (Aluviales bien drenados), Argiudolls (Chernozems), Eutrustox y Eutrorthox (Terra Roxa Legítima) y Chromuderts (Vertisols). Sin embargo, ellos representan un total de 42.4 millones de hect. y donde ellos ocurren la agricultura permanente tiene mayor probabilidad de éxito, particularmente en los suelos Terra Roxa, los cuales combinan alta fertilidad nativa con excelentes propiedades físicas. Muchas de las éxitosas plantaciones de cacao se localizan en dichos suelos. Se hallan ejemplos cerca de Altamira, Porto Velho y río Branco en Brasil. La Figura 8 es un mapa computarizado de grandes grupos que muestran la extensión relativamente limitada de estos suelos.

Peligros por Laterita o Plintita.

La extensión areal de suelos con plintita en el subsuelo (Plinthaquox, Plinthudults y Plinthaquults) es limitada. Ellos totalizan cerca de 46 millones de hect. o 5.6% de la región. Este punto merece énfasis, dadas las amplias generalizaciones en el sentido de que muchos suelos tropicales al ponerlos en producción se convertirán irreversiblemente en laterita o

plintita endurecida. Estos tres grandes grupos son los únicos suelos donde este fenómeno puede ocurrir, pero como la plintita blanda está en el subsuelo, la capa superficial necesita primero ser removida por erosión. Desde que estos suelos ocurren principalmente en paisajes planos y mal drenados, la erosión no parece ser muy extensiva.

Los afloramientos de laterita endurecida ocurren en posiciones geomorfológicamente predecibles que incluyen aquellas partes geológicamente afectadas por los Escudos Brasilero y Guayanés en las regiones de sabanas bien drenadas; algunas veces están mezclados con materiales de suelo como en el caso de los "Latosoles Concrecionarios". Estos afloramientos geológicos constituyen un patrimonio para el proceso de desarrollo porque proveen excelentes materiales para la construcción de caminos a bajo costo. La falta de plintita o laterita en muchas áreas no afectadas por los escudos precámbricos es una limitación definitiva para la construcción y mantenimiento de caminos.

Suelos en relación a subregiones climáticas y posiciones topográficas. La Tabla 4 muestra estimaciones areales para la clasificación de los grandes grupos de acuerdo a subregiones climáticas y subdivisiones topográficas. Los Ultisoles contribuyen con un porcentaje mucho más bajo de suelos en las subregiones C, D y E. Las proporciones de los grandes grupos de Oxisoles más comúnmente encontrados varían entre las subregiones, ilustrando el efecto del clima sobre el desarrollo del suelo. Hay una proporción mucho más alta de Haplorthox en la subregión A, Acrorthox en la subregión B, Haplustox en la subregión C y Acrustox en la subregión D. Los Oxisoles solo contribuyen con una pequeña proporción de los suelos en la subregión E. La alta proporción de Acrorthox en la subregión B indicaría una más grande extensión de suelos con muy baja capacidad de intercambio catiónica

(< 1.5 meq/100 g arcilla) que en la subregión A. La extensión relativamente grande de Inceptisoles bien drenados en la subregión A está principalmente asociada a sedimentos originalmente derivados de materiales volcánicos en la región de los Andes. Los Alfisoles encontrados en las subregiones A, B, C y D están también asociados con materiales superiores básicos indicando la fuerte influencia que tienen los materiales originarios en la formación del suelo, aún bajo condiciones de vigorosa mateorización. Los mejores suelos encontrados en toda la región generalmente están sobre aluviones recientes . No todos los Entisoles son fértiles, como lo evidencian los depósitos arenosos estériles (Quartzipsamments) que cubren extensas áreas de Brasil.

PROPIEDADES FISICAS DEL SUELO.

Textura del Suelo:

La Tabla 5 muestra los datos tabulados por subdivisiones climáticas y topográficas. Las texturas más extensivas son franco (18-35% de arcilla), y franco sobre subsuelos arcillosos. Estas clases L y LC juntas totalizan el 55% de los suelos. Le siguen perfiles uniformemente arcillosos, C, 26% del área, estando el resto dividido en suelos someros sobre roca y otras combinaciones texturales. La Tabla 5 muestra que existe una barrera física para el desarrollo radicular a 50 cm o menos en solamente 16 millones de hectáreas (2% de la región).

Peligro por erosión.

La Tabla 5 también provee una síntesis de las clases de pendientes de la región. Alrededor del 61% de la región tiene niveles de pendientes suaves (0-8%). La topografía es fuertemente ondulada (8-30%) en 14% de la región y escarpada (> 30%) en el restante 4% de la región. La presencia

de un cambio textural dentro de los 50 cm de profundidad, tales como LC, SL y SC, hace a los suelos susceptibles a la erosión, particularmente sobre pendientes escarpadas. La Tabla 5 muestra que 64.8 millones de hect. (8% de la región) tiene suelos con un cambio textural abrupto sobre pendientes mayores que 8% o tienen suelos someros (LR y CR). Los suelos profundos con cambios texturales, principalmente clasificados como Ultisoles y Alfisoles son generalmente bastante susceptibles a la erosión a menos que estén protegidos por la cubierta vegetal durante los períodos de fuertes lluvias.

Entre las cinco principales subregiones climáticas, las C y E, tienen la mayor proporción de suelos empinados (1.1% y 1% respectivamente) al compararlos con el 0.6% en la subregión B de bosques estacionales semi-siempreverdes, y solamente 0.4% en las subregiones A y D.

Estos enunciados no implican que la erosión no es un problema en la región porque todos los suelos pueden ser erodados por mal manejo, y la erosión laminar puede ocurrir en Oxisoles y Ultisoles bien drenados casi planos. Ellos implican que los problemas no son más grandes que aquellos de otras regiones del mundo con topografía y clima comparables. Muchas de las erosiones en cárcavas que fueron vistas mientras se viaja por los Cerrados y la Amazonía de Brasil, por ejemplo, son causadas por ingenieria civil más que por agricultura: a lo largo de caminos, sitios de construcción y sistemas de drenaje deficientemente construídos. Esta situación, sin embargo, puede cambiar drásticamente si se remueve la cobertura vegetal y no se reemplaza lo suficientemente rápido por otra. Esto raras veces ocurre en las regiones forestadas porque cuando las pasturas o cultivos fallan, las malezas y el rebrote forestal secundario generalmente producen en forma rápida una cobertura vegetal. La erosión en cárcavas a lo largo de los senderos del ganado en pasturas sobre pastoreadas, sin embargo, es una seria y creciente preocupación.

Relaciones de Humedad del Suelo.

La definición de grandes grupos de suelos y su extensión areal mostrada en la Tabla 4 permite un cálculo de la importancia relativa de los regímenes de humedad del suelo en la región de acuerdo a las definiciones en la Taxonomía de Suelos (Soil Survey Staff 1975). Alrededor del 61% de la región tienen régimen de humedad del suelo údico o perúdico, indicando que el subsuelo está húmedo durante 9 o más meses por año. Aproximadamente 21% del área tiene un régimen ácuico, indicando presencia de condiciones de anegamiento en algunas partes del solum durante el año. Aproximadamente 18% tiene régimen de humedad ústico y algo de arídico, lo cual indica que el subsuelo está seco por más de 90 pero menos de 180 días consecutivos durante el año.

La situación de humedad no es tan clara como lo sugieren estas cifras porque la subregión B, que cubre la gran extensión de la Amazonía, incluye ambos regímenes de humedad del suelo údico y ústico, tal como se define hasta el presente. (Ranzani, 1978, en estudios detallados de balance de humedad del suelo hechos cerca del borde de la subregión B, en Marabá, Pará, clasificó los suelos bien drenados en subórdenes ústicos). Merece notarse que las definiciones de regímenes de humedad del suelo de acuerdo al Soil Taxonomy están actualmente bajo revisión debido a ciertas dudas en relación a la aplicabilidad del presente criterio para circunstancias tropicales.

Dejando a un lado las consideraciones de clasificación, es relevante destacar que la mayoría de los suelos en la subregión B sufren un "stress" por sequía temporario pero severo, durante 3 a 4 meses del año, el cual ciertamente afecta el crecimiento de las plantas. La estación seca claramente definida en las sabanas hace esta situación más obvia en los suelos

bien drenados de las subregiones C y D. Aún en los regímenes de humedad del suelo údico claramente definidos de la subregión A, ocurre "stress" por sequía del suelo temporario y esporádico afectando severamente los cultivos tales como maíz y arroz de tierras altas (Bandy, 1977). Así, parece que el crecimiento de las plantas sobre la mayoría de los suelos bien drenados en la región, pueden sufrir por falta de agua durante alguna parte del año.

Es pertinente notar que las propiedades físicas de la mayoría de los suelos de la Amazonía y muchos de sabana son generalmente bastante buenas, aunque se ha notado baja capacidad de retención de humedad aún en suelos arcillosos. La dominancia de capas superficiales de grava gruesa subyacidas por plintita en gran parte de la región occidental de Africa equivalente a la subregión B de Sudamerica, impone mayores limitaciones al desarrollo de agricultura permanente en aquella vasta región (Lat et al., 1975). Esta situación en cambio no es tan grave en Sudamerica tropical. Aunque hay importantes limitaciones físicas tales como pobre drenaje en 21% de la región, peligro severo por erosión en 8%, y grados variables de "stress" por sequía en general, las propiedades físicas de los suelos pueden considerarse generalmente favorables.

PROPIEDADES QUIMICAS DEL SUELO.

Una aseveración opuesta puede hacerse en relación a las propiedades químicas. La vasta mayoría de los suelos de la región son ácidos y con muy baja fertilidad nativa en su estado no-disturbado. Como ya fue mencionado, solamente alrededor del 5% de la región tiene suelos con alto status de bases y fertilidad nativa relativamente alta. Las mayores limitaciones químicas de los suelos de la región son deficiencia de P, acidez, capaci-

dad de intercambio efectiva baja, y deficiencias ampliamente difundidas de N, K, S, Ca, Mg y deficiencias de elementos traza incluyendo B, Cu, Zn y ocasionalmente otros (Sánchez y Cochrane, 1979). La Tabla 6 muestra la extensión areal de éstos y otros parámetros de fertilidad de la región, discriminando los datos del suelo superficial por subregiones climáticas y posiciones topográficas. La Tabla 7 interpreta estos datos en términos de unidades FCC. La Figura 9 es un mapa computarizado que muestra las combinaciones de unidades FCC.

Acidez del Suelo.

La tabla 6 muestra que el 75% de la región tienen valores de pH del suelo menores que 5.3, indicando no solamente una reacción ácida sino también la presencia de niveles potencialmente tóxicos del porcentaje de saturación de Al para muchos cultivos. La proporción de suelos ácidos es menor en topografías planas mal drenadas (52%), sugiriendo una extensión igualitaria de suelos ácidos y no-ácidos en esta posición topográfica.

La toxicidad de aluminio para las plantas es la principal consecuencia de la alta acidez del suelo. Las especies vegetales y los cultivares dentro de las especies difieren en su tolerancia al Al y ésto se expresa en términos del porcentaje de saturación de Al crítico. Las plantas muy sensibles al aluminio sufren a niveles de 10 a 60% de saturación de Al, y este rango está indicado por el modificador "h" en la Tabla 6. En general, cuando hay un 60% de saturación de Al o más dentro de los 50 cm superficiales, el suelo se considera tóxico por aluminio. Tales suelos tienen el modificador "a" en el sistema FCC. Aproximadamente 358 millones de hect., o 44% de los suelos de la región son alumino-tóxicos en su estado natural. La Figura 10 muestra un mapa computarizado de niveles de saturación de aluminio de la región.

La limpieza y quema de los bosques cambia esta situación, debido al contenido básico de la ceniza, como virtualmente ha demostrado Falesi (1979). Es relevante enfatizar que los análisis de suelos deben conducirse después de la limpieza y quema para estimar los requerimientos de cal para cultivos y cultivares específicos. El método de Kamprath de aplicación de 1.6 tons/ha de $CaCO_3$ equivalente para neutralizar la mayor parte del Al de cambio en el suelo superficial, generalmente sobreestima los requerimientos de cal en algunas circunstancias de suelos ácidos de la Amazonía (North Caroline State University, 1973-1978; Sánchez, 1977). Usando la fórmula recientemente publicada de Cochrane et al., (1980), las tasas recomendadas pueden ser calculadas para plantas con diferentes niveles de tolerancia a la saturación de Al, y teniendo en cuenta los efectos de los niveles de Ca y Mg en el complejo de intercambio del suelo. Los depósitos calcáreos son abundantes en el borde oriental de los Andes y en el Cerrado de Brasil. Sin embargo, el transporte es el mayor factor limitante y en muchos casos las limitaciones de acidez del suelo tienen que superarse buscando cultivares tolerantes a altos niveles de saturación de Al en el suelo. Para agricultura intensiva de cultivos anuales, sin embargo, el encalado parece ser necesario. Aunque el encalado neutraliza el Al solamente en el suelo superficial, también decrecen los niveles de saturación de Al en el subsuelo después de 1 o 2 años en un ambiente de bosque tropical (Villachica y Sánchez, 1980).

Deficiencia de Fósforo.

La Tabla 6 muestra que el 88% de los suelos de la región tienen horizonte superficial con niveles de P disponible más bajos que 7 ppm, de acuerdo al método de la doble extracción ácida. La Figura 11 muestra la distribución de los niveles de P en la región para el horizonte superficial del

suelo. Desde que el nivel crítico generalmente reconocido para este método en Oxisoles y Ultisoles de Brasil es de 7 ppm de P para los cultivos, es seguro que la mayoría de los suelos en el área son deficientes en fósforo para la mayoría de los cultivos anuales. Afortunadamente, esta difundida deficiencia de P no está acompañada por una difundida alta capacidad de fijación de fósforo. La Tabla 6 muestra que un estimado de 100 millones de hectáreas (12% de la región) tienen suelos con una alta capacidad de fijación de P, según está definida por el modificador "i" del sistema FCC. Solamente aquellos horizontes superficiales de suelo con contenido de arcilla mayor que 35% y con alta proporción de óxido de hierro presente, son considerados altos fijadores de P, lo cual significa que requerirán más de 100 kg/ha de P para corregir las deficiencias de fósforo en muchos cultivos anuales (Sánchez y Uehara, 1980; Sánchez et al., 1980). Los isotermas de adsorción de fósforo conducido con muestras de Ultisoles tomadas de Perú y Brasil por North Caroline State University, 1973, y Dynia et al.,1977), muestran que la capacidad de fijación es baja. El uso de especies y cultivares tolerantes a bajos niveles de P es una alternativa viable para decrecer los requerimientos de fertilización de P en suelos deficientes.

Bajas reservas de Potasio.

Alrededor del 58% de la región (477 millones de hect.) tienen suelos con bajas reservas de K. La Tabla 7 muestra cifras menores de estos suelos señalados con el modificador "k" debido a que toma en cuenta solamente aquellos que no están afectados además por los modificadores "g" (gley) y "d" (seco). Aunque la quema aumenta los niveles de K disponibles, este efecto tiende a ser de corta duración. A diferencia de la acidez del suelo y bajo P, no hay hasta el presente estrategias genéticas satisfactorias para plantas en relación a las deficiencias de K. Consecuentemente, ésta es una

limitación económica importante en alrededor de la mitad de la región.

Capacidad de intercambio catiónica efectiva baja.

La baja CICE es una limitación del suelo importante debido a la susceptibilidad de los nutrientes móviles a ser lixiviados del perfil del suelo y el daño de crear serios desequilibrios nutricionales entre cationes, tales como K, Ca y Mg. La Tabla 6 muestra que aproximadamente 242 millones de hect. (30% de la región) tienen esta condición en el horizonte superficial; además, 414 millones (50% de la región) la presentan en el subsuelo. La baja CICE prevalece más en las subregiones B y C, y ocurren principalmente en Oxisoles arcillosos (Acrorthox y Acrustox), Ultisoles de textura arenosa y en todos los Spodosoles. Se han informado pérdidas por lixiviaciones rápidas y serios desequilibrios K-Mg en Ultisoles en Perú (Villachica, 1978; Villachica y Sánchez, 1980 ab).

Deficiencias de otros nutrientes.

La región es un paraíso para los científicos interesados en deficiencias de nutrientes. En Ultisoles de Yurimaguas, por ejemplo, se han reportado deficiencias de todos los elementos nutrientes esenciales, excepto para Fe y Cl en cultivos anuales. (Villachica y Sánchez, 1980). En adición a N, P y K, las más ampliamente difundidas parecen ser Mg, S y Zn. La limitada base de datos sobre el tema impide una evaluación geográfica de donde ocurren deficiencias específicas y sus relaciones con las propiedades de los suelos.

Frecuentemente se observan síntomas de deficiencias de nutrientes en cultivos anuales o perennes, pasturas y aún plantaciones forestales en toda la región. Por ejemplo, se han reportado deficiencias de azufre en arroz creciendo en "varzeas" a lo largo del río Jarí en Amazonía oriental (Wang et al.,1976) y en pasturas creciendo en Oxisoles de Planaltina en el Cerrado

(CIAT, 1978). Se han visto síntomas de deficiencia de K, Mg y Zn en una amplia variedad de plantas, en adición a las deficiencias ubicuas de N y P. Es necesario hacer mucho trabajo para identificar estas limitaciones. Para solucionar problemas de deficiencia de nutrientes en forma más rápida que la actual, ayudaría mucho el desarrollo de una nueva metodología de ensayos de fertilizantes que permita la rápida y definitiva identificación de deficiencias de nutrientes en el campo, como la usada por Cochrane (1974), y métodos más apropiados de análisis de suelos y plantas.

Limitaciones que ocurren juntas.

La Tabla 7 muestra la manera en que varias de estas limitaciones ocurren juntas y en las mismas unidades de tierra, tal como se define por las varias combinaciones de modificadores FCC. Solamente alrededor de 42 millones de hect. (5% de la región) demostraron no tener mayores limitaciones de fertilidad. El resto mostró varias combinaciones de toxicidad por Al (a), ácido pero no alumino-tóxico (b), baja capacidad de intercambio catiónica efectiva (e), bajas reservas de K (k), alta fijación de P (i), drenaje pobre (g), y "[illegible]s" por estación seca (d). Las combinaciones más frecuentes involucraron toxicidad por Al, baja reserva de K, baja CICE y alta fijación de P.

DISCUSION Y CONCLUSIONES

La metodología ha permitido la cobertura rápida y relativamente comprehensiva de una gran parte del recurso tierra de la región baja de Sudamerica tropical, en el contexto de proveer una base para el desarrollo y transferencia de agrotecnología basada en germoplasma. La descripción de sistemas de tierras como patrones recurrentes de clíma, paisaje y suelos, proveen una definición manejable de ecosistemas para este propósito. Las imágenes de satélite y de radar han hecho una realidad la cuantificación a una base geográfica común, y la computarización ha provisto una herramienta poderosa no solamente para almacenamiento y recuperación de datos sino también para producción de mapas y análisis.

La revisión del recurso tierra base de la región central baja de Sudamerica tropical ilustra la necesidad de considerar el uso potencial de la tierra en términos de clíma, paisajes y suelos. Se ha visto que existe una relación estrecha entre las clases de vegetación natural y los regímenes WSPE. Esto indica que a menos que ocurran cambios climáticos sustanciales, cualquier fragilidad en el sentido de, por ejemplo, tierras forestadas y limpiadas de su vegetación natural que no se reconvertirán en bosques si se dejan solas, probablemente serán confinadas a áreas de transición entre las sabanas y los bosques. Al igual que con el clíma, la mayoría de las tierras bien drenadas son adecuadas para pastos, cultivos y/o producción forestal, con una producción de pastos y cultivos anuales favorables para las regiones de sabanas. Para la producción de pasturas en regiones forestales, uno de los problemas previstos será la dificultad de controlar el rebrote de especies forestales. Resumiendo, el parámetro WSPE provee una aproximación fresca para definir subregiones climáticas para producción de pastos y cultivos en los trópicos.

Del estudio ha emergido un cuadro más claro de los suelos de las tierras bajas de Sudamerica central tropical en términos de su clasificación, morfología y distribución geográfica. Deben ser reconsideradas muchas de las pasadas generalizaciones acerca de su importancia relativa. Su patrón de variabilidad entre las diferentes subregiones climáticas y posición topográfica debería servir como una base para un desarrollo ordenado. En este sentido, muchas de las ambiguedades inherentes a los mapas de suelos de escala pequeña han sido superadas. Por ejemplo, pueden identificarse aquellos suelos que es mejor dejarlos en su estado natural, como los Spodosoles, o la importancia relativa de Ultisoles comparada con Oxisoles en las regiones de bosques tropicales lluviosos.

La evaluación geográfica del recurso tierra, sin embargo, debe ser considerada en el contexto del manejo de suelo y tierra. Esto no ha sido específicamente discutido en este trabajo. Por ejemplo, Falesi (Serrao et al., 1978) ha mostrado cómo la limpieza y quema de un bosque tropical semi-siempreverde tropical seguido por cultivo de pasturas, cambiarán completamente las propiedades de Oxisoles, Tabla 8; más aún, estos cambios persisten por muchos años. Por otro lado, para áreas de sabanas sin cubierta forestal - o muy escasa - para quemar, la situación es completamente diferente.

En términos de propiedades físicas del suelo, la evaluación ha mostrado que la mayoría de los suelos en la región no tienen limitaciones superables para la producción agrícola. Sin embargo, 21% son tierras pobremente drenadas y éstas deben ser usadas o bien para pastos y cultivos tolerantes a condiciones húmedas o bien simplemente ser dejadas en su estado natural. Sobre las tierras bien drenadas, las principales limitaciones son químicas, principalmente deficiencias potenciales de P y, en el caso de las sabanas,

problemas potenciales de toxicidad de Al. Sin embargo, existen otros problemas, y algunas deficiencias, incluyendo S y elementos traza que pueden ser más ampliamente difundidas de lo que hasta el presente se reconoce. Las limitaciones químicas del suelo pueden ser manejadas por una combinación de fertilización y o encalado, más el uso de especies y cultivares tolerantes a algunas de las principales limitaciones. Es evidente, sin embargo, que el manejo adecuado del suelo y del cultivo debe ser compatible con los patrones fundamentales de clíma, paisaje y suelos. Se necesita el desarrollo de una tecnología apropiada, adecuadamente enmarcada en el contexto de las aspiraciones de desarrollo de las naciones individuales de acuerdo a las ventajas relativas de sus propios recursos de tierras.

Las notas presentadas en este informe sintetizando datos sobre el recurso tierra difícilmente hacen justicia a la cantidad de información grabada en cinta magnética ya disponible para las instituciones agrícolas. (Cochrane et al., 1979). Estas notas han sido compiladas principalmente para dar un vistazo a las posibilidades e implicaciones del manejo de datos del recurso tierra a través de la computarización, y tal vez en este sentido, pueda servir de modelo para mostrar cómo los estudios de uso potencial de la tierra pueden ser actualizados y extendidos a los trópicos en general.

El estudio está ya ayudando a CIAT a enfocar sus esfuerzos investigativos para selección y mejoramiento de germoplasma forrajero de acuerdo con las realidades de los principales patrones de clíma, paisaje y suelo, a través de América tropical. Se espera que jugará un papel de importancia creciente en el desarrollo y aplicaciones de tecnología basada en germoplasma para las fronteras en expansión de América tropical.

TABLA 1. Subregiones climáticas de las tierras bajas de Sudamerica tropical.

Sub-región	C L I M A*	Nombre
A	WSPE > 1300 mm, > 9 MESES HUMEDOS, WSMT > 23.5°C	Bosque lluvioso tropical.
B	WSPE 1061-1300 mm, 8-9 MESES HUMEDOS, WSMT > 23.5°C	Bosque estacional semisiempreverde
C	WSPE 900-1060 mm, 6-8 MESES HUMEDOS, WSMT > 23.5°C	Sabanas (isohipertérmicas)
D	WSPE 900-1060 mm, 6-8 MESES HUMEDOS, WSMT < 23.5°C	Sabanas (isotérmicas)
E	WSPE < 900 mm, < 7 MESES HUMEDOS, WSMT > 23.5°C	Bosques deciduos
F	- -	Subtropical**
O	- -	Otros**

* WSPE - Evapotranspiración potencial total de la época húmeda
MESES HUMEDOS - MAI > 0.33
WSMT - Temperaturas mensuales medias de la época húmeda.

** Sin definición climática debido a pequeñas áreas estudiadas.

TABLA 2. Resumen climático de un sitio tomado como ejemplo. Fuente: Hancock et al.(1979).

Subregión B: Bosque estacional semi-siempreverde

MANAUS, AM, BRASIL. LAT.3° 8'S LONG.60° 1'W 48 METROS

	EN	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AG	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL
MEAN TEMP[1]	25.9	25.8	25.8	25.8	26.4	26.6	26.9	27.5	27.9	27.7	27.3	26.7	26.6
MEAN R.H.[2]	88.	89.	89.	88.	81.	74.	71.	63.	67.	76.	78.	85.	79.
PCT SUN [3]	38.	36.	37.	38.	48.	56.	59.	67.	63.	54.	51.	43.	49.
MEAN RAD[4]	420.	415.	418.	404.	426.	441.	462.	525.	541.	509.	491.	443.	458.
PRECIP.[5]	276.	277.	301.	287.	193.	99.	61.	41.	62.	112.	165.	228.	2102.
POT ET[6]	132.	118.	131.	123.	135.	136.	149.	172.	173.	167.	155.	142.	1732.
DEF PREC[7]	-144.	-160.	-170.	-164.	-58.	37.	88.	131.	111.	55.	-11.	-86.	-370.
DEP PREC[8]	215.	215.	236.	224.	114.	64.	32.	15.	33.	75.	120.	174.	
MAI[9]	1.62	1.83	1.80	1.82	1.06	0.47	0.22	0.09	0.19	0.45	0.78	1.22	

[1]MEAN TEMP : Temperatura media

[2]MEAN R.H. : Humedad relativa media (%)

[3]PCT SUN : Porcentaje de posible radiación solar

[4]MEAN RAD : Radiación solar media

[5]PRECIP. : Precipitación media (mm)

[6]POT ET : Evapotranspiración potencial estimada

[7]DEF PREC : Déficit de precipitación

[8]DEP PREC : Precipitación confiable

[9]MAI : Indice de disponibilidad de humedad.

TABLA 3. La topografía de las subregiones climáticas de la región central tropical de Sudamerica expresada en millones de hectáreas.

Subregión climática	Plano, pobremente drenado	Topografía (pendiente %) Bien drenado 0-8%	8-30%	> 30%	Total	%
	---------- Millones de hectáreas ----------					
A - Bosque lluvioso tropical	65	128	20	4	217	27
B - Bosque estacional semi-siempreverde	50	189	64	5	308	38
C - Sabanas Isohipertérmicas	31	76	13	9	129	16
D - Sabanas Isotérmicas	0	33	6	4	43	5
E - Bosque estacional deciduo	23	62	10	8	103	12
F - Bosques subtropicales	1	9	1	0	11	1
O - Otros tipos de bosques	0	0	2	6	8	1
Total	170	497	116	36	819	
%	21	61	14			100

Tabla 4. Distribución de grandes grupos de suelos de la región central baja de Sudamerica tropical por subregiones climáticas (A hasta E)* y posiciones topográficas. (Las cifras porcentuales se refieren a las pendientes).

Orden y Gran Grupo	Area total	Subregión A - Bosques lluviosos				Subregión B - Bosque estac. semi-siempreverde				Subregión C - Sabanas isohipertérmicas				Subregión D - Sabanas isotérmicas				Subregión E - Bosques deciduos			
		Mal dren.	Bien drenado 0-8	8-30	>30	Mal dren.	Bien drenado 0-8	8-30	>30	Mal dren.	Bien drenado 0-8	8-30	>30	Mal dren.	Bien drenado 0-8	8-30	>30	Mal dren.	Bien drenado 0-8	8-30	>30
	Millones de hectáreas																				
OXISOLS																					
Haplorthox	150.0	-	38.5	20.4	7.2	-	49.2	22.2	5.8	-	5.5	0.3	0.1					-	< 0.1	1.0	0.2
Acrorthox	62.9	-	2.2	5.8	1.1	-	35.3	13.3	4.1												
Umbriorthox	4.0					-	3.5	0.8	-												
Eutrorthox	0.8					-	0.3	< 0.1	-												
Haplustox	50.0						< 0.1	< 0.1	< 0.1		17.9	7.9	0.1	-	6.6	5.7	5.0	-	1.7	1.0	0.5
Acrustox	32.0										14.2	3.2	0.5	-	8.6	4.4	0.5				
Eutrustox	24.0										7.1	1.4	0.1		6.4	1.4	0.1	-	2.4	3.9	2.5
Plinthaquox	1.0					0.9	-	-	-												
TOTAL	324.8		40.7	26.0	8.3	0.9	88.3	36.8	9.1		44.7	12.8	6.7		21.4	11.5	5.6		4.1	4.9	3.0
%	100.0		12.5	7.9	2.6	0.3	27.2	11.3	2.8		13.8	3.9	2.1		6.7	3.5	1.7		1.3	1.5	0.9
ULTISOLS																					
Tropudults	82.0	-	8.5	3.3	0.3	-	47.1	16.9	4.1												
Plinthudults	30.0	9.6	18.3	0.3	-	-	0.3	-	-	0.6	0.9										
Paleudults	23.0	-	7.6	2.5	< 0.1	-	14.3	3.4	0.2												
Rhodudults	4.0						1.3	2.7	0.4												
Tropaquults	37.0	5.8	-	-	-	8.1				11.8				0.2				10.5			
Plinthaquults	15.0	9.8	-	-	-	0.6				4.8											
Paleaquults	0.3					0.3															
Albaquults	0.1									0.1											
Haplustults	8.5						< 0.1	0.1	0.1		0.1	0.2	0.1						7.7	0.1	0.1
Rhodustults	4.9						1.9	-	< 0.1		2.0	0.5		-	0.8	0.1	-	-	0.2	< 0.1	-
Paleustults	1.6										0.8							< 0.1	0.8	-	-
TOTAL	209.9	25.2	34.4	5.8	0.3	9.0	64.9	23.1	4.8	17.3	3.8	.7	0.1	0.2	0.8	0.1		10.5	8.7	0.1	0.1
%	100.0	12.0	16.4	2.8	0.1	4.3	30.9	11.0	2.3	8.2	1.8	0.3	< 0.1	0.1	0.4	< 0.1		5.0	4.1	< 0.1	< 0.1
ENTISOLS																					
Fluvaquents	50.6	25.1				18.8	-			1.8								2.3	-	-	-
Tropaquents	8.8	1.8				11.1	-			5.3								0.4	-	-	-
Psammaquents	3.9	2.2				0.2	-			0.4								1.0	-	-	-
Quartzipsamments	52.0					0.3	4.1	0.4	-	0.1	11.8	1.2	<0.1		< 0.1	0.2	0.4		28.3	2.4	1.9
Ustipsamments	6.1					-	0.7	0.3	0.1	0.5	1.3	0.1	-						2.5	0.5	< 0.1
Tropopsamments	2.2					<0.1	0.1	-	-												
Tropofluvents	16.5	-	3.5	-		1.9	3.1	-	-		2.4	<0.1						1.2	2.6	< 0.1	-
Ustifluvents	0.2					-	-	-	-		0.2				< 0.1						
Xerofluvents	0.7																		0.7	< 0.1	0.1
Troporthents	9.4	-	<.1	<.1	.1	-	0.9	4.0	2.3		0.8	0.5	0.5						<0.1	< 0.1	< 0.1
Udorthents	1.1																				
Usturthents	1.1										< 0.1	< 0.1	0.1						1.0	0.2	0.4
TOTAL	155.9	29.1	3.5	< 0.1	.1	32.3	8.9	4.7	2.4	8.1	16.5	1.9	0.6		< 0.1	0.2	0.4	3.7	35.1	3.1	2.4
%	100.0	18.7	2.2			20.7	5.7	3.01		5.2											

Tabla 4. (Cont.)

	23	22	21	20	19	18	17	16	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1
ALFISOLS																							
Tropaqualfs	19.1	1.3	-	-	-	5.6	-	-	-	3.8					1.2				6.6				
Natraqualfs	<0.1					<0.1	-	-	-														
Hapludalfs	19.4	0.1	10.3	6.5	1.1		1.1	0.3															
Rhodudalfs	0.5														-	0.5		-					
Haplustalfs	6.6	-				-			-			0.7	0.7	0.3					-	1.4	2.5	0.7	
Rhodustalfs	2.5					-			-			-			-	0.1	0.1	-	-	1.0	0.3	0.1	
Paleustalfs	1.2											1.2	-	-									
Haploxeralfs	0.5																			0.5	-	-	
TOTAL	48.3	1.5	10.3	6.5	1.0	5.6	1.1	0.3			3.8	1.9	0.7	0.3	1.2	0.6	0.1		6.6	2.9	3.2	0.7	
%	100.0	3.1	21.3	13.5	0.2	11.6	2.3	0.6			7.9	3.9	1.4	0.6	2.5	1.2	0.2		13.7	6.0	6.6	1.1	
INCEPTISOLS																							
Tropaquepts	19.1	3.3	-	-	-	6.3	-	-	-	3.2									2.3				
Sulfaquepts	3.0					2.4	0.6	-	-														
Humaquepts	1.0										0.7								0.2	< 0.1	< 0.1	-	
Haplaquepts	<0.1					< 0.1																	
Plinthaquepts	<0.1										0.1												
Eutropepts	12.5	-	3.5	2.0	1.8	-	1.2	< 0.1	-			0.4	-	-						0.3	0.6	0.4	
Dystropepts	7.7	-	0.9	0.1	0.1	-	0.7	0.8	0.3	-		-	0.4	1.8	-	0.2	0.2	0.2	-	0.2	0.9	0.[illegible]	
Ustropepts	6.2									-		0.1	0.3	0.5						5.0	0.1	0.1	
Dystrandepts	1.1	0.2	0.9	<0.1	<0.1		-	-	-	-													
Hydrandepts	0.2					0.5				0.5					0.1								
TOTAL	44.9	3.5	5.3	2.1	1.9	9.2	2.5	0.8	0.3	4.5	0.6	0.7	2.3	0.1	0.2	0.2	0.2	2.5	5.5	1.4	1.[illegible]		
%	100.0	7.8	11.8	4.7	4.2	20.5	5.6	1.3	0.7	10.0	1.1	1.6	5.1	0.2	0.4	0.4	0.4	5.6	12.2	3.1	2.7		
SPODOSOLS																							
Tropaquods	11.0	8.5	-	-	-	2.5																	
%	100.0	77.0				23.0																	
MOLLISOLS																							
Haplaquolls	1.3	0.8	-	-	-	0.5	-	-															
Argiudolls	< 0.1					-	< 0.1	< 0.1	< 0.1														
TOTAL	1.3																						
%	100.0	61.5				38.5																	
ARIDISOLS																							
Cambiorthids	1.2																		-	1.2	-	-	
%	100.0																			100.0			
VERTISOLS																							
Chromuderts	0.4		0.4																				
%	100.0		100.0																				
HISTOSOLS																							
Tropohemists	0.2																	-	0.2	-	-		
%	100.0																		100.0				

*Las subregiones climáticas F y O contribuyen con 18.2 millones de hect.solamente.

TABLA 5 Distribución de clases texturales de los suelos de las tierras bajas centrales de Sudamerica tropical por subregiones climáticas (A hasta E)*y subdivisiones topográficas de acuerdo al sistema de clasificación de capacidad de fertilidad.

FCC Clases texturales	Subregión A - Bosques lluviosos				Subregión B - Bosque estac. semi-siempreverde				Subregión C - Sabanas isohipertérmicas				Subregión D - Sabanas isotérmicas				Subregión E - Bosques deciduos			
	Mal dren.	Bien drenado 0-8%	8-30%	>30%	Mal dren.	Bien drenado 0-8%	8-30%	>30%	Mal dren.	Bien drenado 0-8%	8-30%	>30%	Mal dren.	Bien drenado 0-8%	8-30%	>30%	Mal dren.	Bien drenado 0-8%	8-30%	>30%
	Millones de hectáreas																			
L (franco)	22.1	19.1	11.0	3.7	26.9	42.5	16.5	3.5	4.6	19.8	7.7	6.0	0.1	5.7	7.1	5.1	6.2	12.2	4.9	3.1
LC (franco sobre arcilloso)	22.5	49.3	14.3	2.8	11.1	46.0	20.4	4.5	14.0	5.2	1.4	0.9	0.6	0.3	0.3	0.2	13.5	10.6	3.5	1.1
C (arcilloso)	7.1	23.0	13.3	3.8	14.8	60.6	25.4	6.3	8.0	20.7	4.8	1.1	0.2	15.8	4.5	0.3	1.7	2.2	0.5	0.2
S (arenoso)	4.6	1.4	-	-	3.2	6.0	0.7	0.1	1.4	15.2	1.8	0.1	-	0.8	0.3	0.6	1.7	30.8	3.3	1.9
SL (arenoso sobre franco)	6.8	5.0	0.3	-	1.4	2.6	0.7	0.1	1.4	1.1	0.2	-	<0.1	<0.1	0.1	<0.1	0.7	0.3	-	-
LR (franco sobre roca)	-	0.5	1.2	1.8	0	0.8	3.8	2.2	<0.1	0.4	0.2	0.3	-	0.2	0.2	0.2	-	0.1	0.2	0.4
LS (franco sobre arenoso)	0.8	0.4	0.3	0.1	0.3	0.5	<0.1	-	<0.1	1.8	0.8	0.3	-	-	0.3	0.1	<0.1	-	-	-
SC (arenoso sobre arcilloso)	-	-	-	-	0.8	0.1	0.1	-	4.4	-	-	-	-	-	-	-	-	0.1	0.1	0.1
CR (arcilloso sobre roca)	-	-	-	-	-	0.1	0.2	<0.1	-	0.2	0.8	2.0	-	-	-	-	-	-	-	-
CL (arcilloso sobre franco)	1.2	0.2	-	-	<0.1	0.1	-	-	0.5	<0.1	-	-	-	-	-	-	0.7	-	-	-

* Las subregiones F y O no se incluyen debido a porcentajes relativamente pequeños de suelos cubiertos por el estudio.

[illegible] La extensión areal de algunas propiedades químicas para el horizonte superficial (0-20cm) y subsuelo (21-50cm) [illegible] divisiones topográficas de las subregiones climáticas de la región central baja de Sudamérica tropical.

[illegible]	Subregión A - Bosques lluviosos. Mal dren.	Bien drenado 0-8%	8-30%	>30%	Subregión B - Bosque estac. semi-siempreverde Mal dren.	Bien drenado 0-8%	8-30%	>30%	Subregión C - Sabanas isohipertérmicas Mal dren.	Bien drenado 0-8%	8-30%	>30%	Subregión D - Sabanas isotérmicas Mal dren.	Bien drenado 0-8%	8-30%	>30%	Sabanas deciduas Mal dren.	0-3	[illegible]
	Millones de hectáreas																		
[illegible] superficial [illegible]																			
[illegible] > 7.0)	0.1	-	-	-	0.1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	<0.1	-	-	-
[illegible] 5.0-7.0)	30.0	15.9	6.0	1.3	30.0	15.9	6.0	1.3	10.1	18.6	6.7	4.7	0.6	2.0	1.7	0.9	17.3	46.3	7.2	3.8
[illegible] < 5.0)	28.5	143.3	61.8	15.6	28.5	143.3	61.8	15.6	24.6	46.0	10.9	6.0	0.3	23.6	11.1	5.5	6.5	9.8	6.0	3.7
[illegible] Orgánica [illegible] superficial																				
[illegible]	27.3	13.9	4.0	13.6	22.8	18.3	3.9	0.3	19.1	12.2	4.9	4.5	0.9	6.4	0.9	0.3	2.6	2.7	0.9	0.8
[illegible]	33.3	83.9	35.2	9.1	31.0	124.1	53.1	1.2	15.4	44.0	11.7	2.6	1.0	22.4	11.9	6.1	21.5	53.4	11.9	6.7
[illegible]	4.5	1.1	1.2	1.7	4.8	16.8	10.8	15.3	0.3	8.3	1.0	3.5	-	-	-	-	0.4	0.2	0.4	-
[illegible] superficial																				
[illegible]	24.7	70.2	23.8	6.0	14.3	94.0	42.8	13.3	3.8	20.1	6.2	5.0	0.3	14.3	6.9	2.6	6.4	4.4	4.2	2.7
[illegible] (5-7.0)	7.6	8.9	9.6	4.6	3.3	36.8	13.4	3.4	7.6	10.1	4.1	2.6	0.1	2.6	3.6	2.8	7.1	5.5	1.8	1.2
[illegible] (10-[illegible])	5.9	2.13	0.3	0.2	14.0	14.2	6.6	2.4	13.4	19.9	2.1	0.5	0.1	4.1	1.2	0.3	2.2	0.5	0.4	0.5
[illegible] < 10)	26.8	17.7	6.8	1.2	26.8	14.2	5.0	0.8	9.9	14.4	5.3	2.6	0.4	1.2	1.1	0.8	14.8	46.0	6.8	3.1
[illegible] intercambiable [illegible] superficial																				
[illegible] > 0.3)	22.5	7.2	1.7	1.8	25.3	12.8	5.9	0.9	5.8	2.8	0.1	0.1	-	-	-	-	0.5	2.0	0.9	0.8
[illegible] (0.15-0.3)	18.9	29.6	11.5	3.3	11.3	46.4	19.3	5.1	17.2	17.5	7.0	5.9	0.6	0.5	2.0	0.5	10.6	11.4	3.6	1.5
[illegible] < 0.15)	23.6	62.1	27.2	7.0	22.1	100.1	42.6	10.8	11.7	43.8	10.5	4.7	0.3	13.1	10.8	5.8	13.4	43.0	8.7	5.2
[illegible] intercambiable [illegible] superficial																				
[illegible] > 4.0)	27.1	19.9	8.2	2.8	23.8	20.4	8.9	3.0	12.4	6.0	32.5	1.9	0.1	0.8	0.5	0.1	3.9	5.4	3.7	1.5
[illegible] (0.4- 4.0)	26.8	51.3	15.3	4.4	20.2	48.8	23.6	6.1	12.3	17.0	4.6	6.2	0.5	6.1	3.2	1.2	17.8	47.7	7.9	5.3
[illegible] < 0.4)	11.2	27.7	16.9	4.9	14.6	90.0	35.3	7.8	10.0	41.5	9.7	2.7	0.3	16.0	9.0	5.1	2.7	3.2	1.7	0.7
[illegible] intercambiable [illegible] superficial																				
[illegible] > 0.8)	23.0	15.7	7.7	2.8	28.6	25.4	10.8	3.4	11.2	6.9	3.3	1.9	0.1	0.8	0.5	0.1	3.8	5.5	3.7	1.5
[illegible] (0.2-0.8)	29.8	48.5	11.9	4.2	17.8	83.3	31.0	7.1	15.3	28.3	8.2	4.2	0.5	16.6	9.7	5.1	17.9	47.4	8.2	5.8
[illegible] < 0.2)	12.3	34.7	20.7	5.1	12.1	50.1	26.0	6.4	8.2	29.2	6.2	4.7	0.3	5.5	2.6	1.2	2.7	3.5	1.4	0.3

TABLA 6 (Cont.)

	Subregión A - Bosques lluviosos				Subregión B - Bosque estac. semi-siempreverde				Subregión C - Sabanas isohipertérmicas				Subregión D - Sabanas isotérmicas				Subregión E - Bosques deciduos			
	Mal dren.	Bien drenado 0-8%	8-30%	>30%	Mal dren.	Bien drenado 0-8%	8-30%	>30%	Mal dren.	Bien drenado 0-8%	8-30%	>30%	Mal dren.	Bien drenado 0-8%	8-30%	>30%	Mal dren.	Bien drenado 0-8%	8-30%	>30%
	Millones de hectáreas																			
ECEC (meq/100g) Suelo superficial																				
A (> 8)	44.0	34.5	8.0	1.3	36.2	5.0	1.6	4.3	15.2	7.4	3.2	2.0	0.2	0.8	0.5	< 0.1	5.2	5.6	0.4	1.5
M (4 - 8)	14.8	53.4	27.2	9.9	18.4	62.9	33.1	10.6	9.1	16.1	4.2	4.7	0.4	5.6	3.1	1.2	17.6	16.6	2.1	1.6
e (< 4)	5.8	10.9	5.2	0.8	3.9	46.5	18.2	1.9	10.3	40.9	10.1	4.1	0.3	16.4	9.1	5.1	1.6	34.1	7.4	4.4
Suelo superficial Fósforo - P** (0-20 cm profund.)																				
Alto (> 7 ppm.)	24.0	13.2	1.1	0.2	21.8	17.7	3.8	0.2	2.4	0.9	0.3	0.7	-	-	-	-	2.1	3.5	0.9	0.8
Medio (3-7 ppm)	27.6	32.3	14.5	5.1	27.0	47.9	18.1	2.9	13.6	20.5	7.8	6.8	0.9	5.5	3.0	1.5	21.6	51.2	11.7	6.2
Bajo (< 3 ppm)	13.5	53.4	24.8	6.8	9.7	93.6	45.9	13.7	18.7	43.0	9.8	3.9	0.1	17.34	9.8	4.9	0.7	1.7	0.7	0.5
TOTAL	65.1	98.9	40.4	12.1	58.5	159.2	67.8	16.8	34.7	64.4	17.9	11.4	1.0	22.9	12.8	6.4	24.4	56.36	13.3	7.5
%	30.1	45.7	18.7	5.6	19.4	52.7	22.4	5.6	27.2	50.6	13.8	8.4	2.2	53.2	29.7	14.9	24.0	55.5	13.1	7.4
Fijación Fósforo - P*** (0-20 cm profund.)																				
I, Fijación	3.3	7.3	4.2	1.1	1.6	19.9	7.1	1.4	3.9	19.9	5.5	4.5	-	13.0	3.4	0.3	0.1	2.1	0.4	0.2
O, Sin fijación	61.7	91.6	36.2	11.0	56.9	139.4	60.7	15.4	30.8	44.5	4.5	6.2	1.0	9.8	9.4	6.1	24.3	54.3	12.9	7.3
U, Sin datos	0.1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
TOTAL	65.0	98.9	40.4	12.1	58.5	159.3	67.8	16.8	34.7	64.4	10.0	10.7	1.0	22.8	12.8	6.4	24.4	56.4	13.3	7.5
%	30.1	45.7	18.65	5.6	19.4	53.	22.4	5.6	27.2	50.6	13.8	8.4	2.2	53.2	29.7	14.9	24.0	55.5	13.1	7.4

* Las subregiones F y O no se incluyen debido a su escasa extensión.
** Los niveles se refieren a Bray II.
*** Definición del modificador FCC (> 35% arcilla, % Fe_2O_3 libre/% arcilla >.15)

TABLA 7 . La extensión areal de las combinaciones de modificadores del sistema de clasificación de capacidad de fertilidad (FCC) de los suelos de la región central baja de Sudamerica tropical.

FCC combinación de modificadores.*	Millones de hectáreas	FCC combinación de modificadores*	Millones de hectáreas
g	79.75	dh	6.4
gak	2.6	dhe	0.1
gake	2.1	dhi	3.3
gb	0.7	dhh	5.4
gdsn	< 0.1	dhke	30.8
ga	19.3	dhkei	1.31
gai	0.5	dhki	0.3
gak	13.7	di	3.7
gake	3.6	dk	12.6
gh	17.6	dke	39.5
ghi	0.2		
ghk	16.4	a	63.1
ghke	12.1	ae	10.3
gi	0.6	ai	2.0
gk	11.5	ak	145.6
gke	0.4	ake	44.5
gkei	1.2	akei	14.8
gs	0.1	aki	16.2
		h	23.7
d	43.3	hc	3.0
da	1.7	he	2.0
dae	0.6	hei	4.3
daei	2.3	hi	1.1
daek	1.0	hix	0.2
daeki	0.3	hk	22.0
dai	3.1	hke	3.4
dak	1.8	hkei	8.1
dake	28.7	hki	1.5
dakei	28.5	e	<0.1
daki	1.4	i	0.1
db	0.4	ix	1.1
dei	2.1	h	6.2
dg	1.1		
		Sin modificadores	42.4
		TOTAL	816.9

*Nota: g= gley; d= seco; a= Al tóxico; h= ácido; e= CEC bajo; i= fijación de fósforo; K= deficiencia en potasio; n= nátrico; s= salino; x= amorfismo de rayos-x; c= arcilla cat. (Ver referencia para más detalles).

TABLA 8 .
Composición química promedio (0-20 cm) de un Latosol Amarillo muy arcilloso (Oxisol) bajo bosque y pastura de *P. maximum* (diferentes edades) en la región de Paragominas, Pará, Brasil. Fuente: Falasi (Serrao *et al.*, 1978)

Suelo superficial	Arcilla total	M.O.	N	pH (H_2O)	Cationes intercambiables Ca^{++}	Mg^{++}	Al^{+++}	disponible K	P	Sat. de Al
					meq/100 g---			---ppm ---		%
Bosque	65	2.79	0.16	4.4	1.47	1.8		23	1	53
1 año pastura	50	2.04	0.09	6.5	7.53	0.0		31	10	0
3 años pastura	60	3.09	0.18	6.9	7.80	0.0		78	11	0
4 años pastura	55	2.20	0.11	5.4	3.02	0.2		62	2	6
5 años pastura	50	1.90	0.10	5.7	2.81	0.2		65	3	6
6 años pastura	51	1.90	0.09	6.0	3.84	0.0		74	7	0
7 años pastura	48	1.77	0.08	5.7	2.61	0.0		47	1	0
8 años pastura	52	1.69	0.08	5.4	2.10	0.0		39	1	0
9 años pastura	50	2.34	0.11	5.9	4.10	0.1		70	2	2
11 años pastura	45	3.37	0.15	6.0	4.10	0.0		86	1	0
13 años pastura	62	2.80	0.20	5.6	4.80	0.0		54	1	0

LITERATURE CITED

Alvim, P.T. 1978. A expansão da frontiera agrícola no Brasil. CEPLAC, Itabuna, Bahia.

Alvim, P.T. 1978. Perspectivas de produção agrícola na regiáo amazónica. Interciencia 3(4):243-249.

Alvim, P.T. 1979. Agricultural production potential of the Amazon region In: P.A. Sánchez and L.E. Tergas (Eds.) Pasture Production in Acid Soils of the Tropics, CIAT, Cali, Colombia, pp. 13-23.

Alvim, P.T. and J.E. da Silva. 1979. Comparação entre os cerrados e a região Amazonica em termos agroecológicos. In: V Simposio Sobre o Cerrado. Brasilia, Brazil (in press).

Bandy, D. E. 1977. Manejo de suelos y cultivos en sistemas de agricultura permanente en la selva amazónica del Perú. En: FAO/SIDA: Reunión-Taller sobre Ordenamiento y Conservación de Suelos, Lima, Perú.

Barr, H.J., T.M. Goodnight, J.P. Sull and J.T. Helwing. 1976. A user's guide to SAS '76. pp.184-185. Statistical Analysis Service, Inc., Raleigh, N.C., U.S.A.

Benavides, S.T. 1973. Mineralogical and chemical characteristics of some soils of the Amazonia of Colombia. Ph.D. Thesis, North Carolina State University, Raleigh. 216 p.

Blancaneaux, P., S. Hernández y J. Araújo. 1977. Estudio edafológico preliminar del sector Puerto Ayacucho. Territorio Federal Amazonas, Venezuela. Ministerio del Ambiente y de los Recursos Naturales Renovables. Caracas, Venezuela. 120 p.

Brito A., P. y León L., C. 1971. Estudio agrológico semidetallado. Valle Medio del río Yaracuy. Ministerio de Agricultura y Cría. Centro de Investigaciones Agronómicas. Maracay, Venezuela. 104 p.

Budowski, G. 1976. La conservación del medio ambiente. Conflicto o instrumento para el desarrollo? Ciencia Interamericana 17(1):2-8.

Buol, S.W., P.A. Sánchez, R.B. Cate and M.A. Granger. 1975. Soil Fertility capability classification. pp. 126-141. In: Bornemisza, E. and A. Alvarado (Eds.) Soil Managemente in Tropical America. North Carolina State Univ. Raleigh, N.C., U.S.A.

Christian, C.S. and S.A. Stewart. 1953. Survey of Katherine-Darwing region, 1946. Land Research Series No.1. CSIRO, Melbourne, Australia. 126 p.

CIAT. 1978. Annual Report for 1977. Beef Program. Centro Internacional de Agricultura Tropical, Cali, Colombia. pp. A7-10.

CIAT. 1979. Annual Report for 1978. Beef Program. Centro Internacional de Agricultura Tropical, Cali, Colombia. pp. B5-B11.

CIAT. 1980. Annual Report for 1979. Centro Internacional de Agricultura Tropical, Cali, Colombia (in press).

Cochrane, T.T. 1968. An initial assessment of the land use potential of the central piedmont and the Santa Cruz regions of tropical Bolivia. Tropical Agricultural Mission, La Paz, Bolivia. 148 p.

Cochrane, T.T. 1973. El potencial agrícola del uso de la tierra en Bolivia. Un mapa de sistemas de tierras. Misión Británica en Agricultura Tropical. Ministerio de Agricultura. La Paz, Bolivia. 826 p.

Cochrane, T.T., J.A. Porras, L. Azevedo de G., P.G. Jones, and L.F. Sánchez 1979. An explanatory manual for CIAT's computerized land resource study of tropical America. CIAT, Cali, Colombia. 131 p.

Cochrane, T.T. 1979. An ongoing appraisal of the savanna ecosystems of tropical America for beef cattle production. In: P.A. Sánchez and L. E. Tergas (Eds.) Pasture Production in Acid Soils of the Tropics. Centro Internacional de Agricultura Tropical, Cali, Colombia. pp.1-12.

Cochrane, T.T. 1979. Manganese and zinc deficiencies in sugar-cane grown in Entisols near Santa Cruz, Bolivia. Trop. Agric. (Trinidad). Vol.56, No.3. p.219-224.

Cochrane, T.T. 1980. The methodology of CIAT's land resource study of tropical America. In: Burroff, P.G. and D.B. Morrison Eds. VI Intern. Symposia Machine Processing of Remotely Sensed Data and Soil Information Systems and Remote Sensing and Soil Survey. Purdue University, West Lafayette, Indiana. IEEE Catalog No.80 CH 1533-9 MPRSD. pp 227-233.

Cochrane, T.T. and P.G. Jones. 1980. Clima e vegetação na America do Sul Tropical. Um estudo computarizado dos recursos das terras. In: Anais do XXXI Congresso Nacional de Botânica. Ilheus/Itabuna, Brasil (in press).

Cochrane, T.T., J.G. Salinas, P.A. Sánchez. 1980. An equation for liming acid mineral soils to compensate crop Al tolerance. Trop. Agric. 59:133-140.

Cochrane, T.T. and P.A. Sánchez. 1980. Land resources, soil properties and their management in the Amazon region: A state of knowledge report. International Conference on Amazonian Soils. Cali, Colombia.

Comerma, J. and A. Chirinos. 1977. Características de algunos suelos con y sin horizonte argílico en las mesas orientales de Venezuela (a). Agronomía Tropical. 27(2):181-206. Maracay, Venezuela.

COPLANARH. 1975. Inventario Nacional de Tierras. Regiones: Costa noroccidental, Centro occidental y central. Volumen I y II. Comisión del Plan Nacional de Aprovechamiento de los Recursos Hidráulicos. Caracas, Venezuela. 835 p.

Cover, T.M. and P.E. Hart. 1967. Nearest neighbout pattern classification. IEEE Transactions on Information Theory. Vol. IT-13:21-17.

Custode, E. y M. Soudat. 1978. Suelos del nororiente. Características químicas y su fertilidad. Ministerio de Agricultura y Ganadería. Office de la Recherche Scientifique et Technique Outre-Mer. Quito, Ecuador. 28 p.

Dynia, J.F., G.N.C. Moreira, and R.M. Bloise. 1977. Fertilidade de solos da regiao da Rodovia Transamazónica. 2. Fixacao de fósforo em Podzólico Vermelho-Amarelo e Terra Roxa Estruturada Latossólica. Pesq. Agropec. Bras. 12:75-79.

Eiten, G. 1972. The cerrado vegetation of Brazil. Botan. Rev. 38(2): 201-341.

EMBRAPA. 1975. Mapa esquemático dos solos das regioes norte, meio-norte e centro-oeste do Brasil. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuaria. Vinculada ao Ministerio da Agricultura. Río de Janeiro, Brasil. 553 p.

EMBRAPA-SUDENE/DRN. 1976. Levantamento exploratorio - Reconhecimento de solos da margen esquerda do río Sao Francisco. Estado da Bahía - Ministerio da Agricultura. Ministerio do Interior. Recife, Brasil. 404 p.

Eyre, S.R. 1968. Vegetation and Soils: A World Picture. 2nd Edition. Arnold Publishers, Ltd., London. pp. 195-258.

Falesi, I.C. 1972. O estudo atual dos conhecimentos sobre os solos da Amazonia brasileira. Bol. Tec. Inst. Pesq. Agropec. Norte 54:17-67.

Falesi, I.C. 1976. Ecossistema de pastagem cultivada na Amazonia brasileira. CPATU Bol. Tec. 1. Centro de Pesquisa Agropecuaria do Tropico Umido, EMBRAPA. Belém, Brasil.

FAO. 1964. Reconocimiento Edafológico de los Llanos Orientales. Colombia. Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo. Roma. 7 Tomos.

FAO-UNESCO. 1971, 1975. Soil Map of the World. Vol.IV-South America. UNESCO, París.

Ferri, M.G. 1976. IV Simpósio sobre o cerrado. Bases para utilização agropecuária Editora da Universidade de São Paulo. Livaria Itatiaia Editora Ltd., Belo Horizonte.

Flores P., S., A. Alvarado y E. Bornemisza. 1978. Caracterización y clasificación de algunos suelos del bosque amazónico peruano. Iquitos, Turrialba. 28(2):99-103.

García G., J., A. Gobert Paredes, J. Benitez J., J. Estrada A. 1975. Caracterización del estado nutricional de algunos suelos de la zona de Jenaro Herrera (Prov. de Requena - Depto. de Loreto). 1975. Proyecto Integral de Asentamiento Rural de Jenaro Herrera. Iquitos, Perú.

Goodland, R. (ed.) 1970. The savanna controversy. McGill University savanna research project publication No.15. Montreal 66 p.

Goodland, R.J.A. and H.S. Irwin. 1975. Amazon Jungle: Green Hell to Red Desert? Elsevier, Amsterdam.

Goodland, R.J.A., H.S. Irwin, and G. Tillman. 1978. Ecological development for Amazonia. Ciencia e Cultura 30(3):275-289.

Gourú, P. 1961. The Tropical World: Its social and economic conditions and its future status. Third edition translated by E.D. Laborde. Longmans, London.

Guerrero, R. 1971. Soils of the Colombian Llanos Orientales. Composition and classification of selected soil profiles. Ph.D. Thesis. North Carolina State University, Raleigh. 77 p.

Hancock, J.K., R.W. Hill, and G.H. Hargreaves. 1979. Potential Evapotranspiration and Precipitation Deficits for Tropical America. CIAT, Cali, Colombia. 398 pp.

Hargreaves, G.H. 1977a. World water for agriculture. Climate, precipitation probabilities and adequacies for rainfed agriculture. Utah State University, Logan, Utah. 272 pp.

Hargreaves, G.H. 1977b. Consumptive use of water and irrigation water requirements. Journal of the Irrigation and Drainage Division. Amer. Soc. Civil Eng. 103(2):287-290.

Hargreaves, G.H. 1975. Water requirements manual for irrigated crops and rainfed agriculture. Utah State University, U.S.A. 40 p.

INIAP. 1977. Breve diagnóstico agro-socio-económico de la región oriental para la ubicación de un centro experimental agropecuario del INIAP. Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias. Quito, Ecuador. 67 p.

Irion, G. 1978. Soil infertility in the Amazonian rainforest. Naturwissenschaften 65:515-519.

Kerstenetzky, I. 1972. Carta internacional do mundo ao millonésimo. Brasil. 46 mapas.

Klinge, H. 1971. Materia orgánica e nutrientes na mata de terra firme perto de Manaus. Acta Amazónica 1(1):69-72

Klinge, H. 1975a. Bilanzierung von Hauptanah-rostoffen im Okosystem tropischer Regenwald (Manaus) - Vorlaufige Daten. Biogeographica 7:59-99.

Klinge, H. 1975b. Root mass estimation in lowland tropical rainforests of central Amazonia, Brazil. III. Nutrients in fine roots from giant humus podsols. Trop. Ecol. 16:28-39.

Lal, R., B.T. Kang, F.R. Moormann, A.S.R. Juo and J.C. Moomaw. 1975. Problemas de manejo de suelos y posibles soluciones en Nigeria Occidental. pp.380-417. In: E. Bornemisza y Al Alvarado (Eds.): Manejo de Suelos en América Tropical. North Carolina State University, Raleigh, N.C., U.S.A.

Luque M., O. 1971. Estudio agrológico semidetallado del centro de recría de Birvaca. Estado Apure. Ministerio de Agricultura y Cría. Centro de Investigaciones Agronómicas. Maracay, Venezuela. 36 p.

Luque M., O. y L. Avilán R. 1976. Clasificación con fines de fertilidad de los suelos de la Mesa de Guanipa. Estado de Anzoatequí. Ministerio de Agricultura y Cría. Fonaiap. Maracay, Venezuela. 15 p.

Luque M., O. 1977. Génesis de tres órdenes de suelos en los Llanos Orientales de Venezuela. Suelos Ecuatoriales. Memorias del V Congreso Latinoamericano de la Ciencia del Suelo y IV Coloquio Nacional sobre suelos. Medellín, Colombia. p.423-427.

Marchetti, D. and A. Dantas Machado. Ed. 1979. Cerrado: uso e manejo. V simpósio sobre o cerrado. EMBRAPA-CPAC. Ed. Editerra, Brasilia. 760 p.

McClung, A.C. 1959. Sulfur deficiency in soils from Brazilian Campos. Ecology, Vol.40, No.2:315-317.

Ministerio de Agricultura. 1979. Levantamento semidetallado dos solos de areas do Ministerio da Agricultura no Distrito Federal. Boletín Técnico No.8. Equipe de Pedología e Fertilidade do Solo. Brasil. 135 p.

Ministerio da Agricultura. 1971. Levantamento de reconhecimiento dos solos do sul do Estado de Mato Grosso. Divisao de Pesquisa Agropecuaria. Río de Janeiro, Brasil. 839 p.

Ministerio de Agricultura. 1975. Descripción y análisis de las calicatas No. 250-300. Dirección General de Recursos Hidráulicos. División de Edafología. 121 p.

North Carolina State University. 1973, 1974, 1975, 1976-77, 1978-79. Research on Tropical Soils - Annual Reports. Soil Science Department, North Carolina State University, Raleigh, N.C. U.S.A.

ONERN. 1967. Estudio del potencial de los recursos naturales de la zona del río Camisea. Oficina Nacional de Evaluación de Recursos Naturales. Lima, Perú. 46 p.

ONERN. 1968. Inventario, evaluación e integración de los recursos naturales de la zona del río Tambo - Gran Pajonal. Oficina Nacional de Evaluación de Recursos Naturales. Lima, Perú. 310 p.

ONERN. 1970. Inventario, evaluación e integración de los recursos naturales de la zona Villa Rica - Puerto Pachitea. Oficina Nacional de Evaluación de Recursos Naturales. Lima, Perú. 450 p.

ONERN. 1972. Inventario, evaluación e integración de los recursos naturales de la zona de los ríos Inambari y Madre de Dios. Oficina Nacional de Evaluación de Recursos Naturales. Lima, Perú. 369 p.

ONERN. 1975. Inventario, evaluación e integración de los recursos naturales de la zona Iquitos, Nauta, Requena y Colonia Angamos. Oficina Nacional de Evaluación de Recursos Naturales. Lima, Perú. 333 p.

ONERN. 1976. Inventario y evaluación de los recursos de suelos y forestales de la zona Ceneapa - Alto Marañón. Oficina Nacional de Evaluación de Recursos Naturales. Lima, Perú. 107 p.

ONERN. 1977. Inventario, evaluación e integración de los recursos naturales de la zona Iberia - Iñapari. Oficina Nacional de Evaluación de Recursos Naturales. Lima, Perú. 376 p.

ONERN. 1978. Inventario, evaluación e integración de los recursos naturales de la zona Pucallpa - Abujao. Oficina Nacional de Evaluación de Recursos Naturales. Lima, Perú. 261 p.

PROJETO RADAMBRASIL. 1974. Levantamento de recursos naturais. Folha SB. 22-Araguaia. Vol.4. Ministerio das Minas e Energía. Rio de Janeiro, Brasil. 405 p.

PROJETO RADAMBRASIL. 1974. Levantamento de recursos naturais. Folha SA. 22-Belen. Vol.5. Ministerio das Minas e Energía. Río de Janeiro, Brasil. 408 p.

PROJETO RADAMBRASIL. 1974. Levantamento de recursos naturais. Folha NA/NB.22 - Macapá. Vol.6. Ministerio das Minas e Energía. Río de Janeiro, Brasil. 389 p.

PROJETO RADAMBRASIL. 1975. Levantamento de recursos naturais. Folha SB. 21 - Tapajós. Vol.7. Ministerio das Minas e Energía. Río de Janeiro, Brasil. 409 p.

PROJETO RADAMBRASIL. 1975. Levantamento de recursos naturais. Folha NA. 20 - Boa Vista. Vol.8. Ministerio das Minas e Energía. Río de Janeiro, Brasil. 426 p.

PROJETO RADAMBRASIL. 1975. Levantamento de recursos naturais. Folha NA. 21 - Tumucumaque. Vol.9. Ministerio das Minas e Energía. Río de Janeiro, Brasil. 360 p.

PROJETO RADAMBRASIL. 1976. Levantamento de recursos naturais. Folha SA. 21 - Santarem. Vol.10. Ministerio das Minas e Energía. Río de Janeiro, Brasil. 510 p.

PROJETO RADAMBRASIL. 1976. Levantamento de recursos naturais. Folha NA. 19 - Pico da Nablina. Vol.11. Ministerio das Minas e Energía. Río de Janeiro, Brasil. 374 p.

PROJETO RADAMBRASIL. 1976. Levantamento de recursos naturais. Folha SC. 19 - Río Branco. Vol.12. Ministerio das Minas e Energía. Río de Janeiro, Brasil. 458 p.

PROJETO RADAMBRASIL. 1977. Levantamento de recursos naturais. Folha SB/SC.18 - Javari - Contamana. Vol.13. Ministerio das Minas e Energía. Río de Janeiro , Brasil. 413 p.

PROJETO RADAMBRASIL. 1977. Levantamento de recursos naturais. Folha SA. 19 - ICA. Vol.14. Ministerio das Minas e Energía. Río de Janeiro, Brasil. 446 p.

PROJETO RADAMBRASIL. 1977. Levantamento de recursos naturais. Folha SB. 19 - Jurva. Vol.15. Ministerio das Minas e Energía. Río de Janeiro, Brasil. 430 p.

PROJETO RADAMBRASIL. 1978. Levantamento de recursos naturais. Folha SC. 20 - Porto Velho. Vol.16. Ministerio das Minas e Energía. Río de Janeiro, Brasil. 663 p.

PROJETO RADAMBRASIL. 1978. Levantamento de recursos naturais. Folha SB. 20 - Purus. Vol.17. Ministerio das Minas e Energía. Río de Janeiro, Brasil. 558 p.

Ranzani, G. 1978. Alguns solos da Transamazonica na regiao de Marabá. Acta Amazónica 8:333-335.

Reis, A.C.F. 1972. O Impacto Amazônico na Civilizacao Brasileira: a Transamazonica e o Desafio dos Tropicos. Ed. Paralelo, Río de Janeiro.

Sánchez, P.A. y Buol, S.W. 1974. Properties of some soils of the Amazon Basin of Perú. Soil Sci. Soc. Amer. Proc. 38:117-121.

Sánchez, P.A. 1977b. Advances in the management of Oxisols and Ultisols in Tropical South America. pp. 535-566. In: Proceedings Int. Seminar on Soil Environment and Fertility Management in Intensive Agriculture. Society of Soil Science and Manure, Tokyo.

Sánchez, P.A. 1979. Soil fertility and conservation considerations for agroforestry systems in the humid tropics of Latin America. pp.79-124. In: H.O. Mongi and P.A. Huxley (Eds.): Soils Research in Agroforestry. ICRAF 00le. Int. Council Res. Agrofor. Nairobi. Kenya.

Sánchez, P.A. and S.W. Buol. 1974. Properties of some soils of the Amazon Basin of Peru. Soil Sci. Soc. Amer. Proc. 38:117-121.

Sánchez, P.A. and T.T. Cochrane. 1979. Soil constraints in relation to major farming systems in tropical America. Soil Constraints Conference, IRRI, Los Baños, Philippines (In press).

Sánchez, P.A. and G. Uehara. 1980. Management considerations for acid soils with high phosphorus fixation capacity. pp.471-514. In: F.E. Kashawney (Ed.): Phosphorus in Agriculture. Soil Sci. Soc. Amer., Madison, Wisc., U.S.A.

Sánchez, P.A., S.W. Buol and W. Couto. 1980. The fertility capability classification system and its application to land evaluation guidelines. Tropical Soils Program. North Carolina State Univ., Raleigh N.C., U.S.A. Manuscript. 30 pp.

Schargel, R. 1972. Características y génesis de una cronosecuencia de suelos desarrollada sobre depósitos aluviales entre los ríos Bocono y Masparro, Estado Barinas. Agronomía Tropical. 22(4):345-371. Maracay, Venezuela.

Schargel, R. 1978. Soils of Venezuela with low activity clays. Ph.D. Thesis. North Carolina State University, Raleigh, N.C., USA.

Schubart, H.O.R. 1977. Criterios ecológicos para o desenvolvemento agrícola das terras firmes da Amazonia. Acta Amazónica 7(4):559-567.

Serrao, E.A.S., I.C. Falesi, J.B. Veiga, and J.F. Texeira. 1979. Productivity of cultivated pastures in low fertility soils of the Amazon of Brazil. pp. 195-226. In: P.A. Sánchez and L.E. Tergas (Eds.): Pasture Production in Acid Soils of the Tropics. Centro Internacional de Agricultura Tropical, Cali, Colombia.

Seltzer, J. 1967. Impossibilidade do uso racional do solo no Alto Xingú, Mato Grosso. Rev. Bras. Geogr. 21(1):102-109.

Soil Survey Staff, 1975. Soil Taxonomy. A basic system of soil classification for making and interpreting soil surveys. Soil Conservation Service. U.S. Dept. of Agriculture. Handbook 436, Washington. 754 p.

Sombroek, W.G. 1966. Amazon Soils. A reconnaissance of the soils of the Brazilian Amazon region. Wageningen, Netherlands. 292 p.

Sombroek, W.G. 1979. Soils of the Amazon region. International Soils Museum, Wageningen, Netherlands. Unpublished paper. 15 pp.

Stark, N. 1978. Man, tropical forests and the biological life of a soil. Biotropica 10:1-10.

Toledo, J.M. and V.A. Morales. 1979. Establishment and management of improved pastures in the Peruvian Amazon. pp.177=194. In: P.A. Sánchez and L.E. Tergas (Eds.): Pasture Production in Acid Soils of the Tropics. Centro Internacional de Agricultura Tropical, Cali, Colombia.

Tosi, J. 1974. Desarrollo forestal del trópico americano frente a otras actividades económicas. pp.II.F.1-13. In: IICA. Reunión Internacional sobre Sistemas de Producción para el Trópico Americano. Informes Sobre Cursos, Conferencias y Reuniones No.41, IICA. Zona Andina, Lima, Perú.

Tyler, E.J., S.W. Buol and P.A. Sánchez. 1978. Genetic association of properties of soils of an area in the upper Amazon of Perú, Soil Sci. Soc. Amer. J. 42:771-776.

U.S. Geological Survey. 1977. Eros Data Center. U.S. Government Printing Office, Washington, D.C. 28 pp.

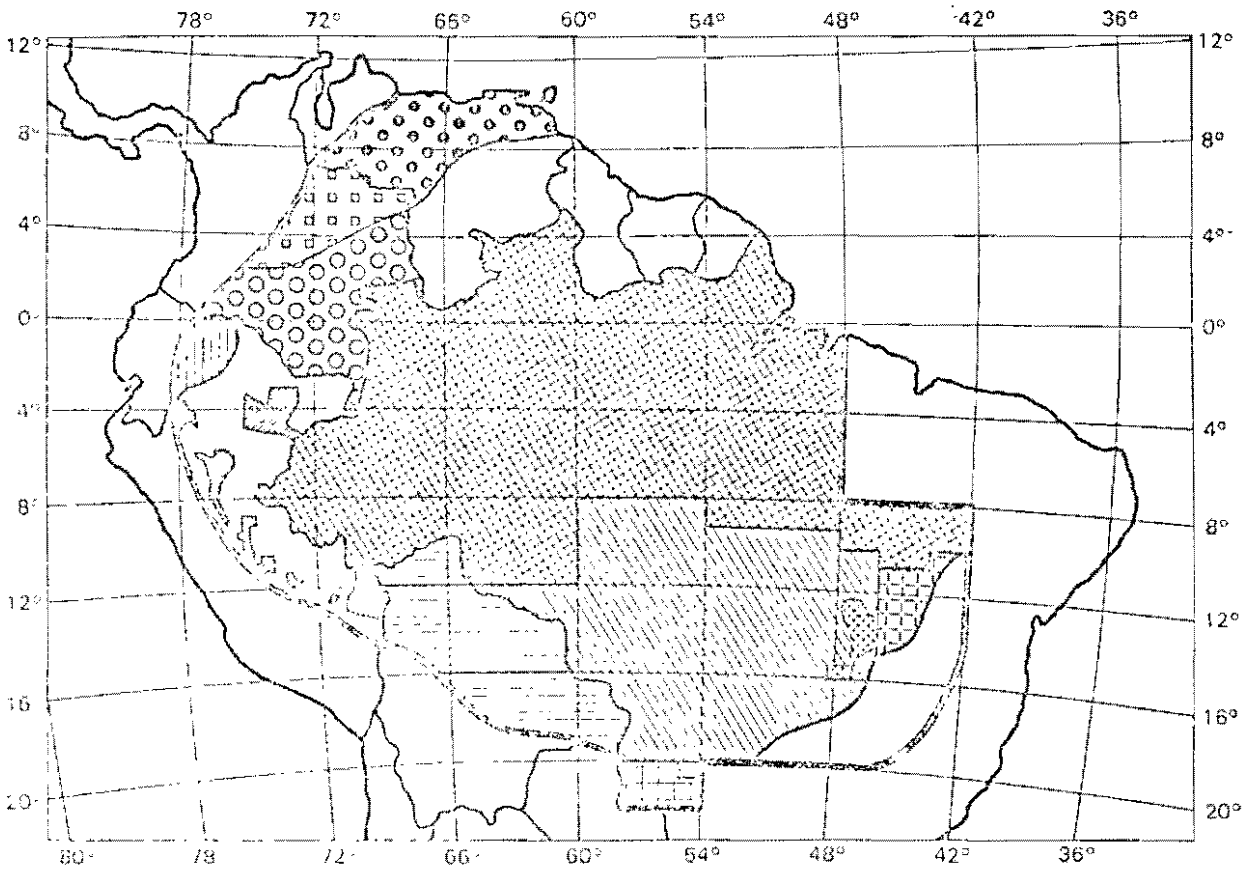
Vettori, L. 1960. Método de análise do solo. Boletim Tecnico, 7. Equipe de Pedologia e Fertilidade do Solo, Rio de Janeiro. 47 p.

Villachica, J.H. 1978. Maintenance of soil fertility under continuous cropping in an Ultisol of the Amazon Jungle of Perú. Ph.D. Thesis, North Carolina State Univ., Raleigh, N.C., U.S.A. 269 pp.

Villachica, J.H. and P.A. Sánchez. 1980. Maintenance of soil fertility in the Amazon of Perú. 1. Soil dynamics. 2. Crop performance (In press).

Villachica, J.H. and P.A. Sánchez. 1980. Importance of cationic balance for continuous cultivation in the Amazon Junge of Peru (In press).

Wang, C.H., T.H. Lieru and D.S. Mikklesen. 1976. Development of sulphur deficiency as a limiting factor for rice production. IRI Tech. Bull.



Area cubierta por los siguientes estudios:
(1) PROYECTO RADAMBRASIL, Volumenes 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17 y 18 (1974-1978), incluye 1.215 perfiles de suelos y 907 perfiles parcialmente descritos con analisis para evaluacion de fertilidad.
(2) EMBRAPA, Bol. No. 17 (1975). Incluye 97 perfiles de suelos más 960 análisis de muestras superficiales.
(3) SOMBROEK (1966); incluye 47 perfiles de suelo.

Area cubierta con una parte del estudio No. (2) y (3) mencionados arriba.

Area cubierta con el estudio de EMBRAPA, Vol. No 38 (197); incluye 67 perfiles de suelo, 35 perfiles complementarios, y 128 muestras superficiales, analisis para evaluacion de fertilidad. Tambien cubierto con parte de los estudios No (1) y (2) mencionados arriba.

Area cubierta con estudios de EMBRAPA, Bol. No 53 (1977), y EMBRAPA (1975), incluye 81 perfiles de suelo, 96 perfiles complementarios, y 112 muestras con analisis para evaluacion de fertilidad. Tambien cubierto con una parte del estudio No (2) mencionado arriba.

Area cubierta con el estudio de EMBRAPA, Bol. No 18 (1971); incluye 178 perfiles de suelo y 676 muestras superficiales con analisis para evaluacion de fertilidad.

También cubierto con una parte del estudio No. (2) mencionado arriba.

Area cubierta con el estudio de COCHRANE (1973); incluye 209 perfiles de suelo.

Area cubierta con estudios de ONERN (1967-1978) Nos. 8, 14, 17, 26, 39, 40, 46 y 49. Incluye 195 perfiles de suelos.

Area cubierta con los estudios de ORSTOM, INIAP y MAG de Ecuador, con descripciones de suelos y datos quimicos generalizados.

Area cubierta con estudios de BENAVIDES (1973), 9 perfiles de suelos; y por CORTES et al. (1973), 19 perfiles.

Area cubierta con el estudio de FAO, (1965); incluye 139 perfiles de suelo; y otros.

Area cubierta con estudios de COPLANARH, MOP, MAC, MARNR, etc. de Venezuela. Numerosos perfiles de suelos disponibles y datos quimicos generalizados.

Area cubierta con estudios de suelos más generalizados, incluyendo SCHARGEL (1978). También incluye el Mapa de Suelos del Mundo, FAO-UNESCO, (1971).

Figura 1. PRINCIPALES ESTUDIOS DE SUELOS USADOS COMO FUENTE DE INFORMACION

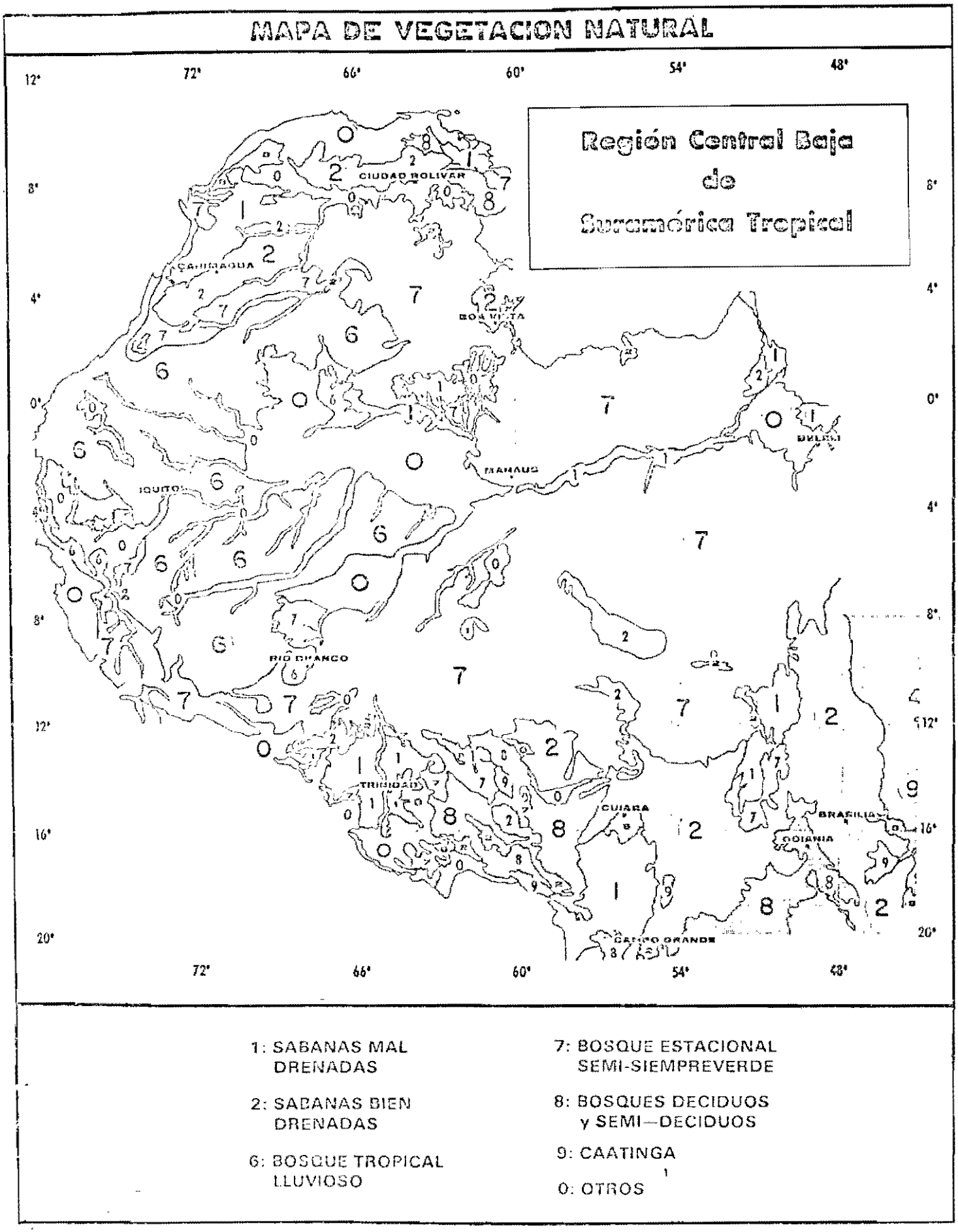


Figura 2. Mapa computarizado de vegetación

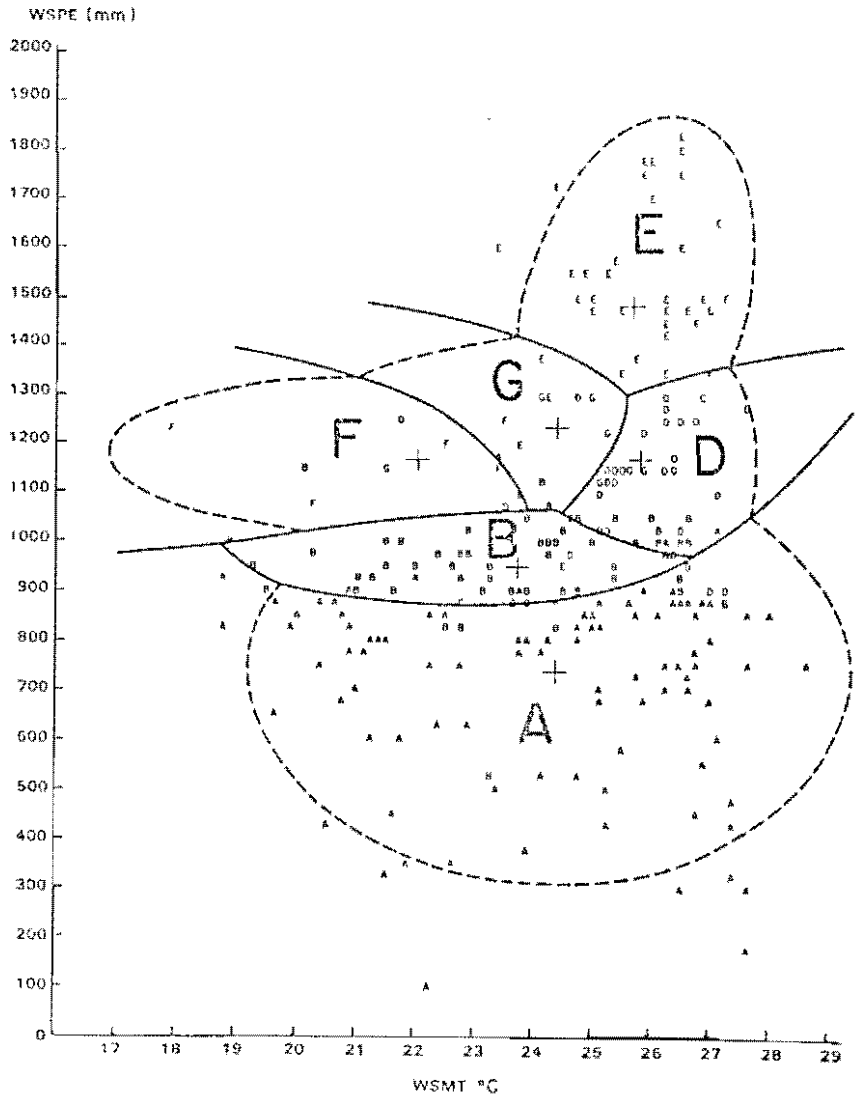


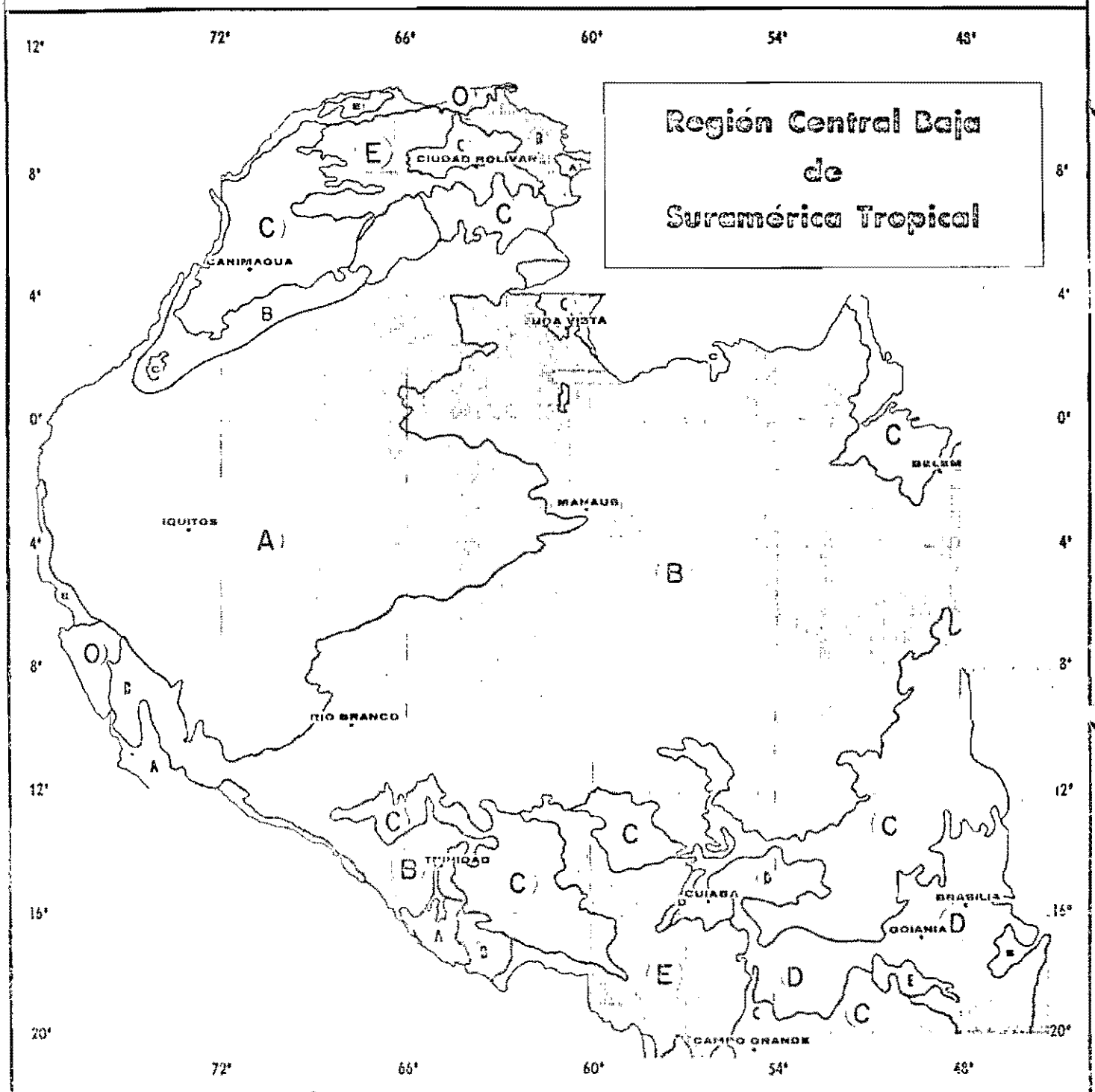
Figura 3.

Diagrama agrupado de clases de vegetación a través de Sudamerica tropical en términos de evapotranspiración potencial total en época de lluvia y temperatura media mensual en época de lluvia (Cochrane y Jones 1980).

A Bosque deciduo
B Sabana bien drenada
D Bosque estacional semi-siempreverde
E Bosque húmedo tropical
F Bosque subtropical semi-siempreverde
G Bosque subtropical siempreverde.

Nota: Las líneas completas muestran la equiprobabilidad de asignación. Las líneas trazas son elipsoides de 95% de confianza para las clases de vegetación.

MAPA DE SUBREGIONES CLIMATICAS



A = ETPEH >1.300mm, > 9 MESES HUMEDOS, TMEH>23.5°C

B = ETPEH 1061 – 1300mm, 8-9 MESES HUMEDOS, TMEH>23,5°C

C = ETPEH900-1060mm, 6-8 MESES HUMEDOS, TMEH>23,5°C

D = ETPEH 900-1060mm, 6-8 MESES HUMEDOS, TMEH < 23,5°C

E = ETPEH < 900mm, <7 MESES HUMEDOS, TMEH > 23,5°C

NOTA
ETPEH = EVAPOTRANSPIRACION POTENCIAL ACUMULADA EN LA EPOCA HUMEDA
TMEH = TEMPERATURAS MEDIAS MENSUALES EN LA EPOCA HUMEDA

Figura 4. Mapa computarizado de subregiones climáticas

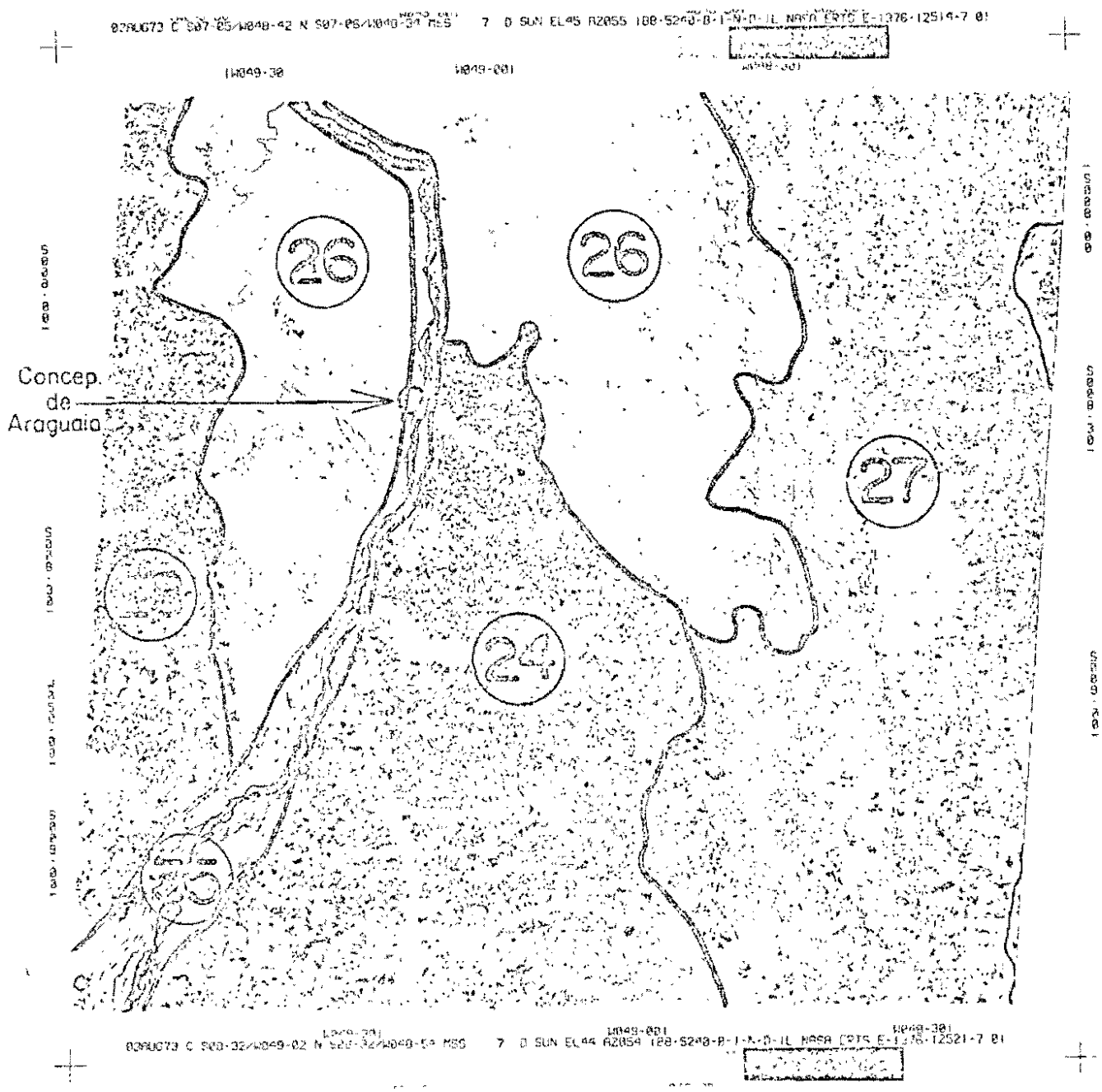


Figura 5.
Delineación de sistemas de tierras sobre
imágenes de satélite

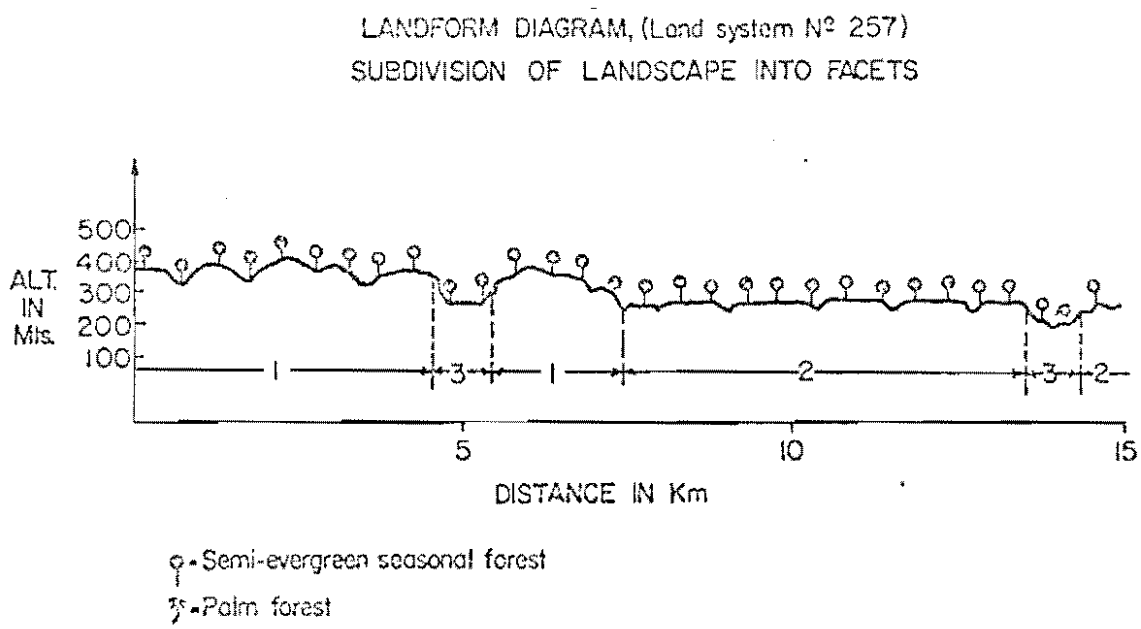


Figura 6. Diagrama de la forma de la tierra mostrando la Subdivisión del paisaje en facetas.

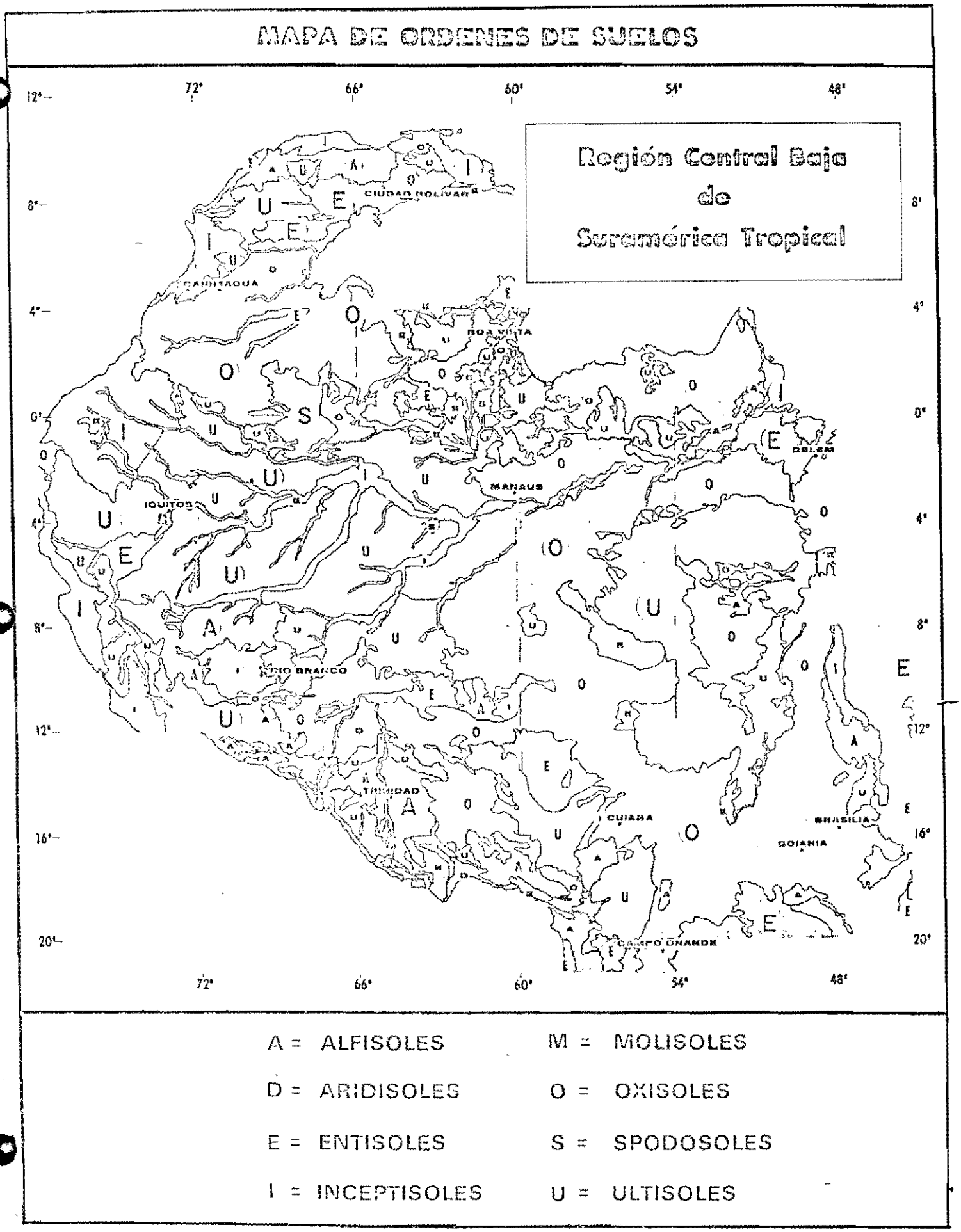
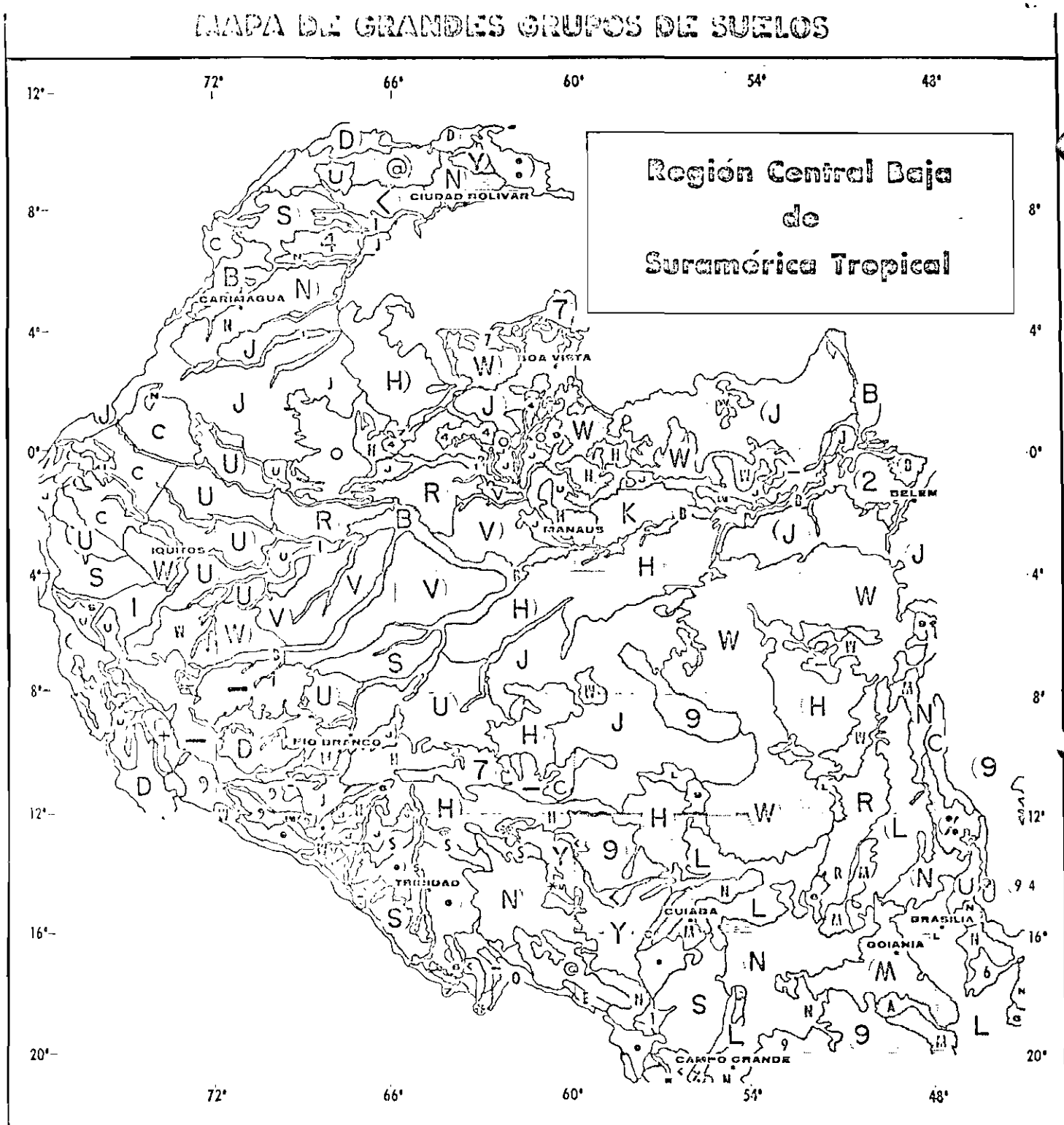


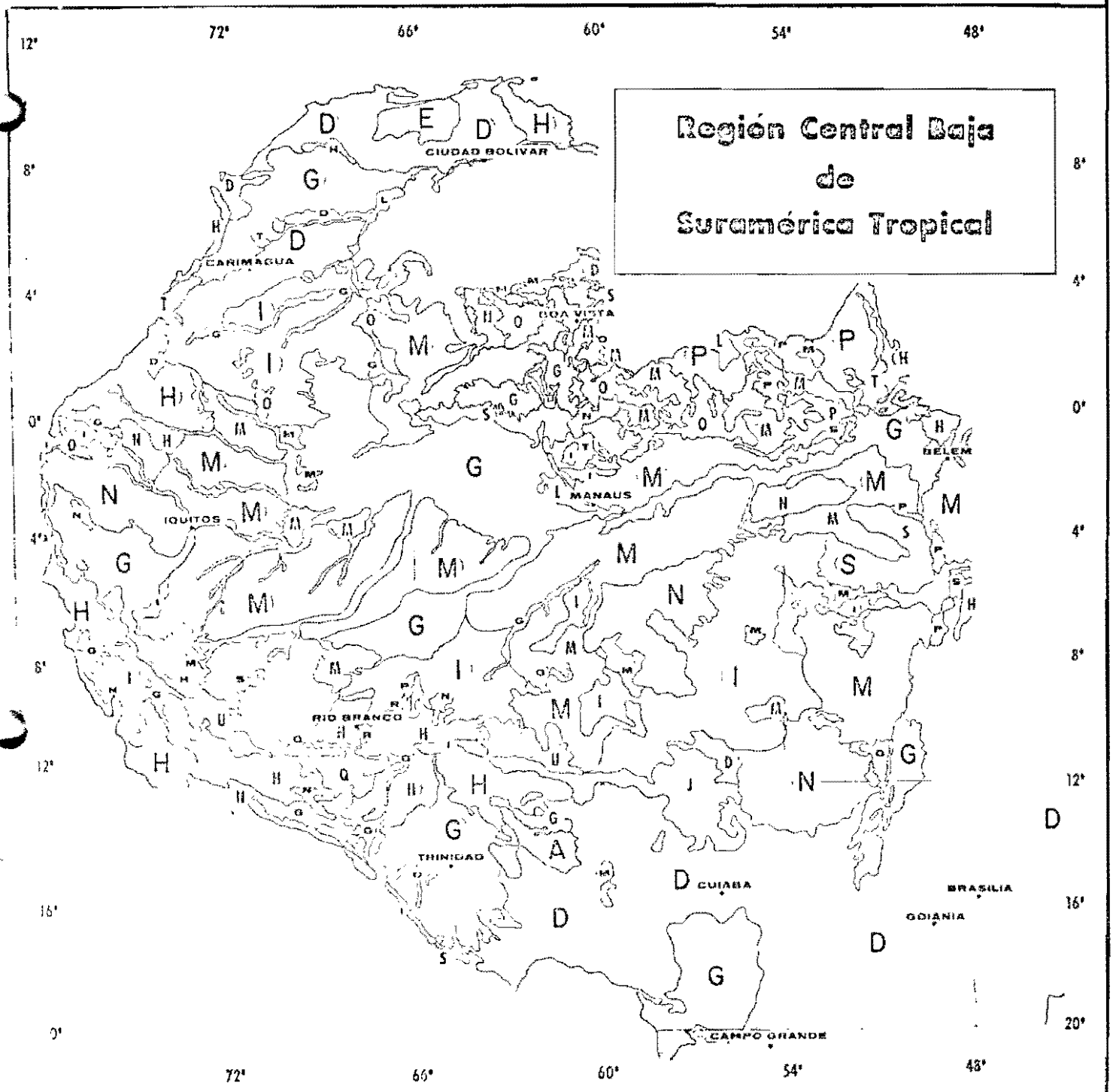
Figura 7. Mapa computarizado de Ordenes de Suelos



X	RHODUSTULTS	4	PSAMMAQUENTS	:	SULFAQUEPTS	M	EUTRUSTOX
\	NATRAQUALFS	5	TROPAQUENTS	B	TROPAQUEPTS	N	HAPLUSTOX
.	TROPAQUALFS	6	TROPOFLUVENTS	C	DYSTROPEPTS	O	TROPAQUODS
+	HAPLUDALFS	)	USTIFLUVENTS	D	EUTROPEPTS	P	ALBAQUULTS
$	RHODUDALFS	*	XEROFLUVENTS	-	USTROPEPTS	Q	PALEAQUULTS
–	TROPUDALFS	7	TROPORTHENTS	E	HAPLAQUOLLS	R	PLINTHAQUULTS
@	HAPLUSTALFS	8	USTORTHENTS	F	ARGIUDOLLS	S	TROPAQUULTS
&	NATRUSTALFS	9	QUARTZIPSAMMENTS	;	HAPLUSTOLLS	Y	HAPLUDULTS
¬	PALEUSTALFS	>	TROPOPSAMMENTS	G	PLINTHAQUOX	U	PALEUDULTS
%	RHODUSTALFS	<	USTIPSAMMENTS	H	ACRORTHOX	V	PLINTHUDULTS
(	HAPLOXERALFS	/	HYDRANDEPTS	I	EUTRORTHOX	.	RHODUDULTS
I	CAMBORTHIDS	=	HAPLAQUENTS	J	HAPLORTHOX	W	TROPUDULTS
1	FLUVAQUENTS	A	HUMAQUEPTS	K	UMBRIORTHOX	Y	HAPLUSTULTS
2	HAPLAQUENTS	#	PLINTHAQUEPTS	L	ACRUSTOX	Z	PALEUSTULTS
3	HYDRAQUENTS						

Figura 8. Mapa computarizado de Grandes Grupos de suelos

MAPA DE FERTILIDAD (SISTEMA FCC)



COMBINACIONES MODIFICANTES:

G = contienen "g"	L = hai	P = haki
D = contienen "d"	S = hk	Q = hei
H = h	M = hak	R = hi
I = ha	T = hke	T = hke
J = hae	N = hake	U = k
K = haei	O = hakei	

NOTA:
Modificante g=glev, d=seco, e=baja CIC, a=toxicidad por Al, h=hacido, i=fijación de P, K deficiente en K.

'a 9. Mapa computarizado de Fertilidad de Suelos

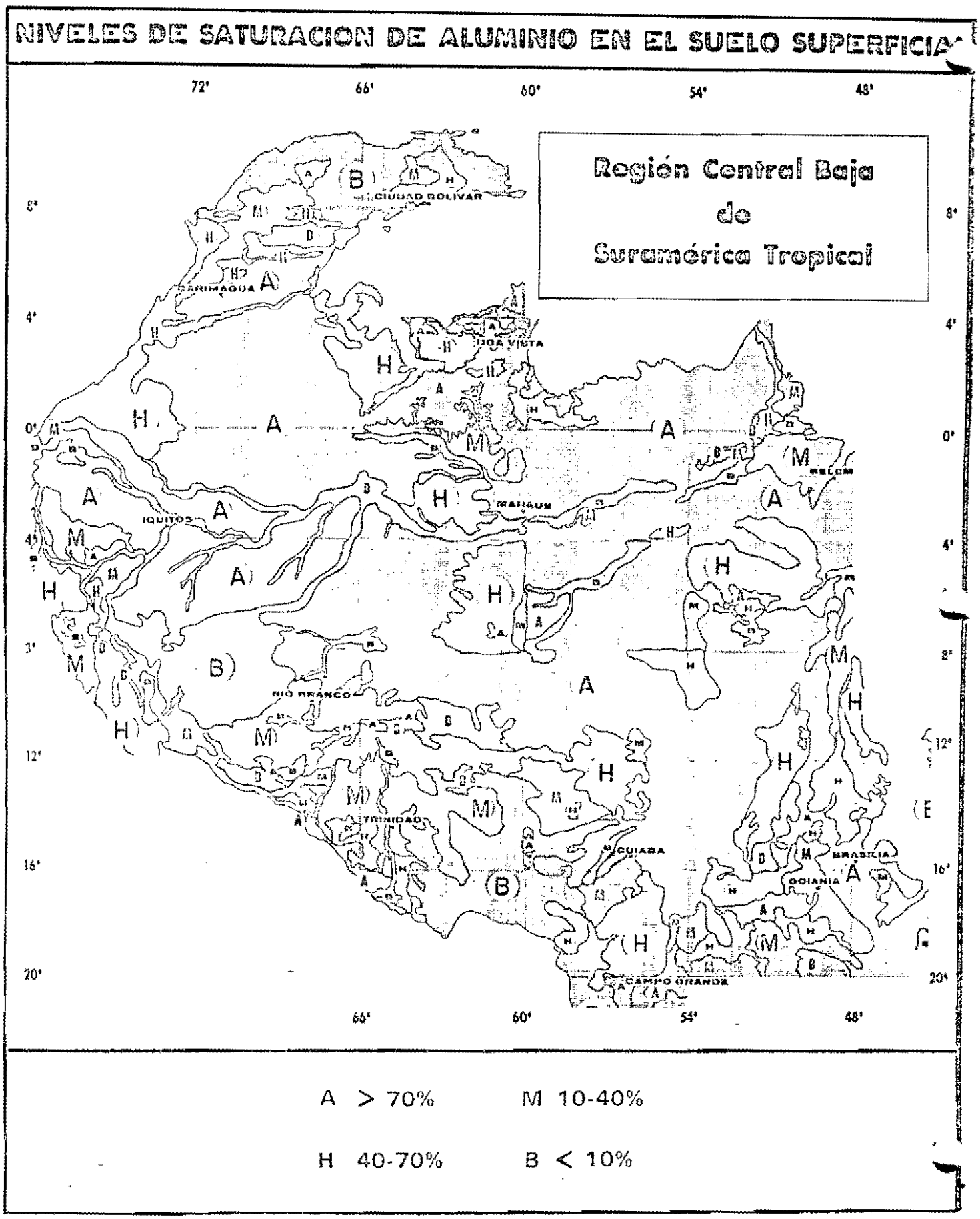


Figura 10. Mapa computarizado del % de Saturación Aluminio —

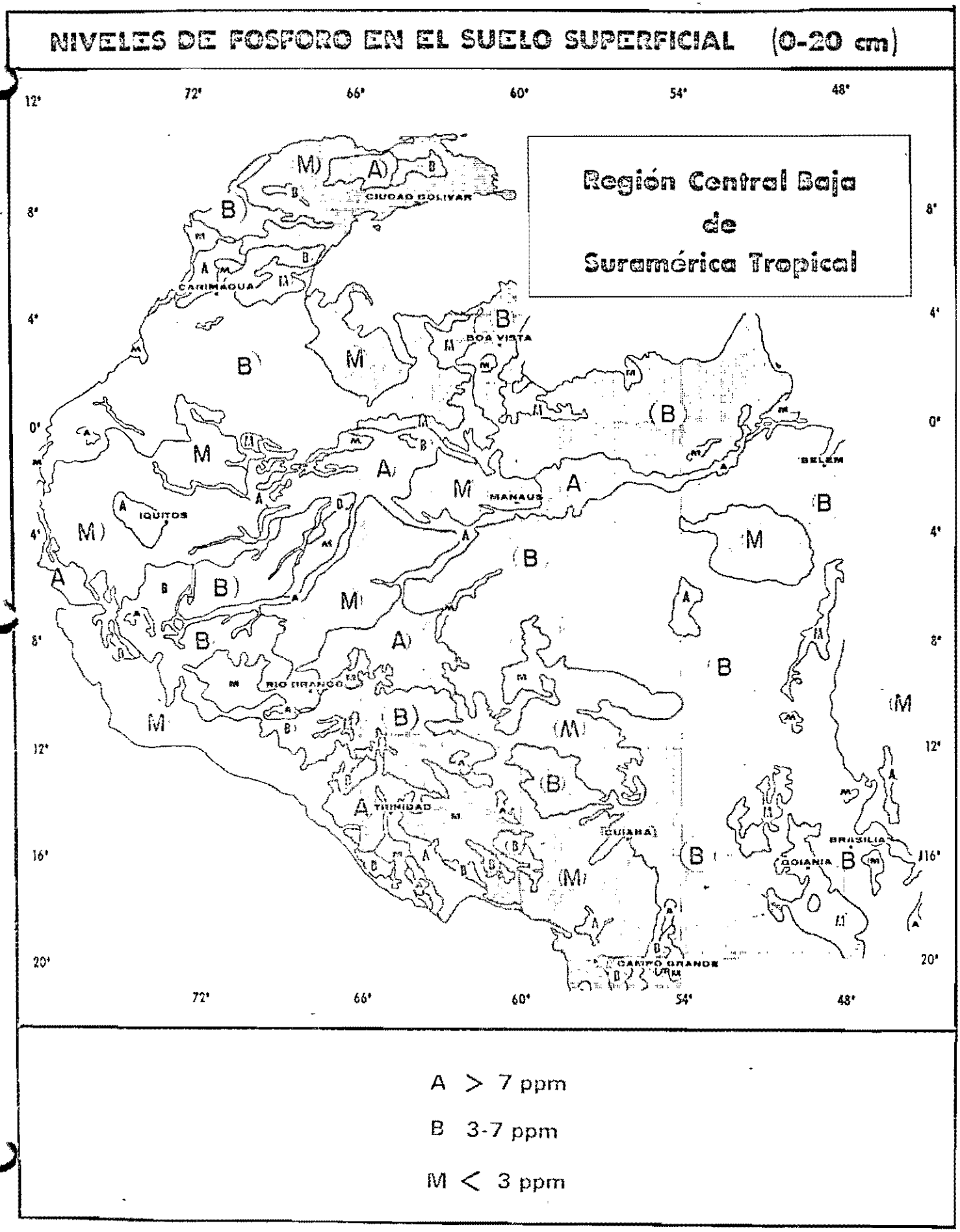


Figura 11. Mapa computarizado de Fósforo en el suelo superficial

A P E N D I C E

UN RESUMEN DE LAS PRINCIPALES LIMITACIONES EDAFICAS DE LAS AGROECOZONAS DEL PROGRAMA DE PASTOS TROPICALES

Cinco agroecozonas han sido seleccionadas para definir y subdividir el área de actuación del Programa de Pastos Tropicales a través de las tierras bajas húmedas de Suramerica Tropical. Estas se muestran en la Figura 1b, la cual es un mapa esquemático basado en printouts del computador de agrupamientos de sistemas de tierras que integran las amplias clases climáticas, topográficas y de vegetación natural definidas en este informe. Es una primera aproximación para poner en perspectivas las diferencias fundamentales de clima y paisaje. Debe notarse que las áreas forestadas muy pobremente drenadas indicadas en el mapa, han sido incluídas dentro de las subdivisiones de bosques de acuerdo con sus regímenes climáticos. La Tabla 1b resume las cinco agroecozonas en términos de sus principales características climáticas, topográficas y de vegetación.

La base para la subdivisión de las tierras bajas de Suramerica Tropical en subregiones climáticas ya ha sido discutida en el texto principal de este informe. La estrecha relación entre las cifras de evapotranspiración potencial de la época húmeda y la vegetación natural que crece sobre los suelos bien drenados, indican que las características gruesas de la vegetación natural son una función de la cantidad de energía que las plantas pueden usar de acuerdo a los patrones del balance hídrico anual. Este hallazgo ha sido usado como un amplio primer criterio para subdividir la región en agroecozonas para producción de pasturas perennes. El segundo criterio es el drenaje del suelo. En las tierras pobremente drenadas la habilidad de las plantas para resistir el anegamiento es de importancia

primaria. Consecuentemente las sabanas mal drenadas, incluyendo el pintorescamente descrito "pantanal" de Brasil, las cuales se encuentran a través de las subregiones B hasta E definidas en el texto, han sido agrupadas juntas como una "agroecozona" para producción de pasturas, ya que ellas son tierras afectadas por un problema común como son los prolongados periodos de anegamiento anuales.

Debe enfatizarse que la subdivisión de la región en amplias subregiones climáticas sobre la base de la energía que las plantas pueden usar de acuerdo con sus patrones de balance hídrico anual, fue posible solamente por medio de agrupamiento de las clases de vegetación de los suelos bien drenados de los sistemas de tierras. Más aún, es obviamente necesario estudiar las características climáticas en mucha mayor profundidad.

Era axiomático que las condiciones físicas y químicas del suelo dentro de las agroecozonas debían definirse más cuidadosamente si iban a elegirse sitios representativos para control de accesiones forrajeras primisorias de alto rendimiento, y a desarrollarse criterios razonables para selección y control a campo de germoplasma. La computarización del estudio del recurso tierra facilitó un análisis profundo de las limitaciones físicas y químicas del suelo dentro de las agroecozonas. El resultado de este trabajo, referido a los suelos que se encuentran en situaciones bien drenadas, no demasiado empinados (pendientes menores que 30%) dentro de las agroecozonas predominantemente bien drenadas, ha sido resumido en la Tabla 2b, secciones a hasta l. Los muchos factores relevantes a condiciones físicas y químicas resumidas en los formatos de computarización para las facetas de terreno de los sistemas de tierras y que fueron descritos en detalle por Cochrane et al (1979), fueron examinados separadamente dentro de las subdivisiones de Grandes Grupos de suelos de las clases topográficas para cada agroecozona. En la Tabla 2b, Secciones c, f, i y l, las clases

topográficas 0-8% y 8-30% han sido agrupadas para proveer un resumen de las principales limitaciones del suelo. Debe notarse que la descripción de suelo en términos de Grandes Grupos claramente ayuda con la evaluación de las condiciones del suelo, pero no es suficiente para describir limitaciones edáficas específicas que permiten juzgar su importancia relativa en perspectiva geográfica para la determinación de cualidades deseables de germoplasma.

Sabanas Iso-hipertérmicas:

De la Tabla 2b, Secciones a, b y c, puede verse que la limitación física predominante del suelo a través de esta agroecozona es la baja capacidad de retención de humedad. Esto es particularmente evidente en los Grandes Grupos de Haplustox, Acrustox y Haplorthox dentro del orden Oxisoles, y los Quartzipsamments y Ustipsamments de los Entisoles; los suelos con baja capacidad de retención de humedad dentro de estos Grandes Grupos totalizan más del 60% de los suelos encontrados en la agroecozona como un todo. En vista de la tendencia de los patrones de precipitación a ser algo erráticos en la ecozona, indicaría una necesidad de plantas capaces de soportar stress por sequía más allá del indicado por la duración de la longitud e intensidad de la estación seca.

Son de importancia primaria las deficiencias minerales del suelo, principalmente P, K y Ca, debería buscarse con avidez plantas forrajeras capaces de producir satisfactoriamente en suelos con bajos niveles de estos elementos. La habilidad de las plantas para tolerar altos niveles de Al y bajos de Mg es de importancia solamente sobre 30% del área. Más aún, los % de saturación de Al en el subsuelo no tienden a ser tan altos como los del horizonte superficial del suelo. La fijación de fósforo no aparenta ser un problema en más del 30% de los suelos. Resumiendo, la extensión

geográfica de los suelos con toxicidad potencial de los suelos y problemas de fijación de fósforo, no es tan grande como pudiese ser inferida de mapas de suelo generalizados, de escala pequeña.

Sabanas Isotérmicas:

La Tabla 2b Secciones d, e y f indican que al igual que las sabanas Isohipertérmicas, la baja capacidad de retención de humedad es un problema serio. El 70% de los suelos, y casi exclusivamente Oxisoles, tienen baja capacidad de retención de humedad. Este problema está demostrado por el exagerado efecto que los "veranicos" (períodos de ocurrencia errática con poca precipitación durante la estación húmeda en Brasil central), tienen sobre el crecimiento de cultivos y producción de pastos. Las plantas forrajeras para esta ecozona deben adaptarse no solamente para sobrevivir una prolongada estación seca de 4 a 6 meses, sino también resistir períodos menores de stress por sequía durante la estación húmeda.

En contraste con las sabanas Isohipertérmicas, aquí son de importancia primaria ambos problemas de deficiencias y toxicidades del suelo. Se seleccionarían plantas forrajeras que dieran resultados satisfactorios en suelos con altos niveles del % de saturación de Al y bajos niveles de P, K y Ca. La fijación de fósforo también parecería ser un problema potencial y difundido, así que habría que enfatizar la selección de germoplasma adaptada a muy baja disponibilidad de fósforo. Tal vez el único aspecto bueno de los suelos es que los niveles del % de saturación de Al tienden a disminuir con la profundidad, ésto es muy importante en lo que se relaciona con la penetración de raíces. También significa que la corrección de toxicidad por Al a través de aplicaciones mínimas de cal como las calculadas por la nueva fórmula del CIAT de encalado, proveerían una alternativa práctica de bajo costo para superar un serio problema a traves de

esta agroecozona.

Bosque Estacional Semisiempre verde bajo Vegetación Nativa (Tabla 2b, Secciones g, h, i).

Los datos analíticos de muestras de suelo tomadas principalmente de perfiles que describen suelos bajo vegetación nativa, sugerirían que las deficiencias potenciales de P, K y Ca serían problemas difundidos y que los niveles de Al son a menudo altos. Sin embargo, como lo ilustró el trabajo de Falessi mencionado en este informe, los suelos bajo vegetación de bosque pueden ser cambiados completamente si la vegetación se quema y la ceniza resultante se retorna al suelo. En otras palabras, la fertilidad potencial de los suelos en esta ecozona bajo cobertura vegetal es una función no solamente de la fertilidad per sé, sino también de la fertilidad "almacenada" en la biomasa. Las cifras analíticas pueden solamente dar una idea de la fertilidad si la vegetación es completamente removida por buldozers en las tierras en limpieza. Después de una quema adecuada de la vegetación, la fertilidad de estos suelos puede ser restaurada. Si es seguida por un cuidadoso manejo usando pasturas de raíces profundas, esta fertilidad puede ser mantenida por muchos años.

El fenómeno de "fertilidad" que es almacenada en la biomasa indicaría que, previendo que se usen adecuadas técnicas de manejo, hay una menor necesidad de investigar sobre pastos adaptados a condiciones de fertilidad muy bajas para los suelos de la agroecozona del bosque semisiempreverde estacional. Por otra parte, claramente hay mucho que necesita ser comprendido acerca de manejo de pasturas en esta agroecozona.

Bosque Tropical Lluvioso bajo Vegetación Nativa. (Tabla 2b, Secciones j, k, l).

Debido a la inherente dificultad de quemar bosques en zonas muy húmedas, las cifras analíticas que indican las limitaciones químicas para esta agroecozona probablemente servirán como una guía más útil para seleccionar criterios para pastos forrajeros mejor adaptados a condiciones químicas del suelo, que en el caso de los bosques estacionales semisiempreverdes. Los niveles del % de saturación de Al son a menudo altos, y los niveles de K casi universalmente bajos. Los niveles de P, Ca y Mg aparecen, en promedio, ser más altos que aquellos de las otras ecozonas. Esto es en parte debido a la más alta proporción de suelos inherentemente más fértiles, especialmente Inceptisols, Alfisols y Entisols. Estos últimos suelos totalizan el 25% de los suelos bien drenados de la región, su presencia indicaría que el desarrollo del germoplasma forrajero específicamente adaptado a suelos ácidos e infértiles para esta ecozona, podría no ser una alta prioridad.

DISCUSION

Los anteriores resúmenes de las principales limitaciones edáficas en las agroecozonas del Programa de Pastos Tropicales, toma en cuenta solamente lo que se conoce. Desafortunadamente, los trabajos de fertilidad y relevamiento de suelos raramente incluyen ensayos de S, Mn o elementos menores, debido a problemas inherentes analíticos o interpretativos. Por lo tanto, está la posibilidad de que para algunas regiones pueda ser deseable germoplasma tolerante a bajos niveles de S o niveles tóxicos de Mn.

El cuadro que ha emergido en relación a las principales limitaciones edáficas y por inferencia las prioridades para cualidades genéticas deseables en Pasturas Tropicales para los"suelos ácidos" del interior de América

Tropical, es considerablemente diferente de lo que fue previamente inferido a partir de mapas generalizados en pequeña escala. El hallazgo de que la fijación de P no es un problema potencial sobre la mayor parte del área, pero que está principalmente confinada a la agroecozona isotérmica, daría un nuevo énfasis al trabajo de resolver problemas de P. Es claro que el uso estratégico de roca fosfórica proveería una solución a bajo costo para corregir deficiencias de P para la producción de pasturas sobre gran parte de la región. Sin embargo, deberían seleccionarse forrajeras para tolerancia a suelos con bajos niveles de P. Esto es particularmente importante para las plantas de la sabana Isotérmica.

El segundo hallazgo principal es que la toxicidad potencial de Al no es tan ampliamente difundida como se pensó previamente; sin embargo, es importante para la agroecozona de sabana Isotérmica. Afortunadamente, en esta ecozona los niveles del % de saturación de Al de muchos de los suelos disminuye con la profundidad, y así el uso estratégico de aplicaciones mínimas de cal según la nueva ecuación de encalado de CIAT, proveerá una solución a bajo costo a muchos problemas de toxicidad. No obstante, las plantas tolerantes a altos niveles de saturación de Al en el suelo es obviamente una cualidad genética deseable, aunque esta tolerancia no necesite ser tan grande como previamente se pensó. El germoplasma forrajero no necesita ser universalmente seleccionado para tolerancia a niveles muy altos de Al en solución del suelo, como ha sido una práctica en el pasado.

El tercer hallazgo principal es que los niveles de Ca y K son bajos sobre una muy alta proporción de suelos. Los niveles bajos de Mg son también comúnes. Esto sugeriría que una cualidad deseable del germoplasma forrajero sería la tolerancia a bajos niveles de K, Ca y Mg. (Es claro que los problemas de deficiencia de Ca y Mg pueden superarse por medio de aplicaciones modestas de dolomita calcárea, sin embargo, el costo de ésto

es función de la distancia desde los depósitos adecuados y comercialmente explotados.

Las observaciones relacionadas con la fertilidad "almacenada" en la biomasa juega una interpretación completamente diferente sobre la importancia relativa de las limitaciones edáficas químicas para la agroecozona del bosque estacional semisiempreverde. Es evidente que por la quema de la cubierta forestal muchos de estos suelos pasarán por cambios importantes en sus propiedades nutricionales. Más aún, la fertilidad restaurada puede ser mantenida por muchos años bajo adecuado manejo de pasturas. Esto involucraría un insumo mínimo de fertilizantes químicos. Como consecuencia, la búsqueda de germoplasma adaptada a suelos con condiciones de fertilidad extremadamente pobres, no necesariamente necesita ser considerada una prioridad para las regiones de bosques estacionales semisiempreverdes. En forma similar, la observación que el ecosistema del bosque lluvioso tropical contiene una alta proporción de suelos inherentemente fértiles, podría sugerir que la búsqueda de germoplasma forrajero especialmente adaptado a condiciones de muy baja fertilidad del suelo, no sería una prioridad cumbre para la agroecozona del bosque lluvioso tropical.

Puede aún hacerse una observación más general en relación a las limitaciones químicas del suelo sobre el área de actuación del Programa de Pastos Tropicales. Aunque los sitios de control de germoplasma pueden ahora ser bien localizados para proveer limitaciones edáficas conocidas, estos ensayos deberían ser controlados para la gama completa de problemas nutricionales potenciales. Un cuidadoso control de problemas nutricionales usando técnicas foliares analíticas sobre sitios de control estratégicamente ubicados, puede conducir a una riqueza de conocimientos en relación a problemas potenciales de suelos sobre el área de actuación en general. Si solamente se identificase un solo problema de elemento traza,

ésto podría conducir a un significativo beneficio socio-económico.

Finalmente, la observación de que la capacidad de retención de humedad es una limitante mayor en muchos de los suelos de sabana, enfatizaría la necesidad básica de mantener perspectiva en el control de accesiones forrajeras adaptadas a los suelos "ácidos". No hay duda de que el clíma, especialmente en el sentido de la energía disponible para el crecimiento de la planta de acuerdo a los regímenes de humedad del suelo, es el factor primario que determina la adaptabilidad del germoplasma a una agroecozona. Es por lo tanto muy necesario que el germoplasma sea controlado en sitios de suelos adecuados y representativos, física y químicamente hablando, dentro de las principales agroecozonas y sobre un período de varios años para tener en cuenta las variaciones en clíma y condiciones de humedad.

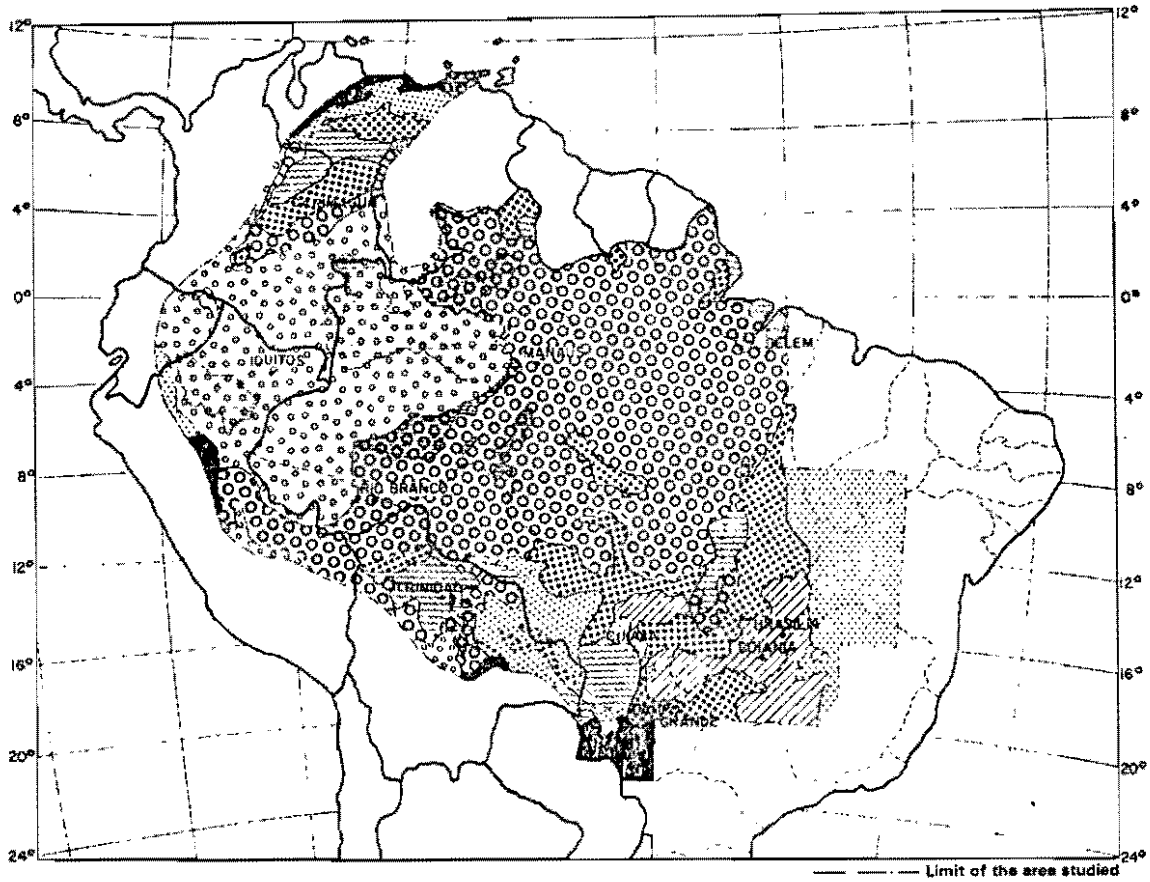
Tabla 1b. ZONAS AGRO-ECOLOGICAS PARA EL PROGRAMA DE PASTOS TROPICALES

Suelos bajos de la región central de Sudamerica Tropical. Areas ha x 10^6

Z O N A	TOPOGRAFIA				Total	%
	Plano pobremente drenado	0-8%	8-30%	>30%		
SABANAS POBREMENTE DRENADAS	49				49	7
SABANAS ISO-HIPERTERMICAS TWPE* 901-1060 mm, 6-8 meses estación húmeda, WSMT** > 23.5°C	17	72	12	10	111	16
SABANAS ISOTERMICAS TWPE 901-1060 mm, 6-8 meses estación húmeda, WSMT < 23.5°C	< 1	25	9	7	42	6
BOSQUE ESTACIONAL SEMI-SIEMPRE VERDE TWPE 1061-1300 mm, 8-9 meses estación húmeda, WSMT > 23.5°C	53	145	94	4	296	41
BOSQUE LLUVIOSO TROPICAL TWPE > 1300 mm, > 9 meses estación húmeda, WSMT > 23.5°C	69	88	55	5	217	30
Total	189	330	170	26	715	
% del area total	26%	46%	24%	4%		

* TWPE = Evapotranspiración potencial total de la época húmeda.

** WSMT = Temperatura mensual media de la época húmeda.



WELL DRAINED ISOHYPERTHERMIC SAVANNAS.
TWPE* 901 - 1060 mm, 6-8 months wet season, WSMT** > 23,5°C

WELL DRAINED ISOTHERMIC SAVANNAS.
TWPE 901 - 1060 mm, 6-8 months wet season, WSMT < 23,5°C

POORLY DRAINED SAVANNAS.
(Found in lowlands of Tropical South America, in varying climatic circumstances)

SEMI—EVERGREEN SEASONAL FOREST
TWPE 1061 - 1300 mm, 8-9 months wet season, WSMT > 23,5°C

TROPICAL RAIN FOREST
TWPE > 1.300 mm, > 9 months wet season, WSMT > 23.5°C

POORLY DRAINED FOREST REGIONS

DECIDUOS FORESTS, CAATINGA,***etc.

OTHERS***

* Total wet season potential evapotranspiration
** Wet season mean temperatures.
*** Not included within Target Area of Tropical Pastures Program.

Figure 1b. **AGRO—ECOLOGICAL ZONES OF TROPICAL PASTURES PROGRAM**
(Sketch map based on computer printouts of the land resource evaluation studies)

Table 2b. A summary of the aerial extent of major soil constraints of importance to pasture plant germplasm selection for the well drained soils of the central lowlands of tropical South Americ.

a) ISO-HYPERTHERMIC SAVANNAS, Topographic class 0-8%

Soils			Chemical Constraints*. Areas: ha x 10^6							Physical Constraints**	
			Toxicity		Deficiencies						
Order	Great Group	Area ha x 10^6	Al	Al ss	K	Ca	Mg	P	P-fix.	MH	S
OXISOL (66.5% of class)	Haplustox	19.24	7.53	7.72	14.07	11.93	8.04	13.40	9.89	9.48	4.80
	Acrustox	17.57	14.64	6.44	17.57	17.57	5.31	17.38	9.83	16.50	
	Haplorthox	6.02	1.94	1.68	5.65	3.45	4.99	4.28	3.46	5.67	
	Eutrustox	5.03	0.76	1.01	0.76		0.46	0.30	0.30	1.01	
	Subtotals	47.9	24.87	16.85	38.05	32.95	18.8	35.36	23.48	32.66	4.80
	% of Oxisols with const.		51.9%	35.2%	79.4%	68.8%	39.2%	73.8%	49.0%	68.2%	10.0%
ENTISOL (23.1% of class)	Quartzipsamments	12.71	0.28	4.60	12.71	12.71	11.23	12.63		12.71	12.71
	Tropofluvents	1.88									
	Ustipsamments	1.49			1.49	1.49	1.49			1.49	1.49
	Ustifluvents	0.51									
	Subtotals	16.6		4.60	14.20	14.20	12.72	12.63		14.2	14.2
	% of Entisols with const.			27.7%	88.8%	85.5%	76.6%	76.1%		85.5%	85.5%
ALFISOL (6.7% of class)	Rhodustalfs	2.44									
	Haplustalfs	2.43			0.17	0.17	0.17	0.17			
	Subtotals	4.8			0.17	0.17	0.17	0.17			
	% of Alfisols with const.				3.5%	3.5%	3.5%	3.5%			
ULTISOL (2% of class)	Plinthudults	1.48	1.48		1.48	1.48	1.48	1.48			1.48
	% of Ultisols with const.		100%		100%	100%	100%	100%			100%
INCEPTISOL (< 1% of class)	Dystropepts	0.66			0.66					0.66	0.66
	Eutropepts	0.14									
	Subtotals	0.80			0.66					0.66	0.66
	% of Inceptisols with const.				77.6%					77.6%	77.6%
MOLLISOL (< 1% of class)	Haplustolls	0.32									
	TOTALS	72.00	26.6	21.45	54.6	48.9	33.2	49.6	23.5	47.5	21.14
	% of topographic class		37%	30%	76%	68%	46%	69%	33%	66%	29%
	Order of importance***		2°	2°	1°	1°	2°	1°	2°	1°	2°

b) ISO-HYPERTHERMIC SAVANNAS, Topographic class 8-30%

Soils			Chemical Constraints*. Areas: ha x 10^6							Physical Constraints**	
			Toxicity		Deficiencies						
Order	Great Group	Area ha x 10^6	Al	Al ss	K	Ca	Mg	P	P-fix.	MH	S
OXISOL (78.0% of class)	Haplustox	7.51	2.26	0.48	5.18	4.95	2.48	4.95	2.34	4.58	0.19
	Eutrustox	1.64		0.11	0.11						
	Acrustox	0.05			0.05	0.05		0.05			
	Subtotals	9.2	2.26	0.59	5.34	5.00	2.48	5.0	2.34	4.58	0.19
	% of Oxisols with const.		24.5%	6.4%	58.0%	54.3%	27.0%	54.3%	25.4%	49.8%	2.1%
ENTISOL (11.0% of class)	Troporthent	0.77	0.77	0.77	0.77	0.77	0.77	0.77		0.77	
	Quartzipsamments	0.56			0.56	0.56	0.30	0.26		0.56	0.56
	Subtotals	1.3	0.77	0.77	1.33	1.33	1.07	1.03		1.33	0.56
	% of Entisols with const.		59.2%	59.2%	100%	100%	82.3%	79.2%		100%	43.1%
ALFISOL (7.1% of class)	Paleustalfs	0.84						0.84			
	% of Alfisols with const.							100%			
ULTISOL (3.2% of class)	Haplustults	0.38						0.38			
	% of Ultisols with const.							100%			
INCEPTISOL (<1% of class)	Dystropepts	0.11			0.11			0.05			
	% of Inceptisols with const.				100%			45.5%			
	TOTALS	11.8	3.03	1.36	6.78	6.33	3.55	7.3	2.34	5.91	0.75
	% of topographic class		26%	11.5%	58%	54%	30%	62%	20%	50%	6%
	Order of importance***		2°	3°	1°	1°	2°	1°	3°	1°	1°

c) ISO-HYPERTHERMIC SAVANNAS. Combined topographic classes 0-8 and 8-30%

	Chemical Constraints*. Areas: ha x 10^6							Physical Constraints**	
	Toxicity		Deficiencies						
	Al	Al ss	K	Ca	Mg	P	P-fix.	MH	S
(Combined total area = 83.8 x 10^6 ha)	29.63	22.81	61.38	55.23	36.75	56.9	26.84	53.41	21.89
% of combined area with constraint.....	35%	27%	73%	66%	44%	68%	31%	64%	26%
Order of importance***	2°	2°	1°	1°	2°	1°	2°	1°	2°

* Refers to topsoil, except Al ss = % Sat.Al, subsoil.
Al = % Sat.Al > 70%; K = < 0.15 meq/100gm; Ca = < 0.4 meq/100gm; Mg = < 0.2 meq/100 gm; P = < 3 ppm;
P-fix = high P fixation. Refer: Cochrane et al (1979) for details.

** MH = Low moisture holding capacity, < 75 mm/100 cm; S = sandy topsoils.

*** 1° = > 50% of area, 2° = 25-50% of area, 3° = < 25% of area.

Table 2 .
(Cont.) d) ISO-THERMIC SAVANNAS. Topographic class 0-8%

Soils			Chemical Constraints*. Areas: ha x 10^6							Physical Constraints**
			Toxicity		Deficiencies					
Order	Great Group	Area ha x 10^6	Al	Al ss	K	Ca	Mg	P	P-fix.	MH
OXISOL (95.6% of class)	Acrustox	9.75	9.75	3.03	9.75	9.75	2.86	9.75	8.37	6.52
	Eutrustox	7.62	3.07	0.38	3.07	1.38		2.69	4.07	3.29
	Haplustox	6.74	3.73	1.64	6.74	6.74	4.02	6.74	1.91	6.74
	Subtotals	24.1	16.55	5.05	19.56	17.87	6.88	19.18	14.35	16.55
	% of Oxisols with const.		68.6%	21.0%	81.1%	74.1%	28.5%	80%	60%	68.6%
ULTISOL (3.5% of class)	Rhodustults	0.87								
ALFISOL (0.9% of class)	Rhodustalfs	0.23			0.23					
	% of Alfisols wih const.				100%					
ENTISOL (< 0.1 of class)	Ustifluvents	0.02								
	TOTALS	25.2	16.55	5.05	19.79	17.87	6.88	19.18	14.35	16.55
	% of topographic class		66%	20%	79%	71%	29%	76%	57%	66%
	Order of importance		1°	3°	1°	1°	2°	1°	1°	1°

e) ISO-THERMIC SAVANNAS. Topographic class 8-30%

Soils			Chemical Constraints*. Areas: ha x 10^6							Physical Constraints**
			Toxicity		Deficiencies					
Order	Great Group	Area ha x 10^6	Al	Al ss	K	Ca	Mg	P	P-fix.	MH
OXISOL (96.9% of class)	Haplustox	5.57	1.98	1.05	5.57	3.39	1.61	4.57		5.57
	Acrustox	3.01	3.01			3.01		3.01	2.01	2.01
	Eutrustox	0.35	0.13	0.13	3.01					0.13
	Subtotals	8.9	5.12	1.18	8.58	6.40	1.61	7.58	2.01	7.71
	% of Oxisols with const.		57.3%	13.3%	96.1%	71.7%	18.0%	84.9%	22.5%	86.3%
ALFISOL (3.1% of class)	Rhodustalf	0.29								
	% of Alfisols with const.									
	TOTALS	9.2	5.12	1.18	8.58	6.40	1.61	7.58	2.01	7.71
	% of topographic class		56%	13%	93%	69%	17%	82%	22%	84%
	Order of importance		1°	3°	1°	1°	3°	1°	3°	1°

f) ISO-THERMIC SAVANNAS. Combined topographic classes 0-8 and 8-30%

	Chemical Constraints*. Areas: ha x 10^6							Physical Constraints**
	Toxicity		Deficiencies					
	Al	Al ss	K	Ca	Mg	P	P-fix.	MH
(Combined total area = 34.4 x 10^6 ha)	21.67	6.23	28.37	24.27	8.49	26.76	16.36	24.26
% of area with constraint	63%	18%	82%	71%	25%	78%	48%	71%
Order of importance	1	3°	1°	1°	3°	1°	2°	1°

Table 2b (Cont.) g) SEMI-EVERGREEN SEASONAL FOREST UNDER NATIVE VEGETATION. Topographic class 0-8%

Soils			Chemical Constraints*. Areas: ha x 10^6							Physical Constraints**
			Toxicity		Deficiencies					
Order	Great Group	Area ha x 10^6	Al	Al ss	K	Ca	Mg	P	P-fix.	MH
OXISOL (48.5% of class)	Acrorthox	38.80	22.07	28.31	30.06	30.06	4.04	28.52	7.99	22.07
	Haplorthox	26.62	18.42	21.81	17.42	5.61	4.78	16.46	4.36	23.49
	Umbriorthox	4.31	4.31	4.31	4.31	4.31	4.31			4.31
	Eutrorthox	0.35						0.35		0.35
	Subtotals	70.1	44.8	54.43	51.79	39.98	13.13	45.33	12.35	50.22
	% of Oxisols with const.		63.9%	77.6%	73.9%	57.0%	18.7%	64.7%	17.6%	71.6%
ULTISOL (40.5% of class)	Tropudults	41.75	26.09	41.68	30.10	30.73	11.67	34.77	9.78	
	Paleudults	15.47	14.11	14.11	6.00	15.47	14.11	4.07	0.22	
	Haplustults	0.89		0.69	0.89	0.07		0.69		0.21
	Plinthudults	0.35	0.35	0.35	0.07		0.07	0.07		
	Subtotals	58.5	40.55	56.83	37.06	46.26	25.85	39.6	10.0	0.21
	% of Ultisols with const.		69.3%	97.1%	63.4%	79.1%	44.2%	67.7%	17.1%	0.4%
ENTISOL (6.6% of class)	Quartzipsamments	4.79	4.35	4.58	0.55	4.52	4.33	4.53		4.79
	Tropofluvents	3.13			1.30	0.37	0.37	0.25		0.63
	Ustipsamments	1.21	0.71	0.71	0.21	0.18	0.18	0.71		1.11
	Ustifluvents	0.26								
	Tropopsamments	0.16			0.06					0.14
	Subtotals	9.6	5.04	5.29	2.12	5.07	4.88	5.49		6.67
	% of Entisols with const.		52.5%	55.1%	22.1%	52.8%	50.8%	57.2%		69.5
ALFISOL (3.5% of class)	Hapludalfs	4.55			2.12			0.89		
	Haplustalfs	0.47			0.47			0.47		
	Subtotals	5.0			2.59			1.36		
	% Alfisols with const.				51.8%			27.2%		
INCEPTISOL (0.9% of class)	Eutropepts	0.75								
	Ustropepts	0.37								
	Dystropepts	0.24	0.24	0.24	0.24	0.24				
	Subtotals	1.36	0.24	0.24	0.24	0.24				
	% of Inceptisols with const.		17.6%	17.6%	17.6%	17.6%				
MOLLISOL (<0.1% of class)	Argiudolls	0.02						0.02		
	% of Mollisols with const.							100%		
	TOTALS	144.6	90.7	116.8	93.8	91.6	43.9	91.8	22.4	57.1
	% of topographic class		62.7%	80.8%	64.9%	63.3%	30.3%	63.5%	15.5%	39.5%
	Order of importance		1°	1°	1°	1°	2°	1°	3°	2°

h) SEMI-EVERGREEN SEASONAL FOREST UNDER NATIVE VEGETATION. Topographic class 8-30%

Soils			Chemical Constraints*. Areas: ha x 10^6							Physical Constraints**
			Toxicity		Deficiencies					
Order	Great Group	Area ha x 10^6	Al	Al ss	K	Ca	Mg	P	P-fix.	MH
OXISOL (56.6% of class)	Haplorthox	38.49	36.32	31.92	28.36	23.15	28.05	30.19	6.18	36.65
	Acrorthox	14.39	12.85		12.85	3.17	2.59	12.27		3.17
	Haplustox	0.07		0.07				0.07	0.07	
	Subtotals	53.0	49.17	31.99	41.21	26.32	30.64	42.53	6.25	39.82
	% of Oxisols with const.		92.8%	60.4%	77.8%	49.7%	57.8%	80.3%	11.8%	75.1%
ULTISOL (36.5% of class)	Tropudults	27.08	3.05	15.63	12.87	12.53	2.77	12.23	0.91	
	Rhodudults	4.43								
	Paleudults	2.54		2.44						
	Haplustults	0.14			0.04			0.10		0.01
	Subtotals	34.2	3.05	18.07	12.91	12.53	2.77	12.33	0.91	0.01
	% of Ultisols with const.		8.9%	52.9%	37.9%	36.7%	8.10%	36.01%	2.7%	0.03%
ENTISOL (4.1% of class)	Troporthent	3.82			0.34	0.34	0.34	3.82		3.82
	Quartzipsamments	0.02			0.02		0.02	0.02		0.02
	Subtotals	3.8			0.36	0.34	0.36	3.84		3.84
	% of Entisols with const.				9.38%	8.85	9.38%	100%		100%
INCEPTISOL (1.8% of class)	Dystropepts	1.65	1.65	1.65	1.65	1.65	1.65	1.65		1.65
	% of Inceptisols with const.		100%	100%	100%	100%	100%	100%		100%
ALFISOL (1.[illegible] of class)	Hapludalf[illegible]	0.86						0.28		
	Haplustult[illegible]	0.[illegible]6								0.02
	Subtotals	0.[illegible]						0.28		0.02
	% of Alfisols with const.							30.43%		2.17%
	TOTALS	93.6	53.9	51.7	56.1	40.9	35.4	60.6	7.16	45.34
	% of topo[illegible]		57.6	55.2%	60.[illegible]	43.6	37.8%	64.8%	7.6%	48.4%
	Order of importance		1°	1°	1°	2°	2°	1°	3°	2°

i) SEMI-EVERGREEN SEASONAL FOREST UNDER NATIVE VEGETATION. Combined topographic classes 0-8% and 8-30%

	Chemical Constraints*. Areas: ha x 10^6							Physical Constraints**
	Toxicity		Deficiencies					
	Al	Al ss	K	Ca	Mg	P	P-fix.	MH
(Combined total area 238.2 x 10^6 ha)	144.6	168.5	149.9	132.5	79.3	152.4	29.6	102.4
of area with constraint	60.7%	70.7%	62.9%	55.6%	33.3%	64.0%	12.4%	43.0
Order of importance	1°	1°	1°	1°	2°	1°	3°	2°

Table 2b.
(Cont.) j) TROPICAL RAIN FOREST UNDER NATIVE VEGETATION. Topographic class 0-8%

Soils			Chemical Constraints*. Areas: ha x 10^6						
			Toxicity		Deficiencies				
Order	Great Group	Area ha x 10^6	Al	Al ss	K	Ca	Mg	P	P-fix.
ULTISOL (66.5% of class)	Paleudult	26.05	26.05	26.05	26.05	22.56	25.16	8.42	
	Plinthudult	21.47	21.47	21.47	21.47			6.87	
	Tropudult	10.83	10.21	10.21	10.27	1.79	1.80	8.42	
	Subtotals	58.4	57.73	57.73	57.79	24.35	26.96	23.71	
	% of Ultisols with const.		99.9%	98.9%	99.0%	41.3%	46.2%	40.6%	
INCEPTISOL (14.3% of class)	Dystropepts	6.72	6.72	6.72	0.92			6.11	
	Eutropepts	4.26			4.26				
	Dystrandepts	1.58	0.45	0.45	1.39	0.61	0.45	0.94	1.13
	Subtotals	12.6	7.17	7.17	6.57	0.61	0.45	0.94	1.13
	% of Inceptisols with const.		57.1%	51.1%	52.3%	4.9	3.6%	7.5%	9.0%
ALFISOL (10.7% of class)	Hapludalft	9.41			9.41			9.41	
	% of Alfisols with const.				100%			100%	
OXISOL (4.3% of class)	Acrorthox	2.76	2.76	1.27	2.76	2.76	2.76	1.27	0.45
	Haplorthox	1.01	1.01	1.01	1.01	1.01	1.01		
	Subtotals	3.8	3.77	2.28	3.77	3.77	3.77	1.27	0.45
	% of Oxisol		100%	60.5	100%	100%	100%	33.7%	11.9%
ENTISOL	Tropofluvent	3.63			3.13				
	% of Entisols with const.				86.2%				
	TOTALS	87.7	68.7	67.18	80.7	28.7	31.2	35.3	1.58
	% of Topographic class		78. %	77. %	92 %	33 %	36 %	40 %	2 %
	Order of importance		1°	1°	1°	2°	2°	2°	3°

k) TROPICAL RAIN FOREST UNDER NATIVE VEGETATION. Topographic class 8-30%

Soils			Chemical Constraints*. Areas: ha x 10^6						
			Toxicity		Deficiencies				
Order	Great Group	Area ha x 10^6	Al	Al ss	K	Ca	Mg	P	P-fix.
OXISOL (74.7% of class)	Haplorthox	33.53	31.42	31.42	33.53	13.60	13.20	32.68	11.48
	Acrorthox	7.47			7.47	7.47	7.47		
	Subtotals	41.00	31.42	31.42	41.00	21.07	20.67	32.68	11.48
	% of Oxisols with const.		76.6%	76.6%	100%	51.4%	50.4%	79.7%	28.0%
ULTISOL (6.6% of class)	Paleudults	2.14	2.14	1.88	2.14		1.88		
	Tropudults	1.51	1.51	1.51	1.51		1.51		
	Subtotals	3.65	3.65	3.39	3.65		3.39		
	% of Ultisols with const.		100%	92.9%	100%		92.9%		
INCEPTISOL 13.3% of class)	Dystropepts	7.32	6.40	4.79	7.32		6.40	1.61	1.61
	% of Inceptisols with const.		87.4%	65.4	100%		87.4%	22.0%	22.0%
ALFISOL (5.4% of class)	Hapludalf	2.96		0.23	2.96			2.73	
	% of Alfisols with const.			7.8	100%			92.2%	
	TOTALS	54.9	41.5	39.83	54.9	21.1	30.5	37.0	13.1
	% of topographic class		75%	72%	100%	38%	55%	67%	24%
	Order of importance		1°	1°	1°	2°	2°	1°	3°

l) TROPICAL RAIN FOREST UNDER NATIVE VEGETATION. Combined topographic classes 0-8% and 8-30%

	Chemical Constraints*. Areas: ha x 10^6						
	Toxicity		Deficiencies				
	Al	Al ss	K	Ca	Mg	P	P-fix.
(Combined total area = 143 x 10^6 ha)	110.2	107.0	135.6	49.8	61.7	72.3	14.7
% of area with constraint	77%	15%	95%	35%	43%	51%	10%
Order of importance	1°	1°	1°	2°	2°	2°	3°

Recursos genéticos de plantas forrajeras

1. La Colección de Germoplasma del Programa de Pastos Tropicales del CIAT. Schultze-Kraft, R.

2. El Potencial de Andropogon gayanus Kunth en Sabanas de Oxisoles y Ultisoles de América Tropical. Jones, C.A.

3. Prelanzamiento del Pasto Andropogon gayanus Carimagua 621 para Suelos Acidos e Infértiles del Trópico.

4. Baquiaria decumbens. Una Revisión con Referencia Particular a Australia. Loch, D.S.

5. Centrosema pubescens en Australia. Teitzel, J.K. y Burt, R.L.

6. Una Reseña del Pasto Guinea (Panicum maximum) para los Trópicos Húmedos de Australia. Mccosker, T.H. y Teitzel, J.K.

7. Bibliografía sobre Andropogon gayanus

LA COLECCION DE GERMOPLASMA DEL PROGRAMA DE PASTOS TROPICALES DEL CIAT

Rainer Schultze-Kraft*

La ausencia de materiales semicomerciales o comerciales adaptados a condiciones de suelos ácidos e infértiles (Oxisoles y Ultisoles), los períodos prolongados de sequía y la baja productividad de las especies naturales, características de las regiones de sabana del trópico suramericano, crearon la necesidad de reunir el mayor número posible de plantas forrajeras con potencial de adaptación para estas áreas.

Sin duda, casi siempre hay un segundo motivo involucrado cuando alguien decide recolectar semilla de una planta silvestre o la planta misma: la necesidad de preservar los recursos genéticos ante la acelerada y continua expansión de la frontera agrícola.

El plan para la creación de un Banco de Germoplasma de Especies Forrajeras Tropicales en el CIAT surgió a principios de los años 70.

En este contexto es conveniente diferenciar entre los dos grupos principales de plantas comprendidas por el término "especies forrajeras": gramíneas y leguminosas. En cuanto a las primeras se refiere, debe destacarse el hecho de que casi la totalidad de las especies utilizadas en el trópico son de procedencia exótica, siendo Africa su principal centro de origen. Entre las varias especies que se introdujeron a Sur América en el pasado, en forma accidental o intencional, hay algunas tales como *Brachiaria decumbens*, *Hyparrhenia rufa* y *Melinis minutiflora*, las cuales muestran buena adaptabilidad a las condiciones edáficas y climáticas de las sabanas suramericanas y cuyo uso se está extendiendo continuamente.

La situación fue diferente con las leguminosas, de gran importancia como fuente de nitrógeno para la asociación con gramíneas (a través de la simbiosis con *rhizobium* spp.) y como fuente de proteína para el ganado, principalmente durante la estación seca. El material comercial o semi-comercial disponible, resultó ser inapropiado porque:

- Carecía por completo de adaptación a suelos ácidos (por ejemplo: *Centrosema pubescens*, *Glycine wightii*).
- Bajo las condiciones climáticas del trópico suramericano, la susceptibilidad a enfermedades era alta (por ejemplo, *Stylosanthes guianensis*, *Macroptilium atropurpureum*)
- Se trataba de especies subtropicales con problemas de floración (por ejemplo, *Desmodium intortum*).

Esta falta de adaptabilidad de las variedades comerciales a las condiciones de las sabanas del trópico suramericano se debió básicamente a que tales variedades no fueron seleccionadas en forma exclusiva para las condiciones del trópico suramericano sino para las condiciones edáficas y climáticas de Australia. Además, el material genético del cual fueron seleccionadas las variedades australianas, también provenía de regiones con condiciones edáficas y climáticamente homólogas a las de Australia, en las cuales los investigadores australianos concentraron sus esfuerzos de colección de germoplasma.

La falta de disponibilidad de variedades comerciales de leguminosas con buena adaptación al trópico suramericano parece algo paradójica, si se toma en cuenta que el orígen de la gran mayoría de los géneros más importantes de leguminosas tropicales es la América tropical. Sin embargo, en el pasado estos vastos recursos genéticos de leguminosas potencialmente forrajeras sólo habían sido aprovechados en parte por los investigadores australianos - pero con miras a las necesidades específicamente australianas- y casi en absoluto por instituciones suramericanas con miras a las necesidades específicas del trópico suramericano. Las colecciones hechas por el IRI de Matão/Brasil durante la primera parte de la década de 1960 son la excepción.

La organización y realización de viajes exploratorios de colección, particularmente a zonas de sabanas tropicales y otras regiones de suelos ácidos e infértiles fue el paso siguiente para la formación en CIAT de

un Banco de Germoplasma de especies forrajeras tropicales adaptadas a las condiciones de sabanas del trópico suramericano.

Se decidió dirigir los viajes principalmente a regiones de suelos Oxisoles y Ultisoles, asumiendo que las probabilidades de encontrar allí plantas adaptadas a condiciones de baja fertilidad del suelo eran particularmente altas.

El objetivo principal de estos viajes, durante los cuales se recorrieron largas distancias en un tiempo relativamente corto, fue el de la recolección general de germoplasma de un máximo número de especies y ecotipos de plantas nativas (particularmente leguminosas) con un potencial forrajero conocido o sospechado. Una vez reconocido el potencial de alguna especie con base en la respectiva evaluación agronómica y/o una vez identificada alguna región específica como fuente de germoplasma promisorio, seguiría otro viaje de recolección, esta vez con mayor intensidad en la búsqueda.

Inicialmente se contó con la financiación del International Board for Plant Genetic Resources (IBPGR), y desde 1974 se realizó una serie de viajes de reconocimiento de colección en Colombia y diversas regiones de Brasil, Bolivia, Panamá y Venezuela. Además, se hicieron algunos viajes de recolección en busca de germoplasma específico: *Desmodium* spp. (Tailandia) y *Centrosema* spp. y *Zornia* spp. (Llanos Orientales de Colombia).

Es de resaltar que los viajes fuera de Colombia se planean y ejecutan como misiones conjuntas entre la respectiva institución nacional y CIAT, de tal modo que el germoplasma recolectado es un producto de genuina colaboración internacional. Como el material colectado durante estos esfuerzos colaborativos forma parte del patrimonio de recursos naturales de su país de origen, el CIAT está haciendo esfuerzos para mantener algunas cantidades mínimas de semilla multiplicada a disposición de las respectivas instituciones nacionales.

La colección del Banco de Germoplasma del Programa de Pastos Tropicales no sólo consiste en materiales que se están obteniendo durante los viajes de recolección, sino también en introducciones que se están recibiendo de otras instituciones dentro de las actividades de intercambio de germoplasma.

El Programa de Pastos Tropicales actualmente dispone de una importante colección de germoplasma de especies forrajeras tropicales (casi 6000 accesiones). Su importancia radica principalmente en el alto grado de especialización de materiales provenientes de regiones de suelos ácidos e infértiles y, por lo tanto, con muchas probabilidades de adaptación a las condiciones de sabana y selva de América tropical.

Otra característica importante de esta colección es que ella representa una colección activa de trabajo: todos los años, varios centenares de accesiones son sometidas a la evaluación inicial en los jardines de introducción en Quilichao, Carimagua y Brasilia. Además, un buen número de entradas pasa por los Ensayos Regionales A en los diversos ecosistemas del área objetivo del Programa.

Otras importantes colecciones de materiales que tienen un potencial alto como plantas forrajeras para regiones de suelos ácidos e infértiles del trópico suramericano, se encuentran principalmente en Brasil (EMBRAPA-CENARGEN en Brasilia, D.F.; EPAMIG en Belo Horizonte, MG; EMGOPA en Goiania, GO; Instituto de Zootecnia en Nova Odessa, SP), Belice y Antigua (CARDI), Florida/USA (Universidad de Florida, ARC Ft. Pierce) y otros países.

BIBLIOGRAFIA SOBRE *ANDROPOGON GAYANUS*

A continuación se presenta una bibliografía extraída de Herbage Abstracts y del Centro de Información sobre Pastos Tropicales del CIAT, desde 1931 - 1979.

ADEGBOLA, A.A.; BALOGH, E. Daily and seasonal changes of soluble carbohydrates in *Andropogon gayanus* (northern gamba grass). Acta Agronomica Academiae Scientiarum Hungaricae 23(3/4):305-317. 1974.

ADEGBOLA, A.A.; ONAYINKA, B. The production and management of grass/legume mixtures at Agege. Nigerian Agricultural Journal 3(2).84-91. 1966.

ADEGBOLA, A.A.; ONAYINKA, B.O.; EWEJE, J.K. The management and improvement of natural grassland in Nigeria. Nigerian Agricultural Journal 5(1):5-6. 1968.

ADEJUWON, O. Savanna in the forest areas of western Nigeria: distribution and vegetation characteristics. Journal of Tropical Geography 39:1-10. 1974.

AFOLAYAN, T.A. Grass biomass production in a Northern Guinea Savanna ecosystem. Oecologia Plantarum 13(4) 375-386. 1978.

ASARE, E.O. Dry matter yield, chemical composition and nutritive value of buffel grass grown alone and in mixture with other tropical grasses and legumes. *In* Proceedings of the 12th International Grassland Congress. Grassland Utilization. 1 Moscow, USSR, 1974 pp.53-64.

ASARE, E.O. Notes on the palatability of some tropical grasses and legumes at two stages of maturity. Ghana Journal of Agricultural Science 8(3):243-247. 1975.

BARRAULT, J. [Fodder crop research in N. Cameroon. Yield and feeding value of some local fodders. (Word carried out by IRAT in 1965-1971)]. Agronomie tropicale 28(2) 173-188. 1973.

BARRAULT, J.; BELEY, J.; BORGET, M. [Trial of application of $N_2P_2K_4$ fertilizer to *Andropogon gayanus* at Guétalé (North Cameroon)]. *In* Colloque sur l'intensification de la production fourragère en milieu tropical humide et son utilisation par les ruminants, 1971. Paris France.INRA. pp.122-128.

BILLE, J.C.; HEDIN, P.; LEBRUN, J.P.; RIVIERE, R. Expérimentation agrostologique en République Centrafricaine. [*Agrostological investigations in the Central African Republic*] Et. agrostol. 21 Maisons-Alfort, Val-de-Marne, France Inst. Elev. Méd. Vét. Pays Trop.; 1967. 246p.

BORGET, M. [Forage investigations at IRAT, Cameroon, up to mid-1968]. Agron. trop., Paris 23(11) 1231-41. 1968.

BOUDET, G. [Desertification or biological recovery in the Sahel]. Désertification ou remontée biologique au Sahel. Cahiers O.R.S.T.O.M., Biologie 12(4).293-300. 1977.

BOUDET, G. Management of savannah woodland range in West Africa. Proc. 11th int. Grassld Congr., Surfers Paradise, 1970. 1970. pp.1-3

BOWDEN, B.N. Studies on *Andropogon gayanus* Kunth. 6. The leaf nectaries of *Andropogon gayanus* var. *bisquamulatus* (Hochst.) Hack. (Gramineae). Botanical Journal of the Linnean Society 64(1):77-80. 1971.

BOWDEN, B.N. The sugars in the extrafloral nectar of *Andropogon gayanus* var. *bisquamulatus*. Phytochemistry 9(11):2315-2318. 1970.

BOWDEN, B.N.; WILLIAMS, P.M. Sterols in grass seeds. Phytochemistry 10(12):3135-3137. 1971.

BOYER, J. [Ecophysiological study of the productivity of several forage grasses cultivated in Senegal. 2. Water consumption and dry matter production of aerial parts]. Etude éco-physiologique de la productivité de quelques graminées fourragères cultivées au Sénégal. 2. Consommation d'eau et production de matière sèche des parties aériennes. Cahiers O.R.S.T.O.M., Biologie 12(4):269-282. 1977.

BREMAN, H.; CISSE, A.M. Dynamics of Sahelian pastures in relation to drought and grazing. Oecologia 28(4):301-315. 1977.

BRINCKMAN, W.L. The feeding value of five different hays as fed to sheep. Nigerian Journal of Animal Production 1(2).225-230. 1974.

CENTRO INTERNACIONAL DE AGRICULTURA TROPICAL. Beef Production Program. Annual report 1975. Cali, Colombia, 1976. pp.C1-C73.

CENTRO INTERNACIONAL DE AGRICULTURA TROPICAL. Programa de ganado de carne. *In* Informe Anual 1976. Cali, Colombia, 1977. pp.C1-C73.

CENTRO INTERNACIONAL DE AGRICULTURA TROPICAL. Programa de ganado de carne. *In* Informe Anual 1977. Cali, Colombia, 1978. pp.A1-A113.

CENTRO INTERNACIONAL DE AGRICULTURA TROPICAL. Programa de ganado de carne. *In* Informe Anual 1978. Cali, Colombia, 1979. pp.B1-B187.

CHATTERJEE, B.N.; SINGH, R.D. Growth analysis of perennial grasses in the tropics in India. 4. Changes in tiller population in grass swards. Allahabad Fmr 42(2).65-73. 1968.

DIALLO, A.; DE WISPELAERE, G.; LEBRUN, J.-P.; RIVIERE, R. Paturages naturels du 'Ferlo-Sud' (République du Senegal). [*Natural pastures of S. Ferlo (Senegal Republic)*]. Et. agrostol. 23 Maisons-Alfort, Val de-Marne, France. Inst. Elev. Méd. Vét. Pays Trop. 1968. pp.173.

DJIGA, A. [Evaluation of present data with a view to a better use of natural pastures in Upper Volta]. Thesis. Francia, Univ. Paris. Fac. Med. 1969. 129p.

EGUNJOBI, J.K. Dry matter, nitrogen and mineral element distribution in an unburnt savanna during the year. Oecologia Plantarum 9(1).1-10. 1974.

EGUNJOBI, J.K. Studies on the primary productivity of a regularly burnt tropical savanna. Annales de l'Universite d'Abidjan, E. 6(2) 157-169. 1973.

EMRICH, E.S. Competição entre cinco gramíneas forrageiras para a formação de pastagens em solo de Cerrado. *(Competencia entre cinco gramíneas forrajeras en relación con la formación de praderas en suelos de Cerrado). In* Reunião Brasileira de Cerrados, 2a., Sete Lagoas, Minas Gerais, Brasil, 1967. Anais. Sete Lagoas, Ministério da Agricultura. Departamento Nacional de Pesquisa Agropecuaria, 1972. pp.209-221.

FALADE, J.A. The effect of phosphorus on growth and mineral composition of five tropical grasses. East African Agricultural and Forestry Journal 40(4).342-350. 1975.

FRANCE, INSTITUT DE RECHERCHES AGRONOMIQUES TROPICALE ET DES CULTURES VIVRIERES. [Annual report of IRAT 1971]. Agronomie Tropicale 28(4).369-508. 1973.

GROF, B. Agronomic attributes of *Andropogon gayanus*/legume associations in tropical South America. Centro Internacional de Agricultura Tropical. 1979. (Sin publicar).

HAGGAR, R.J. The effect of quantity, source and time of application of nitrogen fertilizers on the yield and quality of *Andropogon gayanus* at Shika, Nigeria. Journal of Agricultural Science. UK 84(3) 529-535. 1975.

HAGGAR, R.J. Seasonal production of *Andropogon gayanus*. 1. Seasonal changes in yield components and chemical composition. J. agric. Sci., Camb. 74(3)·487-94. 1970

HAGGAR, R.J., AHMED, M.B. Seasonal production of *Andropogon gayanus*. 2. Seasonal changes in digestibility and feed intake. J. agric. Sci., Camb. 75(3).369-73. 1970.

HAGGAR, R.J.; AHMED, M.B. Seasonal production of *Andropogon gayanus*. 3. Changes in crude protein content and in vitro dry matter digestibility of leaf and stem portions. Journal of Agricultural Science, UK 77(1) 47-52. 1971.

HAGGAR, R.J. Use of companion crops in grassland establishment in Nigeria. Exp. Agric. 5(1):47-52. 1969.

HAGGAR, R.J.; DE LEEUW, P.N. Grassland section. *In* Institute for Agricultural Research, Samaru. Annual report of the Institute for Agricultural Research and Special Services. Ahmadu Bello University, 1967-8. Zaria, 1969. pp 8-11.

HALL, J.B.; MEDLER, J.A. Highland vegetation in South-eastern Nigeria and its affinities. Vegetatio 29(3).191-198. 1975.

HUTTON, E.M. Problems and successes of legume-grass pastures, especially in tropical Latin America. *(Problemas y éxitos en praderas de leguminosas y gramíneas, especialmente en América Latina Tropical) In* Sánchez, P.A. y Tergas, L.E., eds. Seminar on Pasture Production in Acid Soils of the Tropics, Cali, Colombia, 1978. Proceedings. Cali, Centro Internacional de Agricultura Tropical, 1979. pp.81-93.

JAVIER, E.Q.; SIOTA, C.M.; MENDOZA, R.C. Fertilizer and water management of tropical pasture seed crops. Extension Bulletin, ASPAC Food and Fertilizer Technology Center No. 63 15. 1975.

JONES, C.A. The potential of *Andropogon gayanus* Kunth in the Oxisol and Ultisol savannas of tropical America. Herbage Abstracts 49(1):1-8. 1979.

KANNEGIETER, A. The cultivation of grasses and legumes in the forest zone of Ghana. Ghana Jnl. Sci. 6(3-4).97-109. 1966.

KLEIN, H.D.; ZAMPALIGRE, A.K. [Management of the Volta Valleys. Aménagement des vallées del Voltas.] Etude Agropastorale, Institut d'Elevage et de Médecine Vétérinaire des Pays Tropicaux No. 48:68. 1977.

MISHRA, M.L.; CHATTERJEE, B.N. Seed production in the forage grasses *Pennisetum polystachyon* and *Andropogon gayanus* in the Indian tropics. Trop. Grasslds 2(1):51-6. 1968.

NOORUDDIN, ROY, L.N. A note on the chemical composition, digestibility and nutritive value of *Andropogon gayanus* at the flowering stage. Indian Journal of Animal Sciences 44(10) 797-798. 1977.

OHIAGU, C.E.; WOOD, T.G. A method of measuring rate of grass-harvesting by *Trinervitermes geminatus* (Wasmann) (Isoptera, Nasutitermitinae) and observation on its foraging behaviour in southern Guinea savanna, Nigeria. Journal of Applied Ecology 13(3).705-713. 1976.

OKE, O.L. Studies on the sulphur status of Nigerian soils and uptake by grasses. Journal of the Indian Society of Soil Science 18(2).163-166. 1970.

OLORODE, O. Cytological studies on some Nigerian Andropogoneae. Nigerian Journal of Science 6(1) 13-19.1972

ONAYINKA, E.A.O. Hints on establishment and management of sown pasture in Western Nigeria. Research Bulletin, University of Ife Institute of Agricultural Research and Training No. 3 20. 1973.

PEDREIRA, J.V.S.; NUTI, P.; CAMPOS, B. DO E.S. DE [Comparison of grasses for dry matter production]. Competição de capins para produção de matéria seca. Boletim de Indústria Animal 32(2) 319-323. 1975.

PIOT, J. y RIFPSTEIN, G. Principales espèces herbacées de quelques formations pastorales de l'Adamaoua Camerounais; ecologie et dynamique à différents rythmes d'exploitation. *(Principales especies herbáceas de algunas formaciones pastorales de Adamaoua en Camerún. Ecología y dinámica según diferentes ritmos de explotación)* Revue D'Elevage et de Medicine Vétérinaire des Pays Tropicaux 28(3).427-434. 1975

POULOUGOU, A. [The bromatological value and use of pastures in the Central African Republic]. Thesis. Université Claude Bernard de Lyon. France. 1971. 104pp.

PRASAD, L.K.; PRASAD, N.K. Evaluation of grasses under seepage irrigation in spring and summer season in plateau region of Chhotanagpur. Indian Journal of Agronomy 22(3) 183-184. 1977

RAMOS DE O. J. Gamba (*Andropogon gayanus* Kunth. var. *squamulatus* Stapf.) [illegible] Informações sôbre algumas plantas forrageiras. Rio de Janeiro, Brasil. Ministério da Agricultura. Serviço de Informação Agrícola. Série Divulgação no. 11. 1961. pp.100-104

REID, P.A.; MILLER, I.C. New grasses for the top end—Gamba grass. Turnoff 2(4):26-7. 1970.

ROY, L.N.N. Chemical composition, digestibility and nutritive value of *Andropogon gayanus* at the flowering stage. Indian Journal of Animal Sciences 44(10):797-798. 1974.

SINGH, R.D.; CHATTERJEE, B.N. Growth analysis of perennial grasses in tropical India. 1. Herbage growth in pure grass swards. 2. Herbage growth in mixed grass/legume swards. Exp. Agric. 4(2):117-25; 127-34. 1968.

SINGH, R.D.; PREMCHAND,; RAHAMAN, A. Herbage growth of pearl-millet-Napier grass hybrid when compared with other grasses. Indian Journal of Agricultural Sciences 42(3):218-222. 1972.

SINGH, R.D. y CHATTERJEE, B.N. Tillering of perennial grasses in the tropics in India. *(Macollamiento de gramineas perennes tropicales en la India).* Kanke, Bigar, India, Ranchi Agricultura College & Research Institute, 1965. 5p.

SPAIN, J.M. Pasture establishment and management in the Llanos Orientales of Colombia. *(Establecimiento y mantenimiento de pastos en suelos de sabana en los Llanos Orientales de Colombia). In* Sánchez, P.A. y Tergas, L.E., eds. Seminar on Pasture Production in Acid Soils of the Tropics. Cali, Colombia, 1978. Proceedings. Cali, Centro Internacional de Agricultura Tropical, 1979. pp.167-175

SWAINE, M.D.; HALL, J.B. y LOCK, J.M. The forest-savanna boundary in West-Central Ghana. Ghana J. Sci. 16(1):35-52. 1976.

TETTEH, A. Comparative dry matter yield patterns of grass/legume mixtures and their pure stands. Ghana Journal of Agricultural Science 5(3):195-199. 1972.

TETTEH, A. Preliminary observations on preference of herbage species by cattle, sheep and goats grazing on range on the Achimota Experimental Farm. Ghana Journal of Agricultural Science 7(3):191-194. 1974.

THOMAS, P.I.; WALKER, B.H.; WILD, H. Relationships between vegetation and environment on an amphibolite outcrop near Nkai, Rhodesia. Kirkia 10(2):503-541. 1977.

THOMPSON, K.C.; ROA, J. y ROMERO N., T. Anti-tick grasses as the basis for developing practical tick control packages. *(Gramineas con características repelentes como base para el desarrollo de paquetes prácticos en el control de garrapatas).* Tropical Animal Health and Production 10:179-182. 1978.

TOMPSETT, P.B. Factors affecting the flowering of *Andropogon gayanus* Kunth. Responses to photoperiod, temperature and growth regulators. Annals of Botany 40(168):695-705. 1976

WILD, H. Geobotanical anomalies in Rhodesia. 3. The vegetation of nickel-bearing soils. Kirkia (Suppl.):1-62. 1970.

WILD, H. Indigenous plants and chromium in Rhodesia. Kirkia 9(2):233-241. 1974

WILD, H. Variations in the serpentine floras of Rhodesia. Kirkia 9(2):209-232. 1974

WILKINSON, G.E. Effect of grass fallow rotations on the infiltration of water into a savanna zone soil of Northern Nigeria. Tropical Agriculture 52(2):97-103. 1975.

WILLIAMS, P.M.; BOWDEN, B.N. Triglyceride metabolism in germinating *Andropogon gayanus* seeds. Phytochemistry 12(12):2821-2827. 1973.

WILTSHIRE, G.H. Response of grasses to nitrogen source. Journal of Applied Ecology 10(2):429-435. 1973.

WILTSHIRE, G.H. Response of highveld grass species to ammonium and nitrate nitrogen. Proceedings of the Grassland Society of Southern Africa 7:67-75. 1972.

YADAV, M.S. Screening of germplasm collection of pasture grass. *In* Indian Grassland and Fodder Research Institute, Jhansi. Annual report 1974. New Delhi, India; Indian Council of Agricultural Research. (undated) pp.31-33.

YEPES, S. [Initial evaluation of grasses and legumes in introduction fields. 1. Grasses with different heights of cut]. Evaluación inicial de gramineas y leguminosas en campos de introducción. 1. Gramineas con diferentes alturas de corte. Serie Técnico Científica. Estación Experimental de Pastos y Forrajes, Indio Hatuey No. A-8.2-13. 1975.

ZEMMELINK, G.; HAGGAR, R.J.; DAVIES, J.H. A note on the voluntary intake of *Andropogon gayanus* hay by cattle, as affected by level of feeding. Animal Production 15(1):85-88. 1972.

Producción y calidad de semillas

1. Producción de Semillas. Informe de Progreso. Carimagua 1979.
   Burbano, E.A. y Ferguson, J.E.

INFORME DE PROGRESO

PRODUCCION DE SEMILLAS
CARIMAGUA 1979

Edgar A. Burbano
John E. Ferguson
Programa de Pastos Tropicales

TABLA DE CONTENIDO

OBJETIVOS.

PRODUCCION DE SEMILLAS.

INVESTIGACION.

(a) *Stylosanthes capitata* - Efecto del Corte

(b) *Zornia* sp. - Efecto del Corte
- Niveles de Potasio

(c) *Andropogon gayanus* - Efectos de Defoliación
- Niveles de Nitrógeno
- Densidad de Siembra

PLANES FUTUROS.

OBJETIVOS.

(1) Producir semillas para fines experimentales y producir semilla fundación de nuevos cultivares.

(2) Desarrollar tecnología para la producción comercial de semillas forrajeras.

PRODUCCION DE SEMILLAS.

De acuerdo con la lista de accesiones promisorias presentadas y aprobadas por el Comité de Germoplasma del Programa de Pastos Tropicales, el área de producción alcanzó para las Leguminosas un total de 21 hectáreas y 8.5 hectáreas para las Gramíneas. En el Cuadro 1 se resumen todos los lotes con sus respectivas áreas, para dar cumplimiento al Ensayo JEF-1-79, Incremento de líneas promisorias IV y V en Carimagua.

En el Cuadro 2 se presenta un sumario de producción y rendimientos para cada especie.

Stylosanthes capitata floreció fuertemente durante Noviembre y maduró a principios de Diciembre. El 1019 se cosechó a mano mientras el 1315 se cosechó con la combinada. Con ambas líneas se lograron rendimientos altos, (200-300 kg/ha), especialmente con el 1315 durante el primer año. El cultivo de 1019 consistió en una mezcla de plantas madres y plantas nuevas y resultó muy disparejo en la floración y madurez, lo cual dificultó la cosecha.

Zornia sp. CIAT 728 fue afectada por el hongo Sphaceloma y aunque floreció bien en Noviembre, el rendimiento de la cosecha con combinada estuvo regular (28 kg/ha).

Desmodium ovalifolium CIAT 350 se estableció lentamente y varias malezas ocasionaron problemas, especialmente Panicum rudgei. La floración

ocurrió en Diciembre y la madurez a mediados de Enero. El lote se cosechó con la combinada pero por problemas mecánicos se efectuó un solo pase. Esta especie normalmente necesita una re-trilla después de aproximadamente 4-5 días del corte. El rendimiento de 58 kg/ha, estuvo bien, pero está por debajo del máximo.

Andropogon gayanus fue cosechado completamente a mano pero con una organización estricta en las labores de corte, pilado, trilla y secamiento. El rendimiento promedio fue de 50 kg/ha de semilla pura, el cual es regular. A causa de una intensa lluvia a finales de Noviembre los rendimientos bajaron. Es muy difícil obtener altos rendimientos en Carimagua a partir de los primeros días de Diciembre debido a los fuertes vientos que afectan esta zona durante esa época.

INVESTIGACION.

(a) *Stylosanthes capitata* CIAT 1315.

- Efecto del Corte.

Los resultados son presentados en el Cuadro 3. El efecto del corte en la producción de semillas fue muy positivo con un incremento en el rendimiento de semilla pura (en vaina) de aproximadamente 35% (o 180 kg/ha). El corte aplicado 3 meses antes de la cosecha no afectó la época de madurez, pero resultó un incremento en la densidad de botones, una mayor uniformidad en la floración y la altura del cultivo un poco reducida pero más pareja. Para cosechas con combinada un corte alrededor de los tres meses antes de la madurez es recomendable.

(b) *Zornia* sp. CIAT 728.

- Efecto del Corte.

Los resultados son presentados en el Cuadro 4. El efecto del corte fue ligeramente positivo con un incremento de aproximadamente 20%

(o 6 kg/ha) de semilla pura. El corte no afectó la altura ni la época de madurez. Las plantas cortadas presentaron una proporción más alta de hojas en el rebrote reflejando una posible reducción en los daños causados por Sphaceloma sp.

- Niveles de Potasio.

De acuerdo a los datos preliminares alcanzados, los rendimientos son muy bajos, posiblemente por la baja población inicial y acompañada por los ataques de Sphaceloma contribuyeron a estos resultados negativos en la producción.

(c) *Andropogon gayanus* CIAT 621.

- Efectos de Defoliación.

Los resultados del efecto de corte y pastoreo se presentan en el Cuadro 5. La altura máxima se ve influenciada por los dos efectos corte y pastoreo; la amplitud de la inflorescencia permanece casi igual, variando sí el inicio de la inflorescencia, como resultado de un crecimiento demasiado alto se presenta el volcamiento. Respecto a la madurez se pudo observar que el corte en lotes de más tiempo de establecimiento atrasa la madurez. Los rendimientos alcanzados en el área con corte son similares a los sin corte, esto puede ser debido a que son lotes jovenes. La diferencia de rendimiento en el área con pastoreo y sin pastoreo puede ser que el área sin pastoreo por su altura se vió influenciada por los fuertes vientos. El corte y pastoreo ayudan a uniformar la floración, evitan alturas excesivas, mayor formación de tallos florales y no lignificación de los tallos, factores estos que influyen en los rendimientos más altos de *Andropogon*.

- Niveles de Nitrógeno.

En el Cuadro 6 se resumen los promedios de rendimientos de semilla pura, número de tallos florales y alturas de la planta. Por falta de un análisis de varianza, no podemos ofrecer una interpretación

exacta en el momento.

- Densidades de Siembra.

En el Cuadro 7 se presentan las poblaciones de plantas registradas a los dos meses por varias densidades de siembras. Ambas medidas están presentadas en tres formas alternativas.

Básicamente, la población de plantas se aumentó de una manera casi lineal con el incremento de densidad de siembra.

Obviamente un solo ensayo no es suficiente para establecer recomendaciones de densidades, pero estos datos ofrecen una oportunidad para iniciar una discusión respecto a las poblaciones de plantas requeridas en el campo. Para el establecimiento de lotes para producción de semillas, proponemos un nivel arbitrario de un mínimo de 15 plantas/m^2, como la población básica requerida. Esto implica una densidad de siembra alrededor de 1.0 kg/ha de semilla pura viva. Esta cantidad de semilla es suministrada en 5.0 kg/ha o 2.5 kg/ha de semilla clasificada o semilla pura, respectivamente, cuando la pureza de las semillas clasificadas es 50% y la germinación de las semillas puras es 40%, es decir que el contenido de semillas puras vivas (o % SPV) en las semillas clasificadas es 20%.

Las densidades de siembra para otros propósitos o para establecer otras poblaciones pueden ser definidas de una manera similar.

PLANES FUTUROS.

Producción de Semillas.

Está todavía en planeación pero seguiremos a un nivel similar al del año 1979, pero con mayor énfasis en Leguminosas. Grandes áreas de *Stylosanthes capitata* y *Desmodium ovalifolium* serán cosechadas con una combinada mientras

áreas más pequeñas de *Stylosanthes capitata* y *Zornia* spp. serán cosechadas manualmente.

Investigación.

(a) Continuar los proyectos relacionados con:

i. Manejo de *Andropogon gayanus*.

Estudios de efectos de densidades de siembra, defoliación, quemas y Nitrógeno.

ii. Asociaciones de Leguminosas: Palma Africana (*Pueraria phaseoloides* y *Desmodium ovalifolium*).

(b) Iniciar proyectos relacionados con:

i. Fenología y Producción de Semillas de *Brachiaria humidicola*.

Cuadro 1. LOTES DE PRODUCCION - CARIMAGUA 1979.

Especie	CIAT No.	Lote	Area Has.	Establecimiento	Método de Cosecha
S. capitata	1019	P_2	1.8	78B	Manual
S. capitata	1300	P_2	0.1	78B	Manual
S. capitata	1018	P_2	1.8	78B	Manual
S. capitata	1315	P_3	4.0	79B	Combinada
D. ovalifolium	350	P_2	0.1	78B	Manual
D. ovalifolium	350	T_1	10.0	79B	Combinada
Zornia sp.	728	P_2	0.1	78B	Manual
Zornia sp.	728	P_3	3.0	79B	Combinada
P. phaseoloides	9900	P_2	0.1	78B	Manual
			21.0		
A. gayanus	621	P_2	0.7	78B	Manual
A. gayanus	621	P_3	5.8	79B	Manual
A. gayanus	621	T_1	2.0		
			8.5		
Total			29.5		

Cuadro 2. PRODUCCION Y RENDIMIENTO DE SEMILLAS - CARIMAGUA 1979.

Especie	CIAT No.	Producción Semilla Clasificada(*) kg.	Rendimiento Semillas Puras kg/ha
S. capitata	1019	418	215
S. capitata	1315	1.403	326
Zornia sp.	728	89	28
D. ovalifolium	350	488	58
A. gayanus (Pista)	621	560	51
A. gayanus (Tomo)	621	190	50

(*) En Leguminosas con pureza > 95% para *S. capitata* en vaina.
En Gramíneas espiguillas con pureza del 53%.

Cuadro 3. EFECTO DEL CORTE EN *Stylosanthes capitata* 1315.

Medidas		Sin Corte	Con Corte*
Altura	cms.	58	38
Densidad de botones	no/m^2	1.802	4.336
Madurez		Dic.7	Dic.7
Rendimiento semilla pura	kg/ha	443	626

* Tres meses antes de la cosecha.

Cuadro 4. EFECTO DEL CORTE EN *Zornia latifolia* 728.

Medidas		Sin Corte	Con Corte*
Altura		43	41
Proporción Hojas** en la planta		1	5
Madurez		Dic. 12	Dic. 12
Rendimiento semilla pura	kg/ha	29	35

* Tres meses antes de la cosecha.

** 10 = alta, 5 = media; 1 = baja.

Cuadro 5. EFECTO DEL CORTE Y PASTOREO EN LA PRODUCCION DE SEMILLAS DE *Andropogon gayanus* 621, CARIMAGUA - 1979.

MEDIDAS		SIN CORTE Lote 76P	SIN CORTE Lote 79P	CON CORTE* Lote 76P	CON CORTE* Lote 79P	SIN PASTOREO Lote 78T	CON PASTOREO* Lote 78T
Altura máxima	m.	3.50	2.90	2.70	2.60	2.95	2.60
Altura Inicio Inflores.	m.	2.90	2.20	1.95	1.90	2.25	1.00
Amplitud Inflores.	m.	0.60	0.70	0.75	0.70	0.70	0.60
Madurez		Nov. 26	Dic. 5	Dic. 26	Dic. 14	Dic. 6	Dic. 6
Rendimiento							
Semilla Clasificada**	kg/ha	-	192	-	215	105	175
Semilla Pura	kg/ha	-	100	-	113	57	103

* Tres meses antes de la cosecha.

** Pureza de las espiguillas del 56%.

Cuadro 6. EFECTO DEL NITROGENO EN LA ALTURA, TALLOS FLORALES Y RENDIMIENTO DE SEMILLA PURA DE *Andropogon gayanus* 621, CARIMAGUA - 1979.

Rata de Nitrógeno kg/ha	Tallos Florales no.	Altura Planta mts.	Rendimiento* Semilla Pura kg/ha
0	26	1.80	22
50	52	1.90	37
100	53	1.90	42
100 + 100	54	2.00	62

* Promedios de Rendimiento sin análisis estadístico.

Agronomía de Pastos

1. La Ocurrencia de Fotosintesis C_4 entre Plantas. Downton, W.J.

LA OCURRENCIA DE FOTOSINTESIS C_4 ENTRE PLANTAS

W.J.S. Downton

Photosynthetica 9 (1): 96-105 1975

Traducido por: C. Gómez

Resumen

La vía C_4 de la fotosíntesis se presenta por lo menos en 13 familias, 117 géneros y 485 especies de la familia de las Angiospermas. Las familias que tienen representantes dentro del sistema C_4 son Aizoaceae, Amaranthaceae, Boraginaceae, Caryophyllaceae, Chenopodiaceae, Compositae, Convolvulaceae, Cyperaceae, Euphorbiaceae, Gramineae, Nycraginaceae, Portulacaceae y Zygophyllaceae. Los géneros Alternanthera, Atriplex, Bassia, Cyperus, Euphorbia, Evolvulus, Heliotropium, Kochia, Mollugo, Panicum y Suaeda tienen especies tanto C_3 como C_4

La vía de la fotosíntesis C_4 de los ácidos dicarboxilicos, parece estrechamente restringidos a las plantas en floración, incluyendo muchas plantas de importancia económica como: caña de azúcar, maíz y sorgo así como ciertas malezas problemáticas como coquito (Cyperus rotundus), pasto Johnson (Sorghum halepense) y guarda rocío (Digitaria sanguinalis). La primera agrupación de plantas C_4 (preparada en 1970), apareció en un volúmen del simposio sobre fotosíntesis y fotorespiración de C_4 (Downton 1971 b; Hatch et al 1971). Un gran número de publicaciones han demostrado la existencia de fotosíntesis C_4 en otras familias de las Angiospermae y hay una lista extensa de las especies de los géneros C_4. La fotosíntesis C_4 como tal (1974) han sido encontrada en Aizoaceae, Amaranthaceae,

Boraginaceae, Caryophyllaceae, Chenopodiaceae, Compositae, Convolvulaceae, Cyperaceae, Euphorbiaceae, Gramineae, Nyctaginaceae, Portulacaceae y Zygophyllaceae. Los sistemas C_3 y C_4 se han encontrado dentro de los siguientes generos: Alternanthera Atriplex, Bassia, Cyperus, Euphorbia, Evolvulus, Heliotropium, Kochia, Mollugo, Panicum y Suaeda.

Se han usado varios criterios para establecer el tipo de fotosíntesis presente en las hojas (Downton 1971 a). La anatomía de las hojas es quizás uno de los más usados debido a que las plantas C_4 tienen un arreglo tipo "Kranz" en la cual los tubos vasculares están rodeados por una vaina clorenquimatosa de células de pared gruesa con venas aumentadas de almidón. Otro criterio útil para identificar plantas C_4 es el punto bajo de compensación de CO_2, ningún efecto de baja concentración de O_2 sobre la tasa fotosintética; los productos iniciales de la fijación fotosintética del CO_2 son ácidos de cuatro carbonos. La relación C^{13}/C^{12} encontrada en plantas C_4, también se presenta en plantas con el metabolismo de los ácidos Crassulacean (CAM). El hecho de que CAM se haya demostrado en gramíneas permite el uso de la relación de C^{13}/C^{12} como una prueba diagnóstico para fotosíntesis C_4 entre las gramíneas. (Smith y Brown 1973).

La Tabla 1 muestra las especies C_4, basada en por lo menos uno de los criterios anteriores. Al final de cada especie se cita una referencia la cual nos indica el criterio utilizado para investigar si son plantas C_4. En algunos casos donde las especies han sido estudiadas por varios investigadores, la referencia seleccionada generalmente tiene prioridad histórica.

Table 1

The taxonomic distribution of C_4 photosynthesis. (The number in brackets represents always the respective item in the list of references.)

DICOTYLEDONEAE

1. *Aizoaceae*	
Cypselea humifusa	(46)*
Gisekia pharnaceoides	(35)
Mollugo cerviana	(28)
M. nudicaulis	(35)
Trianthema decandra	(35)
T. portulacastrum	(8)
2. *Amaranthaceae*	
Acanthochiton wrightii	(46)
Alternanthera ficoidea	(20)
A. pungens	(20)
A. repens	(46)
Amaranthus acanthochiton	(46)
A. albus	(42)
A. arenicola	(46)
A. blitoides	(42)
A. californicus	(46)
A. caudatus	(42)
A. chlorostachys	(46)
A. cruentus	(46)
A. deflexus	(46)
A. edulis	(42)
A. fimbriatus	(46)
A. gracilis	(20)
A. graecizans	(46)
A. hybridus	(46)
A. hypochondriacus	(42)
A. lividus	(46)
A. melancholicus	(42)
A. palmeri	(18)
A. paniculatus	(46)
A. patulus	(42)
A. polygonus	(35)
A. powellii	(46)
A. retroflexus	(42)
A. spinosus	(20)
A. tamariscinus	(46)
A. tricolor	(42)
A. tuberculatus	(46)
A. viridis	(42)
Brayulinea densa	(46)
Froelichia arizonica	(46)
F. campestris	(46)
F. floridana	(46)
F. gracilis	(42)
Gomphrena caespitosa	(46)
G. celosioides	(23)
G. decumbens	(35)
G. dispersa	(46)
G. globosa	(42)
G. haageana	(42)
G. nitida	(46)
G. sonorae	(46)
Gossypianthus lanuginosus	(46)
G. rigidiflorus	(46)
Lithophila vermiculares	(46)
Tidestromia lanuginosa	(46)
T. oblongifolia	(2)
T. suffruticosa	(46)
3. *Boraginaceae*	
Heliotropium scabrum	(35)
H. zeylanicum	(35)
4. *Caryophyllaceae*	
Polycarpaea aurea	(35)
P. corymbosa	(35)
5. *Chenopodiaceae*	
Atriplex acutibractea	(34)
A. acutiloba	(34)
A. angulata	(33)
A. argentea	(26)
A. bonnevilliensis	(46)
A. breweri	(46)
A. buchananii	(45)
A. burburyana	(34)
A. canescens	(26)
A. confertifolia	(46)
A. corrugata	(46)
A. cordifolia	(34)
A. coulteri	(46)
A. crassipes	(34)
A. cryptocarpa	(34)
A. cuneata	(46)

* Consult this Reference for criteria used to establish C_4 photosynthesis for the plant.

Table I (Continued)

A. decumbens	(46)	*A. pusilla*	(46)
A. drummondii	(34)	*A. quadrivalvata*	(34)
A. eardleyae	(34)	*A. quinii*	(6)
A. eichleri	(34)	*A. rhagodioides*	(43)
A. elachophylla	(34)	*A. rosea*	(42)
A. elegans	(46)	*A. saccaria*	(46)
A. falcata	(46)	*A. semibaccata*	(23)
A. fissivalvis	(34)	*A. semilunaris*	(34)
A. gardneri	(46)	*A. serenana*	(46)
A. garrettii	(46)	*A. sibirica*	(43)
A. halimus	(43)	*A. spinibractea*	(34)
A. holocarpa	(43)	*A. spongiosa*	(32)
A. humilis	(34)	*A. stipitata*	(34)
A. hymenelytra	(26)	*A. suberecta*	(44)
A. hymenotheca	(34)	*A. tatarica*	(44)
A. hypoleuca	(34)	*A. tenuissima*	(46)
A. inflata	(33)	*A. torreyi*	(46)
A. intermedia	(34)	*A. tridentata*	(46)
A. isatidea	(34)	*A. truncata*	(46)
A. kochiana	(34)	*A. turbinata*	(34)
A. lentiformis	(26)	*A. vallicola*	(46)
A. leptocarpa	(34)	*A. velutinella*	(34)
A. leucocladum	(46)	*A. vesicaria*	(33)
A. leucophylla	(46)	*A. wolfii*	(46)
A. limbata	(34)	*Bassia hyssopifolia*	(43)
A. lindleyi	(33)	*Halogeton glomeratus*	(46)
A. linearis	(46)	*Haloxylon salicornicum*	(1)
A. lobativalvis	(34)	*Kochia childsii*	(42)
A. macropterocarpa	(34)	*K. scoparia*	(42)
A. microcarpa	(34)	*Salsola foetida*	(1)
A. moquiniana	(34)	*S. kali*	(42)
A. morrisii	(34)	*Suaeda californica*	(46)
A. muelleri	(34)	*S. fruticosa*	(1)
A. muricata	(46)	*S. nigra*	(46)
A. navajoensis	(46)	*S. suffrutescens*	(46)
A. nummularia	(44)	*S. torreyana*	(46)
A. obovata	(46)	6. *Compositae*	
A. paludosa	(6)	*Pectis leptocephala*	(36)
A. papillata	(34)	7. *Convolvulaceae*	
A. parryi	(46)	*Evolvulus alsinoides*	(46)
A. pentandra	(46)	8. *Euphorbiaceae*	
A. polycarpa	(26)	*Chamaesyce buxifolia*	(37)
A. prostrata	(34)	*Euphorbia albomarginata*	(46)
A. pseudocampanulata	(34)	*E. arizonica*	(46)
A. pterocarpa	(34)	*E. australis*	(**)

** Pate, J. S., personal communication. ("Kranz" type leaf anatomy and low CO_2 compensation point.)

Table 1 (Continued)

E. buxifolia	(46)	*E. tomestulosa*	(46)
E. capitellata	(46)	*E. vermiculata*	(46)
E. chamaesyce	(46)	*E. villifera*	(46)
E. cinerascens	(46)	*E. wheeleri*	(13)
E. drummondii	(13)	*E. zygophylloides*	(46)
E. fendleri	(46)	9. *Nyctaginaceae*	
E. florida	(46)	*Allionia choisyi*	(46)
E. geyeri	(46)	*A. cristata*	(46)
E. glyptosperma	(31)	*A. incarnata*	(46)
E. hildebrandtii	(46)	*Boerhaavia carbaea*	(46)
E. hirsuta	(46)	*B. coulteri*	(46)
E. hirta	(46)	*B. diffusa*	(35)
E. hirtula	(46)	*B. erecta*	(46)
E. hooveri	(46)	*B. gracillima*	(46)
E. humistrata	(46)	*B. intermedia*	(46)
E. hypericifolia	(20)	*B. linearifolia*	(46)
E. hyssopifolia	(46)	*B. megaptera*	(46)
E. lata	(46)	*B. paniculata*	(8)
E. maculata	(31)	*B. purpurascens*	(46)
E. melanadenia	(46)	*B. tenuifolia*	(46)
E. micromera	(46)	*B. torreyana*	(46)
E. missurica	(31)	*B. wrightii*	(46)
E. neomexicana	(46)	10. *Portulacaceae*	
E. nutans	(46)	*Portulaca grandiflora*	(42)
E. parryi	(46)	*P. mundula*	(46)
E. pedicudifera	(46)	*P. oleracea*	(42)
E. petaloidea	(46)	*P. parvula*	(46)
E. polygonifolia	(46)	*P. pilosa*	(46)
E. recoluta	(46)	*P. quadrifida*	(35)
E. serpens	(46)	*P. suffrutescens*	(46)
E. serpyllifolia	(31)	*P. tuberosa*	(35)
E. serrula	(46)	11. *Zygophyllaceae*	
E. setiloba	(46)	*Kallstroemia grandiflora*	(46)
E. stictospora	(46)	*Tribulus hystrix*	(13)
E. supina	(31)	*T. terrestris*	(8)
E. thymifolia	(35)		

MONOCOTYLEDONEAE

12. *Cyperaceae*		*C. flabelliformis*	(20)
Cyperus albomarginatus	(14)	*C. globosus*	(20)
C. bowmanii	(23)	*C. iria*	(20)
C. compressus	(20)	*C. javanica*	(20)
C. cyperinus	(20)	*C. kyllingia*	(20)
C. cyperoides	(20)	*C. maloccensis*	(20)
C. eragrostis	(14)	*C. odoratus*	(1)
C. esculentus	(31)	*C. pedunculatus*	(20)
C. filiculmis	(1)	*C. polystachyos*	(23)

Table I (Continued)

C. rotundus	(23)	*Cenchrus ciliaris*	(7)
Fimbristylis consanguinea	(20)	*C. echinatus*	(7)
F. cymosa	(20)	*C. incertus*	(38)
F. ferruginea	(20)	*C. myosuroides*	(24)
F. miliacea	(20)	*Chloris cucullata*	(38)
Kyllinga brevifolia	(6)	*C. distichophylla*	(5)
K. monocephala	(23)	*C. gayana*	(14)
Scirpus lateriflorus	(20)	*Chrysopogon gryllus*	(5)
Scleria lithosperma	(20)	*C. montanus*	(38)
13. *Gramineae*		*Coix lacryma-jobi*	(10)
Achlaena piptostachya	(41)	*Cymbopogon citratus*	(39)
Andropogon gayanus	(10)	*C. tortilus*	(40)
A. glomeratus	(1)	*Cynodon dactylon*	(14)
A. perforatus	(38)	*Dactyloctenium aegyptiacum*	(7)
A. saccharoides	(24)	*Danthoniopsis dinteri*	(38)
A. scoparius	(7)	*Dichanthium aristatum*	(10)
A. virginicus	(7)	*Digitaria adscendens*	(20)
Anthaenantia rufa	(38)	*D. argyrograpta*	(10)
Anthephora cristata	(24)	*D. decumbens*	(19)
A. elegans	(38)	*D. pentzii*	(7)
A. elongata	(38)	*D. rhopalotricha*	(20)
A. hermaphrodita	(38)	*D. sanguinalis*	(14)
A. pubescens	(24)	*D. smutsii*	(10)
Aristida adscensionis	(3)	*Distichlis spicata*	(4)
A. glauca	(38)	*Echinochloa colonum*	(7)
A. longiseta	(24)	*E. crusgalli*	(14)
A. purpurea	(38)	*E. stagnina*	(10)
A. ternipes	(24)	*E. utilis*	(6)
A. uniplumis	(44)	*Eleusine coracana*	(10)
Arthropogon scaber	(41)	*E. indica*	(7)
A. villosus	(38)	*Eragrostis brownei*	(17)
A. xerachne	(41)	*E. chloromelas*	(10)
Arundinella anomala	(38)	*E. cilianensis*	(1)
A. berteroniana	(38)	*E. curvula*	(5)
A. deppeana	(38)	*E. intermedia*	(24)
A. hirta	(44)	*E. mexicana*	(14)
Astrebla pectinata	(10)	*E. pilosa*	(14)
Axonopus affinis	(38)	*E. rigidior*	(10)
A. argentinus	(14)	*E. tef*	(21)
A. compressus	(44)	*Eremochloa ophiuroides*	(24)
Bothriochloa alta	(38)	*Erianthus giganteus*	(21)
Bouteloua curtipendula	(10)	*E. maximus*	(17)
B. filiformis	(38)	*E. ravennae*	(21)
B. gracilis	(1)	*Eriochloa gracilis*	(5)
Brachiaria mutica	(20)	*Euchlaena mexicana*	(27)
B. platyphylla	(5)	*E. perennis*	(38)
B. subquadripara	(20)	*Garnotia stricta*	(38)
Buchloe dactyloides	(1)	*Gymnopogon ambiguus*	(38)

Table 1 (Continued)

Heteropogon contortus	(10)	*P. prolutum*	(31)
Hilaria belangeri	(38)	*P. purpurascens* ✓	(38)
H. mutica	(24)	*P. ramisetum*	(38)
Imperata arundinacea	(37)	*P. repens*	(20)
Jouvea pilosa	(38)	*P. reptans*	(38)
Lasiurus sindicus	(22)	*P. reverchoni*	(25)
Leptochloa dubia	(7)	*P. stapfianum*	(31)
L. fusca	(7)	*P. tenerum*	(38)
L. monostachya	(5)	*P. texanum*	(25)
Leptoloma cognatum	(38)	*P. turgidum*	(31)
Lepturus radicans	(38)	*P. urvilleanum*	(38)
L. repens	(38)	*P. virgatum*	(31)
Lycurus phleoides	(38)	*Pappophorum bicolor*	(24)
Manisuris altissima	(5)	*Paspalum commersonii*	(20)
Melinis minutiflora ✓	(10)	*P. conjugatum* ?	(20)
Miscanthus sinensis	(28)	*P. dilatatum* ✓	(17)
Monanthochloe littoralis	(39)	*P. distichum*	(14)
Muhlenbergia emersleyi	(38)	*P. hartwegianum*	(24)
M. lindheimeri	(38)	*P. notatum* ✓	(10)
M. racemosa	(25)	*P. pubiflorum*	(38)
M. schreberi	(1)	*P. urvillei*	(38)
Neostapfia colusana	(38)	*Pennisetum ciliare* ✓	(38)
Oryzopsis californica	(38)	*P. clandestinum* ✓	(***)
Panicum amarum	(1)	*P. glaucum* (= *P. typhoides*)	(14)
P. anceps	(31)	*P. pedicellatum*	(10)
P. antidotale ✓	(31)	*P. purpureum* ✓	(7)
P. bergii	(5)	*P. setaceum*	(21)
P. bulbosum	(11)	*P. villosum*	(21)
P. capillare	(14)	*Rattraya petiolata*	(38)
P. coloratum ✓	(31)	*Reimarochloa acuta*	(38)
P. cymbiforme	(25)	*Reynaudia filiformis*	(38)
P. decompositum	(25)	*Rhynchelytrum repens*	(21)
P. deustum	(25)	*R. roseum*	(38)
P. dichotomiflorum	(31)	*Saccharum officinarum* ✓	(29)
P. filipes	(24)	*S. robustum*	(28)
P. geminatum	(38)	*S. sinense*	(17)
P. hallii	(31)	*S. spontaneum*	(17)
P. indicum	(20)	*Schedonnardus paniculatus*	(24)
P. laevifolium	(31)	*Schizachyrium scoparium*	(21)
P. makarikariensis	(25)	*Setaria barbata*	(20)
P. maximum ✓	(31)	*S. faberii*	(30)
P. miliaceum	(14)	*S. glauca*	(30)
P. minus	(31)	*S. italica*	(14)
P. obtusum	(31)	*S. lutescens*	(14)
P. plenum	(31)	*S. scheelei*	(38)
P. polygonatum	(25)	*S. sphacelata*	(10)

*** DOWNTON, W. J. S., unpublished. ("Kranz" type leaf anatomy.)

Table 1 (Continued)

S. viridis	(7)	*S. poiretii*	(1)
Snowdenia polystachya	(38)	*S. spicatus*	(24)
Sorghastrum nutans	(24)	*S. wrightii*	(38)
S. pellitum	(5)	*Stenotaphrum secundatum*	(39)
Sorghum aethiopicum	(9)	*Themada australis*	(10)
S. almum	(14)	*T. avenacea*	(***)
S. arundinaceum	(9)	*T. triandra*	(38)
S. bicolor	(7)	*Thuarea involuta*	(20)
S. halepense	(17)	*Trachys muricata*	(38)
S. intrans	(9)	*Tragus australianus*	(10)
S. propinquum	(18)	*Trichachne californica*	(7)
S. stipoideum	(9)	*T. insularis*	(7)
S. sudanense	(14)	*T. saccharifiora*	(5)
S. verticilliflorum	(9)	*Tridens albescens*	(38)
S. virgatum	(9)	*T. pilosus*	(38)
S. vulgare	(14)	*Tripsacum dactyloides*	(7)
Spartina alterniflora	(39)	*Uniola paniculata*	(15)
S. cynosuroides	(1)	*Urochloa mosambicensis*	(24)
S. foliosa	(28)	*Vaseyochloa multinervosa*	(25)
S. pectinata	(1)	*Xerochloa chiriboa*	(20)
S. townsendii	(21)	*Zea mays*	(29)
Spinifex littoralis	(20)	*Zoysia japonica*	(38)
Sporobolus asper	(38)	*Z. matrella*	(38)
S. caroli	(13)	*Z. tenuifolia*	(***)
S. cryptandrus	(25)		

*** Downton W. J. S., unpublished. ("Kranz" type leaf anatomy.)

REFERENCES

(References to this paper are numbered to simplify their citation in Table 1. The references are completed with the criteria used to designate the plants as C_4.)

(1) Bender, M. M.: Variations in the $^{13}C/^{12}C$ ratios of plants in relation to the pathway of photosynthetic carbon dioxide fixation. — Phytochemistry 10 : 1239—1244, 1971. [Low ^{13}C discrimination.]

(2) Berry, J. A.: The compartmentation of reactions in β-carboxylation photosynthesis. — Carnegie Inst. Year Book 69 : 649—655, 1971. ["Kranz" type leaf anatomy.]

(3) Bisalputra, T., Downton, W. J. S., Tregunna, E. B.: The distribution and ultrastructure of chloroplasts in leaves differing in photosynthetic carbon metabolism. I. Wheat, *Sorghum*, and *Aristida* (*Gramineae*). — Can. J. Bot. 47 : 15—21, 1969. ["Kranz" type leaf anatomy.]

(4) Björkman, O., Gauhl, F.: Carboxydismutase activity in plants with and without β-carboxylation photosynthesis. — Planta 88 : 197—203, 1969. ["Kranz" type leaf anatomy and no effect of low O_2 on rate of photosynthesis.]

(5) Brown, R. H., Gracen, V. E.: Distribution of the post-illumination CO_2 burst among grasses. — Crop Sci. 12 : 30—33, 1972. [No effect of low O_2 on rate of photosynthesis.]

(6) BROWNELL, P. F., CROSSLAND, C. J.: The requirement for sodium as a micronutrient by species having the C_4 dicarboxylic photosynthetic pathway. — Plant Physiol. 49 : 794—797, 1972. ["Kranz" type leaf anatomy.]

(7) CHEN, T. M., BROWN, R. H., BLACK, C. C.: CO_2 compensation concentration, rate of photosynthesis, and carbonic anhydrase activity of plants. — Weed Sci. 18 : 399—403, 1970. [Low CO_2 compensation point.]

(8) CROOKSTON, R. K., MOSS, D. N.: The relation of carbon dioxide compensation and chlorenchymatous vascular bundle sheaths in leaves of dicots. — Plant Physiol. 46 : 564—567, 1970. ["Kranz" type leaf anatomy.]

(9) DOWNES, R. W.: Relationship between evolutionary adaptation and gas exchange characteristics of diverse *Sorghum* taxa. — Aust. J. Biol. Sci. 24 : 843—852, 1971. ["Kranz" type leaf anatomy.]

(10) DOWNES, R. W., HESKETH, J. D.: Enhanced photosynthesis at low oxygen concentrations: Differential response of temperate and tropical grasses. — Planta 78 : 79—84, 1968. [No effect of low O_2 on rate of photosynthesis.]

(11) DOWNTON, J., BERRY, J., TRIGUNNA, F. B.: Photosynthesis: Temperate and tropical characteristics within a single grass genus. — Science 163 : 78—79, 1969. [C_4 acids as initial products of $^{14}CO_2$ fixation and low CO_2 compensation point.]

(12) DOWNTON, W. J. S.: Adaptive and evolutionary aspects of C_4 photosynthesis. — In: HATCH, M. D., OSMOND, C. B., SLATYER, R. O. (ed.): Photosynthesis and Photorespiration. Pp. 3—17. Wiley-Interscience, New York—London—Sydney—Toronto 1971a.

(13) DOWNTON, W. J. S.: Check list of C_4 species. — In: HATCH, M. D., OSMOND, C. B., SLATYER, R. O. (ed.): Photosynthesis and Photorespiration. Pp. 554—558. Wiley-Interscience, New York—London—Sydney—Toronto 1971b.

(14) DOWNTON, W. J. S., TRIGUNNA, F. B.: Carbon dioxide compensation — its relation to photosynthetic carboxylation reactions, systematics of the *Gramineae*, and leaf anatomy. — Can. J. Bot. 46 : 207—215, 1968. [Low CO_2 compensation point and "Kranz" type leaf anatomy.]

(15) GRACEN, V. L. JR., HILLIARD, J. H., BROWN, R. H., WEST, S. H.: Peripheral reticulum in chloroplasts of plants differing in CO_2 fixation pathways and photorespiration. — Planta 107 : 189 to 201, 1972. ["Kranz" type leaf anatomy.]

(16) HATCH, M. D., OSMOND, C. B., SLATYER, R. O. (ed.): Photosynthesis and Photorespiration. — Wiley-Interscience, New York—London—Sydney—Toronto 1971.

(17) HATCH, M. D., SLACK, C. R., JOHNSON, H. S.: Further studies on a new pathway of photosynthetic carbon dioxide fixation in sugar-cane and its occurrence in other plant species. — Biochem. J. 102 : 417—422, 1967. [C_4 acids as initial products of $^{14}CO_2$ fixation.]

(18) HESKETH, J.: Enhancement of photosynthetic CO_2 assimilation in the absence of oxygen, as dependent upon species and temperature. — Planta 76 : 371—374, 1967. [No effect of low O_2 on rate of photosynthesis.]

(19) HILLIARD, J. H., WEST, S. H.: Starch accumulation associated with growth reduction at low temperatures in a tropical plant. — Science 168 : 494—496, 1970. ["Kranz" type leaf anatomy.]

(20) HOESTRA, J. J., AKSORNKOAE, S., ATMOWIDJOJO, S., DANAAG, J. F., SANTOSA, SASTROHOLTONO, R. A., THU, L. T. N.: A study on the occurrence of plants with a low CO_2 compensation point in different habitats in the tropics. — Ann. bogor. 5 : 143—157, 1972. ["Kranz" type leaf anatomy and low CO_2 compensation point.]

(21) HOLDEN, M.: Chloroplast pigments in plants with the C_4-dicarboxylic acid pathway of photosynthesis. — Photosynthetica 7 : 41—49, 1973. ["Kranz" type leaf anatomy.]

(22) HUBER, W., SANKHLA, N., ZIEGLER, H.: Ecophysiological studies on Indian arid zone plants. I. Photosynthetic characteristics of *Pennisetum typhoides* (Burm. f.) STAPF & HUBBARD and *Lasiurus sindicus* HENR. — Oecologia 13 : 65—71, 1973. ["Kranz" type leaf anatomy and C_4 acids as initial products of $^{14}CO_2$ fixation.]

(23) JOHNSON, H. S., HATCH, M. D.: Distribution of the C_4-dicarboxylic acid pathway of photo-

synthesis and its occurrence in dicotyledonous plants. — Phytochemistry 7 : 375—380, 1968. [C_4 acids as initial products of $^{14}CO_2$ fixation.]

(24) JOHNSON, SR. M. C.: An Electron Microscope Study of the Photosynthetic Apparatus in Plants, with Special Reference to the *Gramineae*. — Ph. D. Thesis. Univ. Texas, Austin 1964. ["Kranz" type leaf anatomy.]

(25) KRENZER, E. G. JR., MOSS, D. N.: Carbon dioxide compensation in grasses. — Crop Sci. 9 : 619—621, 1969. [Low CO_2 compensation point.]

(26) LAETSCH, W. M.: Chloroplast specialization in dicotyledons possessing the C_4-dicarboxylic acid pathway of photosynthetic CO_2 fixation. — Amer. J. Bot. 55 : 875—883, 1968. ["Kranz" type leaf anatomy.]

(27) LAETSCH, W. M.: Relationship between chloroplast structure and photosynthetic carbon-fixation pathways. — Sci. Progr. (Oxford) 57 : 323—351, 1969. ["Kranz" type leaf anatomy.]

(28) LAETSCH, W. M.: Chloroplast structural relationships in leaves of C_4 plants. — In: HATCH, M. D., OSMOND, C. B., SLATYER, R. O. (ed.): Photosynthesis and Photorespiration. Pp. 323—349. Wiley-Interscience, New York—London—Sydney—Toronto 1971. ["Kranz" type leaf anatomy.]

(29) MOSS, D. N.: The limiting carbon dioxide concentration for photosynthesis. — Nature 193 : 587, 1962. [Low CO_2 compensation point.]

(30) MOSS, D. N.: Relation in grasses of high photosynthetic capacity and tolerance to atrazine. — Crop Sci. 8 : 774, 1968. [Low CO_2 compensation point.]

(31) MOSS, D. N., KRENZER, E. G. JR., BRUN, W. A.: Carbon dioxide compensation points in related plant species. — Science 164 : 187—188, 1969. [Low CO_2 compensation point.]

(32) OSMOND, C. B.: β-carboxylation during photosynthesis in *Atriplex*. — Biochim. biophys. Acta 141 : 197—199, 1967. [C_4 acids as initial products of $^{14}CO_2$ fixation.]

(33) OSMOND, C. B.: C_4 photosynthesis in the *Chenopodiaceae*. — Z. Pflanzenphysiol. 62 : 129—132, 1970. [C_4 acids as initial products of $^{14}CO_2$ fixation.]

(34) OSMOND, C. B.: Leaf anatomy of Australian saltbushes in relation to photosynthetic pathways. — Austr. J. Bot. 22 : 39—44, 1974. ["Kranz" type leaf anatomy.]

(35) RAMA DAS, V. S., RAGHAVENDRA, A. S.: A screening of the dicotyledonous weed flora for the occurrence of C_4 dicarboxylic acid pathway of photosynthesis. — Proc. indian Acad. Sci., Sect. B 77 : 93—100, 1973. ["Kranz" type leaf anatomy, low CO_2 compensation point and no effect of low O_2 on rate of photosynthesis.]

(36) SCHOCH, E.: Malat und Aspartat als Hauptprodukte der $^{14}CO_2$-Kurzzeit-Fixierung nun auch bei einer Composite. — Z. Pflanzenphysiol. 64 : 367—368, 1971. [C_4 acids as initial products of $^{14}CO_2$ fixation.]

(37) SCHOCH, E., KRAMER, D.: Korrelation von Merkmalen der C_4-Photosynthese bei Vertretern verschiedener Ordnungen der Angiospermen. — Planta 101 : 51—66, 1971. ["Kranz" type leaf anatomy, low CO_2 compensation point and C_4 acids as initial products of $^{14}CO_2$ fixation.]

(38) SMITH, B. N., BROWN, W. V.: The Kranz syndrome in the *Gramineae* as indicated by carbon isotopic ratios. — Amer. J. Bot. 60 : 505—513, 1973. ["Kranz" type leaf anatomy and low ^{13}C discrimination.]

(39) SMITH, B. N., EPSTEIN, S.: Two categories of $^{13}C/^{12}C$ ratios for higher plants. — Plant Physiol. 47 : 380—384, 1971. [Low ^{13}C discrimination.]

(40) TATEOKA, T.: Reexamination of anatomical characteristics of leaves in *Eragrostoideae* and *Panicoideae* (*Poaceae*). — J. Jap. Bot. 31 : 210—218, 1956. ["Kranz" type leaf anatomy.]

(41) TATEOKA, T.: Notes on some grasses. XV. Affinities and species relationship of *Arthropogon* and relatives, with reference to their leaf structure. — Bot. Mag. (Tokyo) 76 : 286—291, 1963. ["Kranz" type leaf anatomy.]

(42) TREGUNNA, E. B., DOWNTON, J.: Carbon dioxide compensation in members of the *Amaranthaceae* and some related families. — Can. J. Bot. 45 : 2385—2387, 1967. [Low CO_2 compensation point.]

(43) TREGUNNA, E. B., DOWNTON, J., JOLLIFFE, P.: Genetic and environmental control of photorespiration. — In: METZNER, H. (ed.): Progress in Photosynthesis Research. Vol. I. Pp. 488—493. Tübingen 1969. [Low CO_2 compensation point and "Kranz" type leaf anatomy.]

(44) TREGUNNA, E. B., SMITH, B. N., BERRY, J. A., DOWNTON, W. J. S.: Some methods for studying the photosynthetic taxonomy of the angiosperms. — Can. J. Bot. 48 : 1209—1214, 1970. ["Kranz" type leaf anatomy, low CO_2 compensation point and low ^{13}C discrimination.]

(45) TROUGHTON, J. H., HENDY, C. H., CARD, K. A.: Carbon isotope fractionation in *Atriplex* spp. — Z. Pflanzenphysiol. 65 : 461—464, 1971. [Low ^{13}C discrimination.]

(46) WELKIE, G. W., CALDWELL, M.: Leaf anatomy of species in some dicotyledon families as related to the C_3 and C_4 pathways of carbon fixation. — Can. J. Bot. 48 : 2135—2146, 1970. ["Kranz" type leaf anatomy.]

Nutrición de Plantas

1. Requerimientos nutricionales en pastos tropicales. Salinas, J.G.

2. Adaptación de plantas a toxicidades de aluminio y manganeso en suelos acidos. Salinas, J.G.

3. Relaciones suelo-planta que afectan las diferencias entre especies y variedades para tolerar baja disponibilidad de fósforo en el suelo. Salinas, J.G. y P.A. Sánchez.

4. Una reseña de la nutrición de elementos menores en leguminosas forrajeras tropicales en el norte de Australia. Bruce, R.C.

5. Respuesta diferencial de ocho gramíneas forrajeras a estres de Al y P en un oxisol de Carimagua, Colombia. Salinas, J.G. y Delgadillo, G.

6. Métodos analíticos para suelos ácidos y plantas. Salinas, J.G. y García, R.

CONTENIDO

REQUERIMIENTOS NUTRICIONALES EN PASTOS TROPICALES

José G. Salinas.

1. INTRODUCCION

2. DIAGNOSTICO Y CARACTERIZACION DE LOS REQUERIMIENTOS NUTRICIONALES EN PASTOS TROPICALES.

2.1. Determinación de los Requerimientos Nutricionales.

2.2. Niveles Críticos Nutricionales.

2.3. Interaciones de Nutrimentos.

2.4. Síntomas Visuales de Deficiencia Nutricional.

3. REQUERIMIENTOS NUTRICIONALES DE PASTOS TROPICALES.

4. EFECTOS DE LA TOXICIDAD DE ALUMINIO Y MANGANESO EN EL DESARROLLO DE PASTOS TROPICALES.

4.1. Toxicidad de Aluminio.

4.2. Mecanismos de Tolerancia a la Toxicidad del Al.

4.3. Tolerancia de Especies Forrajeras Tropicales a la toxicidad de Aluminio.

4.4. Toxicidad de Manganeso.

4.5. Mecanismos de Tolerancia a la Toxicidad de Manganeso.

4.6. Tolerancia de Especies Forrajeras Tropicales a la Toxicidad de Manganeso.

REQUERIMIENTOS NUTRICIONALES EN PASTOS TROPICALES

José G. Salinas*

1. INTRODUCCION

La reacción de las plantas forrajeras a los elementos minerales presentes en el suelo, es determinante principal de la distribución natural y de la habilidad para sobrevivir y/o producir de las especies forrajeras en ecosistemas, sean o no estos modificados por el hombre. De esta manera, es posible identificar respuestas diferenciales entre ecotipos en ambos, entre y dentro de especies forrajeras, y asi, llegar a conocer el potencial productivo de las mismas que define la capacidad de adquisición y uso de nutrimentos por parte de las plantas. Tal conocimiento, es esencial para seleccionar las mejores especies para una determinada situación asi como también llegar a conocer las interacciones existentes en una comunidad de plantas forrajeras.

El estado nutricional de un suelo puede considerarse como satisfactorio cuando éste suministra nutrimentos en una concentración y tasa suficientes para las necesidades de la planta forrajera en la fase de

---

* Jefe Sección Suelos-Nutrición Plantas, Programa de Pastos Tropicales, CIAT, Cali, Colombia.

su establecimiento. Factores del medio ambiente, suelo y planta influyen sobre este suministro adecuado y por tanto, el sistema es dinámico antes que estático. El diagnóstico inicial del estado nutricional de un suelo constituye la información básica obtenida de una evaluación del recursos tierra, la cual describe en forma general la naturaleza de los suelos, clasificación, distribución y composición química.

El objetivo principal del diagnóstico nutricional de los suelos dentro de un ecosistema o ecosistemas es determinar qué nutrimentos son limitantes en el desarrollo de la planta forrajera y qué cantidad de cada nutrimento es necesaria para eliminar la limitación, en función de la respuesta diferencial de especies forrajera. En general, N, P, K, Ca, Mg y S son los más variables en cuanto al requerimiento nutricional en diferentes suelos y especies forrajeras. Además, los requerimientos para el mantenimiento de pasturas pueden diferir de los de establecimiento y también, el estado nutricional puede cambiar con el tiempo, debido a la remoción del sistema, reciclamiento y/o a pérdidas tales como lixiviación y fijación en el suelo.

Existen varias técnicas disponibles para el estudio del diagnóstico nutricional de un suelo en relación al establecimiento de especies forrajeras. Entre ellas están el uso adecuado de los análisis de suelos y plantas, experimentos de invernadero y campo y el diagnóstico de síntomas visuales de deficiencias nutricionales.

Una secuencia lógica de eventos en un área nueva consistiría en los siguientes puntos:

1. Evaluación del Recurso Tierra en un Ecosistema.
   a) Descripción y representación geográfica de clima, suelo y vegetación.

b) Caracterización química de los suelos, perfiles de suelo.

c) Evaluación inicial del potencial productivo de los suelos.

2. Diagnóstico General del Estado Nutricional del Suelo y de la Planta Forrajera.

a) Calibración de métodos analíticos para suelos y plantas.

b) Determinación de nutrimentos limitantes en el suelo.

c) Relaciones entre estado nutricional y factores edafológicos.

d) Diagnóstico de síntomas visuales de deficiencia nutricional en plantas forrajeras.

3. Estudios sobre la Adaptación y Establecimiento de Especies Forrajeras al Ecosistema.

a) Caracterización agronómica de especies forrajeras.

b) Estudios de fertilización con especies promisorias.

4. Estudio sobre el Mantenimiento y Desarrollo de Pasturas en un Ecosistema.

a) Problemas específicos de mantenimiento.

b) Pruebas analíticas de suelos y plantas.

c) Estudios de requerimientos nutricionales para mantenimiento de pasturas.

d) Manejo del sistema suelo-planta-animal.

El objetivo principal de este trabajo es proporcionar una información general de los aspectos inherentes a la nutrición de plantas forrajeras, enfatizando una estrategia de fertilización con insumos bajos en suelos ácidos de fertilidad nativa baja existente en América Tropical.

2. DIAGNOSTICO Y CARACTERIZACION DE LOS REQUERIMIENTOS NUTRICIONALES EN PASTOS TROPICALES.

El éxito para el desarrollo y explotación de sistemas de pasturas tropicales, las cuales consideran en conjunto la trilogía suelo-planta-animal, se debe en gran parte a la adecuada provisión de aquellos nutrientes limitantes para el establecimiento y mantenimiento de gramíneas y/o leguminosas forrajeras tropicales. Los requerimientos nutricionales de pastos tropicales que se desarrollan en un suelo dado pueden ser obtenidos por una variedad de métodos tales como la experimentación directa en campo, experimentación en invernadero, caracterización quimica del suelo y de la planta forrajera, caracterización de sintomas foliares de deficiencia nutricional y ademas, la experiencia del ganadero y/o de los extensionistas (Smith 1978).

Es importante remarcar que el banco de datos que ha sido acumulado en zonas templadas sobre aspectos nutricionales, que incluyen el diagnóstico nutricional por medio de una caracterización analítica de suelos y plantas, no esta disponible en el caso de las regiones tropicales. De aqui, las correlaciones esenciales entre pruebas analíticas de suelos y plantas versus la respuesta de plantas forrajeras son generalmente muy pocas. De esta manera, esa falta de información en los trópicos, determina la necesidad de que la investigación en la caracterización de los requerimientos nutricionales en pastos tropicales tenga un enfoque prioritario.

2.1. Determinación de los Requerimientos Nutricionales.

La base para el uso de niveles nutricionales en

plantas forrajeras, con el fin de un diagnóstico del estado nutricional, es la relación que existe entre el rendimiento y las concentraciones de nutrimentos en la planta. La composición mineral de una planta forrajera es relativa al análisis químico del tejido forrajero. De aquí, los tipos de análisis de la planta a realizarse y la manera en que ellos son interpretados depende sobre todo del propósito por el cual los análisis son realizados. Muy a menudo, estos objetivos no son claramente definidos antes de embarcarse en un programa de investigación. Smith (1978) indica que entre los objetivos que determinan la caracterización nutricional de plantas forrajeras están:

a. Diagnostico simple de la deficiencia de un nutrimento.
b. Diagnostico de la toxicidad mineral.
c. Guía para la correción de deficiencia(s) nutricional(es).
d. Medio eficiente para mantener la fertilidad del suelo en base a la extracción de nutrimentos para las plantas forrajeras.
e. Establecer la recomendación de una fertilización.
f. Predecir el potencial productivo de una pastura.

Es menester indicar que todos estos objetivos no son respondidos por el análisis químico de la planta. Además debe tenerse en cuenta que en la mayoría de los casos, un análisis simple del tejido vegetal, indica solamente que un nutrimento en particular esta limitando al momento del muestreo. De esta manera, además del análisis cuantitativo, deben considerarse los siguientes aspectos para la interpretación y satisfacer los objeti

vos mencionados anteriormente.

1. Como un nutrimiento dado viene a ser deficiente.
2. Que se debería hacer para eliminar esa deficiencia.
3. Tipo de respuesta a obtener luego de corregir la deficiencia.
4. Presencia de otra limitación nutricional al corregir la deficiencia.
5. Epoca esperada para la manifestación de una deficiencia nutricional.

Además de cumplir todos estos requisitos en la caracterización de los requerimientos nutricionales, es importante la selección del parámetro apropiado de respuesta para relacionarlo con la concentración de nutrimentos. En general, la mayoría de la investigación en regiones tropicales considera la producción de materia seca como el parámetro mas apropiado. Sin embargo, en muchas circunstancias, otros parámetros vienen a ser mas importantes que el rendimiento de materia seca *per se*. Por ejemplo, en algunos casos para medir la calidad del forraje tales como nivel de proteina, composición de aminoácidos, fibra cruda, digestibilidad del forraje, etc, la producción de materia seca es de importancia secundaria. Por otra parte, otros parámetros relativos a la estabilidad de una pastura y factores que afectan la producción animal asumen importancia primaria. Asi se tienen por ejemplo, la composición botánica para un balance entre gramínea y leguminosa, producción animal, calidad de la pastura, contenido de nutrimentos en el forraje en relación a los requerimientos nutricionales del animal y los efectos secundarios de la fertilización del suelo sobre la nutrición del ani-

mal (Rees y Minson, 1977). Básicamente, muy poca investigación se ha realizado en los trópicos sobre los requerimientos nutricionales de los forrajes tropicales en relación a los parámetros complejos señalados anteriormente.

2.2. Niveles Críticos Nutricionales.

Como resultado de la respuesta diferencial entre especies y variedades, surgió durante los últimos años la filosofía de insumos mínimos en fertilización. Este enfoque no debe ser interpretado como la eliminación total de una fertilización, pero si como una alternativa que reduce los niveles de fertilizantes y enmiendas en función del requerimiento nutricional de una especie dada. De aquí, es más conveniente referirse a insumos críticos de fertilización puesto que un insumo mínimo o máximo de fertilización será determinado por el requerimiento nutricional crítico de una especie dada en función de su rendimiento. Consecuentemente, el desarrollo de fórmulas que definan baja o alta fertilización dependerá específicamente si el requerimiento crítico nutricional de una especie dada al ser traducido en cantidad de fertilizante es baja o alta para obtener un rendimiento adecuado. Esta situación se extiende al caso de elementos tóxicos (Al y Mn) refiriéndose a requerimientos críticos de tolerancia.

En síntesis, el criterio anterior enfatiza la determinación previa de concentraciones críticas nutricionales externas (suelo) e internas (planta) al ser una técnica ampliamente usada al presente. De aquí la definición de una concentración crítica nutricional tanto externa como interna implica en la mayoría de los esquemas de diagnóstico aquella concentración que por debajo de ella la producción declina significativamente (Ulrich, 1952,

Ritchey , 1979). Este criterio exige un buen estimado del rendimiento y una cuantificación de la dosis mínima de fertilizantes al nivel crítico del nutrimento en el suelo y en la planta (especie).

Las técnicas disponibles de diagramas de dispersión (Figura 1.) y el uso de modelos discontínuos (Figura 2, 3 y 4) desarrollados por Cate y Nelson (1971), son herramientas convenientes para la interpretación de concentraciones críticas nutricionales externas e internas así como también la estimación de dosis mínimas de fertilizantes, necesarias para un rendimiento adecuado. En base a esta caracterización nutricional es posible distinguir grupos dentro el germoplasma de gramíneas y leguminosas con requerimientos críticos nutricionales bajos y altos.

Varios factores deben ser considerados en la determinación de las concentraciones críticas nutricionales, puesto que estas influyen definitivamente en dicha concentración. Entre las más importantes se citan: 1) Edad del tejido; 2) Tipo de tejido y 3) Diferencias entre especies y ecotipos dentro una especie. Respecto al primer factor, variaciones en la movilidad y retranslocación de nutrimentos dentro la planta resultan en diferencias acentuadas de la concentración de nutrimentos en los tejidos de diferente edad. Por ejemplo, Ca y B son generalmente considerados menos móviles en la mayoría de las especies, mientras que N, P, K y Na son rápidamente reciclados de los tejidos viejos a los jóvenes. La movilidad del Mg, S, Fe, Zn y Mn ocupan una posición intermedia entre estos extremos de movilidad de nutrimentos (Crafts y Crisp, 1971). De esta manera, la restricción del suministro de los nutrimentos menos móviles es rápidamente reflejada en la concentración de e-

sos nutrimentos y en los sintomas foliares de deficiencia en los tejidos jóvenes. En el caso de los nutrimentos móviles, la rápidez de la presencia de una deficiencia dependerá de la tasa de translocación y de la cantidad transportada de los tejidos viejos a los jóvenes.

Smith (1978) indica que existen dos enfoques para considerar el efecto de la edad del tejido sobre la concentración crítica nutricional en el tejido de plantas forrajeras. El primero, una uniformización rígida sobre un estado particular de desarrollo de la planta en el cual la planta integra debería ser muestreada y analizada. Aunque este método de muestreo resulta en una pérdida de la sensibilidad debido a la mezcla de diferente tipo y edad de tejido vegetal, investigadores con experiencia en el manejo de este tipo de muestras han encontrado un medio adecuado para diagnosis nutricional. Sin embargo, este metódo no es recomendable para especies arbustivas tales como *Leucaena leucocephala*, *Stylosanthes scabra*, *Desmodium gyroides*, *Desmodium ovalifolium*, *etc*.

El otro enfoque es relativo a la selección de tejido vegetal de la misma edad fisiológica y es el método recomendado para especies arbustivas como las mencionadas anteriormente y rastreras tales como *Centrosema pubescens*, *Pueraria phaseoloides*, *Macroptilium atropurpureum*, *etc* y especies forrajeras que están bajo pastoreo continúo donde plantas enteras pueden no encontrarse para muestreo. El tipo de tejido influye en la caracterización del nutrimento bajo estudio, de esta manera, los tejidos jovenes generalmente son empleados para los nutrimentos menos móviles y tejidos más viejos para los nutrimentos más móviles.

Especies y ecotipos dentro de especies forrajeras presenta una variabilidad amplia tanto en sus requerimientos nutricionales asi como en sus habilidades para absorber y acumular elementos minerales (Andrew et al, 1971, 1977). El Cuadro 1. resume algunos datos sobre concentraciones críticas internas de ciertos nutrimentos y la variabilidad que existe entre especies.

Los trabajos de Andrew y Robins (1969), confirman la existencia de niveles críticos internos. Ellos determinaron las concentraciones críticas de fósforo en la parte aérea de varias especies de pastos tropicales, las cuales fueron correlacionadas con máximos rendimientos. Este porcentaje de fósforo en la parte aérea de la planta, sobre el cual no hubo respuesta posterior de crecimiento, fue considerado como nivel crítico interno de fósforo. Algunos resultados (Cuadro 2) muestran que especies leguminosas forrajeras tales como *Stylosanthes humilis y Centrosema pubescens* tienen un nivel crítico interno más bajo que especies tales como *Glycine weightii y Medicago sativa*. Las primeras dos especies son nativas de regiones con suelos bajos en fósforo disponible y otros nutrimentos.

La misma observación fue hecha con gramíneas forrajeras. Gramíneas tales como *Andropogon gayanus*, *Brachiaria decumbes y Melinis minutiflora* tienen bajos niveles críticos y son muy comunes en suelos ácidos con baja disponibilidad de fósforo, mientras *Chloris gayana y Paspallum dilatatum* tienen un nivel crítico interno más alto.

Existe también evidencia cuantitativa entre especies y ecotipos dentro una especie en relación a niveles críticos externos de fósforo (en el suelo). Si el fósforo disponible en el suelo que produce entre 60-80% del rendimiento máximo, es considerado como el "reque-

rimiento externo de fósforo", entonces existe diferencias significativas entre especies. El Cuadro 3, muestra diferencias en este requerimiento externo de P entre leguminosas y gramíneas.

2.3 Interacciones de Nutrimentos.

La importancia de garantizar que un nutrimento en estudio es el factor limitante en la producción de una especie forrajera, no debe ser sobreenfatizada, puesto que muchas veces en forma simultánea otros nutrimentos pueden limitar dicha productividad. Bajo estas circunstancias, la interacción de nutrimentos constituye un aspecto de importancia en el diagnóstico de los requerimientos nutricionales.

Swanson (1963) ha sugerido un modelo alterno basado en la "Ley del Mínimo" de Liebig, el cual puede ser considerado para la interpretación de interacciones entre nutrimentos. Este modelo (figura 5) postula una respuesta lineal para el principal elemento, la que se detiene repentinamente cuando otro factor nutricional se hace limitante, pero que recupera su ascenso lineal cuando se corrige dicha limitación. Eventualmente, el rendimiento de una planta es limitado por la capacidad genética de la planta cuando todos los factores externos limitantes son eliminados.

La interacción entre nutrimentos se presenta de diferentes maneras a través de los resultados experimentales. La más común ocurre cuando simultáneamente más de un nutrimento contribuye a una respuesta dada (figura 6). En estos casos, cualquier nutrimento limitante afectará la respuesta dé la especie forrajera a cualquier otro nutrimento. En efecto, un ensayo de 3 gramineas forrajeras (*Andropogon gayanus*, *Brachiaria decum-*

bens y Brachiaria humidicola) que fue establecido hace dos años fue evaluado a diferentes niveles de P y K. Los resultados presentados en la Figura 7 nuestra un efecto de interacción de P y K en la respuesta de las 3 gramíneas.

Andropogon gayanus no respondió a P en ausencia de K, *Brachiaria decumbens* lo hizo hasta 50 kg P_2O_5/ha y *Brachiaria humidicola* a 100 Kg P_2O_5/ha. En la medida en que se incrementaron las dosis de K, todas las especies aumentaron sus rendimientos y acentuaron sus respuestas a P (Figura 7).

Andropogon gayanus se mostró como la especie más eficiente en la utilización de K aplicado, seguido por *Brachiaria decumbens* en términos de producción de materia seca por Kg de K_2O aplicado (Fig.8). La dosis de 40 Kg de K_2O/ha fue superior en todas las especies a las distintas combinaciones con P al producir los mayores incrementos en producción por unidad de fertilizante aplicado.

Los problemas de deficiencia de fósforo en suelos ácidos del trópico usualmente ocurren junto con la toxicidad de aluminio. Los dos problemas son difíciles de separar debido a la afinidad química entre ambos elementos. Consecuentemente, interacciones aluminio-fósforo tienen que ser consideradas al evaluar la tolerancia de variedades y especies a ambos problemas.

Diferencias entre especies y ecotipos entre especies forrajeras para tolerar niveles tóxicos de aluminio, han sido relacionadas con diferencias en la habilidad de las plantas para absorber y utilizar fósforo en presencia de altos niveles de aluminio (Salinas y Sánchez, 1976).

Clarkson (1967) encontró que la alta tolerancia a aluminio de *Agrostis setacea* en comparación con *Agrostis canina y Agrostis stolonifera* está asociada con una tolerancia a baja disponibilidad de fósforo.

Andrew y Vanden Berg (1973) hicieron observaciones similares cuando varias especies de leguminosas forrajeras fueron sometidas a varias concentraciones de aluminio en soluciones nutritivas. Algunos de sus resultados (Figura 9) muestran que *Desmodium uncinatum y Stylosanthes humilis* son tolerantes a niveles altos de aluminio mientras *Glycine weightii y Medicado sativa* son bastante sensitivas. Esto se demuestra en datos de producción de materia seca en la parte aérea de la planta. Las diferencias en materia seca de las raíces son menos espectaculares debido al engrosamiento que normalmente acompaña a la toxicidad de aluminio. Con excepción de la alfalfa, el incremento de aluminio resultó en un incremento de la tasa de absorción de fósforo. Este efecto fue más pronunciado en las dos especies tolerantes a aluminio. La mayor parte del fósforo absorbido fue acumulado externa o internamente en la raíz. Solo 2 a 16% del fósforo fue translocado a la parte aérea durante el tiempo de experimentación. Si bien el incremento de los niveles de aluminio disminuyó la tasa de translocación de fósforo, las dos especies tolerantes a aluminio promediarion 11% de translocación, mientras que las dos variedades sensitivas a aluminio promediarion 6.5%. De una manera similar, Salinas y Delgadillo (CIAT, 1979) encontraron interacciones significativas entre saturación de Al y el P disponible (Bray II) en función de la tolerancia de especies forrajeras en un Oxisol de Carimagua (Figuras 10 y 11, respectivamente).

2.4. Síntomas Visuales de Deficiencia Nutricional.

Las deficiencias nutricionales en especies forrajeras ocurren con irregularidad y son a menudo relativas a condiciones especificas del suelo, el cual en forma directa o indirecta influye en la disponibilidad de nutrimentos. En la mayoría de los casos, los síntomas visuales de deficiencia nutricional en forraje son bastante especificos y el reconocimiento de tales síntomas esta mayormente en función de la experiencia del observador. Estos síntomas visibles de deficiencia pueden constituir una guía para los requerimentos de fertilización, ya que en principio, la manifestación de un síntoma esta correlacionada con la modificación normal externa de la planta (Andrew, 1960). Sin embargo, muchas veces no sucede tal situación ya que una reducción en la tasa de crecimiento de las plantas sucede antes de reconocer el sintoma visual de deficiencia. Además, un diagnóstico exitoso basado en sintomas foliares, depende prioritariamente del conocimiento de las especies en consideración y de las condiciones medioambitales que afectan a la planta entera.

El desarrollo de una colección fotográfica de síntomas visuales de deficiencia nutricional, tanto en invernaderos como en condiciones de campo proporciona una ayuda muy valiosa en el diagnóstico de las deficiencias nutricionales en especies forrajeras tropicales.

Un resumen de las principales caracteristicas de los síntomas visuales de deficiencia nutricional en especies forrajeras se da a continuación. Esta descripción general fue extractado del Manual en preparación en CIAT, sobre síntomas de deficiencias nutricionales en forrajes tropicales. (Salinas, *et-al*, 1.980)

Nitrógeno.

La deficiencia de nitrógeno está caracterizada por una disminución inmediata en la tasa de crecimiento y por una pérdida general de clorofila en las hojas. La clorosis se inicia en la hojas más viejas puesto que el N es translocado a los sitios de crecimiento rápido (meristemas) cuando la planta esta en una condición de estrés de N, en la planta entera se manifiesta el amarillento. El nitrógeno es un constituyente principal de un gran número de compuestos indispensables en las plantas forrajeras, pero los síntomas de deficiencia son más relativos con una reducción en la síntesis de clorofila.

Fósforo.

Síntomas foliares de la deficiencia de P son más visibles en el caso de gramíneas que en leguminosas forrajeras. En el caso de gramineas forrajeras, existe una disminución de la tasa de crecimiento y una formación y acumulación del pigmento rojo-púrpura de antocianina en las hojas ya formadas. El ápice de las hojas viejas se tornan pálidas para luego presentarse la necrosis en un estado avanzado de deficiencia de P. En el caso de las leguminosas forrajeras, la deficiencia de P se manifiesta en general con una coloración verde oscura en las hojas, las cuales aumentan ligeramente en grosor y en una forma de crecimiento más erecto que las hojas normales. En casos de una deficiencia acentuada las hojas viejas muestran pequeñas puntas necróticas de color café en las áreas intervenales. Otra caracteristica es una defoliación acentuada en el caso de leguminosas forrajeras. Por otra parte, un efecto

directo del exceso de P en plantas forrajeras incluye la deficiencia inducida de Cu y Zn.

Potasio.

La clorosis y necrosis marginal de hojas ya formadas y posteriormente de hojas jóvenes es talvez la indicación universal de una deficiencia de K. La necrosis es precedida por una clorosis que se inicia en los ápices de las hojas y se prolonga hacia los márgenes de la lámina foliar o foliolos. En algunos casos, el síntoma de clorosis y necrosis marginal esta asociada con una clorosis intervenal de las hojas en posición baja e intermedia. El potasio es esencial para la síntesis de proteina y en caso de deficiencia, existe una acumulación de compuestos nitrogenados solubles y entre ellos esta la acumulación de diaminas que son tóxicos para las plantas y que son los responsables de la necrosis marginal del tejido, caracteristica sintomatológica de la deficiencia de K.

Calcio.

El calcio es un nutrimento pobremente distribuido dentro la planta. Este hecho es debido en parte a un mecanismo de transporte por intercambio, el cual impide el transporte por el xilema por flujo de masas o difusión. El calcio una vez depositado en la hoja, es incorporado en compuestos relativamente insolubles, de manera que su translocación por el floema es muy poca o casi nula, aún en condiciones de un estrés acentuado de Ca. Debido a la dificultad del transporte del calcio en la planta, los síntomas de deficiencia son co-

múnmente observados en los ápices de los tejidos vegetales (hojas jovenes y brotes meristemáticos). El síntoma visual de la deficiencia de Ca es una clorosis apical y lateral de los foliolos en hojas jovenes y se presenta la emisión de muchos rebrotes de color amarillo a café y de crecimiento reducido. Otro síntoma caracteristico y especialmente en gramíneas forrajeras es el enroscamiento del ápice de las hojas.

Magnesio.

Síntomas de deficiencia de Mg aparecen visualmente primero en hojas ya formadas y su manifestación es por medio de una clorosis intervenal. A medida que avanza el estrés de Mg las hojas jovenes presentan progresivamente una clorosis en la lámina foliar y una necrosis apical. La clorosis es causada debido a que el Mg es un constituyente esencial de la molécula de clorofila. En el caso de las gramíneas forrajeras, la deficiencia de Mg se manifiesta con un listado foliar generalizado para luego asentuarse la clorosis.

Azufre.

En general, la deficiencia de azufre ocurre en áreas de alta precipitación donde existe una lixiviación considerable de S, elemento que es bastante soluble en el suelo. Tanto en gramíneas como en leguminosas forrajeras, los síntomas de deficiencia de S se manifiestan en las hojas jovenes y son muy semejantes a la deficiencia de N. Sin embargo, el azufre no es un elemento tan móvil como el N en las plantas, de tal manera que los síntomas de una deficiencia de azufre aparecen al inicio

en los tejidos más jovenes que en los viejos como ocurre en una deficiencia inicial de N.

Zinc.

Los síntomas de deficiencia de Zn en plantas forrageras son mas relativos a tipo de especie así como también a ecotipos dentro una especie dada. Sin embargo, un síntoma general de deficiencia de Zn resulta en una reducción de la altura de la planta y áreas cloróticas sobre las hojas viejas que luego se presenta en las hojas jovenes. Esta clorosis se inicia en el ápice de la lamina foliar y avanza hacia la base de la hoja. Las hojas jovenes se tornan cloróticas con venas verdes y presentan un ligero encrespamiento de la nervadura central a medida que avanza la deficiencia de Zn.

Cobre.

La deficiencia de Cu se manifiesta en las hojas jovenes siguiendo una secuencia de marchitamiento inicial, clorosis y necrosis. En algunas leguminosas del género *Desmodium*, se manifiesta con una clorosis intervenal en las hojas viejas y un amarillamiento en las hojas jovenes con los ápices de los foliolos de color rojizo.

Hierro.

La deficiencia de Fe se caracteriza por una clorosis que se acentúa desde las hojas jovenes hacia las hojas viejas. El síntoma es un amarillamiento completo y uniforme de la lámina de las hojas o folioles. La

La disminución de la formación de clorofila es relativa a que el Fe es requerido en su síntesis. En el caso de las gramíneas forrageras, la deficiencia de Fe se manifiesta en fajas longitudinales alternadas de color verde y amarillo en las hojas viejas, las hojas intermedias y jovenes son cloróticas totalmente. En un estado avanzado de deficiencia de Fe, sobreviene la necrosis del tejido que avanza del ápice hacia la base de la hoja.

Boro.

La deficiencia de B, al igual que la deficiencia de Ca, se manifiesta inicialmente en las área próximas a las puntas de crecimiento activo (tejido meristemático). La razón es la baja movilidad de B dentro el tejido vegetal y por tanto el síntoma característico de una deficiencia de boro es la necrosis rápida de las hojas más jovenes y recien expandidas, así como también la muerte del tejido meristemático en los sitios de crecimiento activo (brotes). En varios casos se observa la formación anormal de hojas, aún hasta darse el caso de aparecer la formación de folioles unidos por uno de los lados, formando una sola hoja con dos nervaduras centrales. En otros casos, existe una deformación de las hojas con pérdida de simetría.

Molibdeno.

La deficiencia de Mo en plantas forrajeras, y especialmente en leguminosas, se presenta con un amarillamiento de las hojas viejas en las cuales los bordes se tornan necróticos. Síntomas similares aparecen en ho-

jas jovenes a medida que la deficiencia va progresando. La clorosis observada en plantas deficientes de Mo, ha sido relacionada a la acumulación de nitratos, debido a la falta de una reducción de estos, proceso esencial en el cual el Mo juega un rol importante. La intensidad de la necrosis en los bordes de las hojas ha sido correlacionada con una mayor acumulación de nitratos en las hojas adultas.

3. REQUERIMIENTOS NUTRICIONALES DE PASTOS TROPICALES

Por lo mencionado anteriormente, la adaptación ecológica de especies forrajeras a diferentes contenidos de nutrimentos en el suelo es reconocida. En plantas forrajeras, la primera división en grande es relativa a gramíneas y leguminosas. Una diferencia básica entre ambos grupos proviene de la simbiosis de las leguminosas con el *Rhizobium*. Sin embargo, dentro de cada grupo de especies pueden diferir en ciertos requerimientos nutricionales (Andrew y Fergus, 1976). Este aspecto se intensifica aún más al considerar el desarrollo de una tecnología de producción de pastos en vastas áreas con suelos ácidos e infertiles de América Tropical (CIAT, 1980). La gran mayoría de estos suelos presentan un "complejo de infertilidad natural", que comprende una deficiencia general de varios macro y microelementos, alta ácidez y toxicidad de Al y/o Mn.

La principal barrera en la producción de ganado vacuno en el trópico es la falta de forraje de calidad aceptable durante el año y especialmente en la época de sequía. El problema se podría solucionar en parte mediante la introducción de leguminosas asociadas con

gramíneas nativas ó introducidas, asegurando así un forraje de mejor calidad durante todo el año y evitando la necesidad de abono nitrogenado (Spain, et al., 1979).

La investigación en el establecimiento y mantenimiento de pasto en las áreas de suelos ácidos e infertiles de América Tropical presenta aún muchas interrogantes relacionadas con el desarrollo de pastos en las inmensas sabanas y bosques tropicales. Sin embargo, se adelantan investigaciones en función de los factores básicos-suelo-planta-animal (CIAT, 1978).

En la fase de establecimiento se da prioridad a la investigación sobre la acidez y baja fertilidad de los suelos. En general, las condiciones normalmente consideradas como adversas pueden modificarse mediante aplicaciones de insumos en fertilizantes y enmiendas, pero muchas veces a causa de la distancia y falta de acceso, el costo de los insumos voluminosos es demasiado alto para permitir el uso de grandes cantidades para la modificación del suelo (Spain et al., 1979). Por lo tanto, ha sido necesario considerar el factor planta, que por su propia evolución en estos ecosistemas llegan a adaptarse a las condiciones edáficas con un mínimo de insumos. La consideración dada en el capitulo anterior constituye una fase de la investigación para la determinación de los requerimientos nutricionales de especies forrajeras en suelos ácidos e infértiles de América Tropical.

Uno de los primeros y más importantes pasos en la prueba de nuevas accesiones es la verificación de su tolerancia a la acidez. Resultados de investigación sobre esta limitación es dada en el próximo capítulo de este trabajo.

La tolerancia a bajos niveles de P. es otra prioridad de investigación en el establecimiento de gramí-

neas y leguminosas tropicales. Los requerimientos externos de P en varias especies forrajeras con el criterio de niveles críticos en el suelo están siendo evaluados.

La Figura 12. presenta los resultados de un ensayo de campo en que P. *maximum*, A. *gayanus*, B. *decumbens* y H. *rufa* respondieron fuertemente a la aplicación de P teniendo P. *maximun*, y H. *rufa* la mayor respuesta y A. *gayanus* la menor. La respuesta de H.*rufa* al K fué la más notable y sin K sus poblaciones se deterioraron notablemente. Los rendimientos de los tratamientos sin K, promediados a todos los niveles de P, alcanzaron sólo un 15% del rendimiento máximo (CIAT, 1978).

Además de trabajar con especies adaptadas al medio con un mínimo de modificación del mismo se busca la forma de aprovechar más eficientemente las cantidades mínimas de fertilizantes utilizadas. La planta tiene su máximo requerimiento, especialmente en el caso de fósforo, durante las primeras semanas después de germinar y antes de tener un sistema radicular bien desarrollado. Muchos trabajos han mostrado las ventajas de sembrar en hilera y aplicar en banda el fertilizante junto ó muy cerca a la semilla. Con un mínimo de fertilizante se alcanzan condiciones favorables para la plántula (Spain et al, 1979).

La Figura 13 muestra el efecto de la aplicación de tres dosis de P_2O_5 al voleo y en banda en tres asociaciones. La aplicación en banda parece ser especialmente ventajosa para B. *decumbens* y P. *plicatulum* y para S. *guianensis* en todas las tres asociaciones (CIAT, 1977). Otra ventaja de este método eficiente de aplicar pequeñas cantidades de fertilizantes, es la reducción en la competencia de malezas comparado con la siembra y apli

cación de fertilizante al voleo.

Respecto a la investigación sobre los requerimientos de otros nutrimentos tales como Azufre y microelemento para la fase de establecimiento, la información disponible deja mucho que desear. Todo enfatiza la necesidad de una investigación prioritaria en América Tropical en cuanto a esos nutrimentos.

En la fase de mantenimiento de pasturas, la experiencia que se tiene sobre los requerimientos nutricionales es también poca. Spain y colaboradores (1979) señalan que es una étapa mucho más díficil y costosa que la del establecimiento de pasturas, por el hecho de tener presente al animal. Otro aspecto importante del efecto de la pastura sobre la fertilidad del suelo es la determinación de la disponibilidad de nutrimentos que están acumulandose en función del sistema suelo-planta-animal, (Bryan y Evans, 1973).

La investigación de los requerimientos nutricionales en parcelas pequeñas manejadas bajo corte son de limitada utilidad para la fase de mantenimiento debido a la no presencia del animal y el reciclaje de elementos através de éste.

La remoción de elementos del potrero bajo pastoreo no es sino el contenido de estos elementos en el animal al sacarlo. Por supuesto, las pérdidas son más grandes cuando se trata de ganado lechero que cuando es ganado de carne. Sin embargo, existe un problema de redistribución de fertilidad puesto que el animal consume de todo el potrero y deposita, en forma de heces y orina en un porcentaje limitado del área total. Elementos relativamente solubles y móviles en el suelo son fácilmente lixiviados de los sitios de concentración. Otros que son poco solubles e inmoviles en el

suelo como el fósforo, se concentran y se fijan en parte pero no se pierden del potrero. Mientras más alta la carga, menos grave el problema de redistribución porque los animales van cubriendo toda el área en un tiempo relativamente corto. Suelos arenosos generalmente requieren más fertilizante para su mantenimiento a un mismo nivel de producción que suelos más pesados debido a pérdidas por lixiviación (Spain et al., 1979)

La aplicación de fertilizantes de mantenimiento se debe hacer en una época en que el suelo tenga humedad suficiente para su crecimiento activo del pasto pero no excesiva, ya que provoca pérdida por lixiviación. La mejor época podría ser a finales ó a principios de la estación lluviosa. Si las cantidades a aplicar son muy reducidas, sería mejor hacer el mantenimiento cada dos años para reducir gastos de aplicación (Spain et al, 1979)

Está generalmente aceptado que las praderas de mayor productividad absoluta son aquellas en que se utilizan altos niveles de nitrógeno de hasta 500 Kg N/ha/año. Este tipo de praderas se basan únicamente en las gramíneas, ya que las leguminosas no persisten bajo estas condiciones. Las condiciones económicas que determinan que este tipo de sistemas (insumos máximos) sean rentables existen actualmente sólo en algunos países desarrollados. En otros países, se incluye un componente leguminoso en las praderas no sólo como fuente de nitrógeno para el ecosistema sino también como fuente de proteína para el ganado.

Se ha demostrado en la mayoría de los casos que las mezclas de gramíneas y leguminosas son en general inestables y relativamente en cortos períodos de tiem-

po uno de los dos componentes es suprimido. En general, se observa que la leguminosa es el componente suprimido debido al incremento del nitrógeno del suelo que favorece e incrementa la agresividad de la gramínea.

Análisis teóricos sugieren que las leguminosas son intrínsecamente competidoras más debiles que las gramíneas por luz, nutrimentos y agua. Esto se debe a que el mecanismo de fijación de nitrógeno necesita grandes cantidades de energía (carbohidratos) que no se encuentran disponibles para competir por luz y nutrimentos. No es sorprendente entonces que distintos trabajos hayan demostrado que para lograr persistencia de la mayoría de las leguminosas se necesitan sistemas de corte o pastoreo intensos, ya que no compiten eficientemente por luz. Sin embargo, se ha sugerido (Donald, 1963) que una mayor competitividad en el espacio aéreo puede ser, en muchos casos, el resultado de una mayor competitividad por nutrimentos que le permite producir una biomasa más importante. Esta sugerencia ha recibido una demostración experimental en estudios recientes de interferencia entre especies (King, 1971; Snaydon, 1971; Eagles, 1972). Los resultados han demostrado que en la mayoría de las situaciones la competencia por nutrimentos es más importante que la competencia por luz.

En mezclas de gramíneas y leguminosas, la relación nutritiva más estudiada es sin duda la del nitrógeno y las diferencias a este respecto son las que proporcionan no sólo una justificación para el uso de estas mezclas sino un indicio claro del potencial de compatibilidad entre ambos componentes. A pesar de las diferencias nutricionales con respecto a N, existe evidencia de que

competencia por N ocurre y es especialmente importante durante las fases de establecimiento, mientras el proceso de infección de *Rhizobium* ocurre y los nódulos se desarrollan. Leguminosas con bajo poder competitivo por N no solo crecen muy lentamente durante las fases iniciales sino que la gramínea absorbe más nitrógeno creciendo más rápidamente y suprimiendo a la leguminosa. Compatibilidad que en este caso depende de un elevado poder competitivo de la leguminosa por N.

El trabajo de Hall (1974) utilizando series de reemplazo demuestra que es posible individualizar relaciones competitivas y no competitivas (fijación atmosférica de N) para N entre gramíneas y leguminosas.

Relativamente poca información existe respecto a las relaciones nutritivas para otros elementos. Resulta obvía la importancia de individualizar mezclas de gramíneas y leguminosas con alta compatibilidad para otros elementos, no solo como forma de lograr que la compatibilidad por N se exprese sino como forma adicional de lograr mayores rendimientos en las mezclas y reducir la dependencia con respecto a adiciones de fertilizantes.

Existen numerosas referencias en la literatura a la distinta capacidad de gramíneas y leguminosas para competir por K y P. Desde los trabajos de Gray et al (1953) está establecido con relativa claridad que las leguminosas son competitivas en situaciones con baja disponibilidad de P mientras que en el caso opuesto ocurre para las gramíneas con respecto a K.

4. EFECTOS TOXICOS DE ALUMINIO Y MANGANESO EN EL DESARROLLO EN PASTOS TROPICALES

La disponibilidad del aluminio y/o manganeso en el suelo se torna mayor para las plantas, a valores de pH por debajo de 5.5. De aquí, la toxicidad de Al es uno de los prominentes factores que limita el desarrollo agrícola en la mayoría de los suelos ácidos de América Tropical. Altos niveles de saturación de Al reducen el crecimiento radicular y afectan severamente el rendimiento de los cultivos. Además del Al, el Mn constituye también otro factor limitante de la condición ácida de estos suelos, pero el grado de su toxicidad depende, además del bajo pH, de los cambios de óxido-reducción de este elemento en el suelo, proceso que esta relacionado con el drenaje de los suelos.

Durante los últimos años, se ha realizado en estos suelos una considerable investigación basada principalmente en el concepto de modificar el suelo para el desarrollo de plantas forajeras (Pearson y Hoveland, 1974; Freitas y Pratt, 1969; Bhanmik y Asthana). De aquí, la principal estrategía usada para anular los efectos limitantes del complejo ácido infertil del suelo ha sido fertilizar y encalar a niveles "óptimos" y tomar ventaja de sus efectos residuales. Además, especies forrajeras han sido seleccionadas para altos rendimientos, resistencia a plagas y enfermedades con poca atención a las propiedades del suelo, debido a que el trabajo de mejoramiento y selección ha sido llevado a cabo bajo condiciones óptimas del suelo.

Una alternativa para la producción de pastos tropicales en áreas de suelos ácidos es adaptar la planta a las limitaciones específicas de fertilidad del suelo. (Spain *et al.*,1975; CIAT 1978). Muy poco se ha hecho en tratar de seleccionar especies y variedades "*in si-*

tu" considerando las condiciones adversas de suelo-planta, las cuales constituyen el factor más limitante para la producción de pastos en la América Tropical. El caso es que durante los últimos años tanto fitomejoradores, fisiólogos asi como especialistas en suelos, han reconocido la existencia de diferencias entre especies forrajeras del trópico para tolerar condiciones adversas del suelo.

4.1. Toxicidad de Aluminio.

La razón por la inhabilidad de las plantas para crecer en suelos ácidos, y los efectos inhibitorios del subsuelo ácido sobre la penetración radicular, ha constituído una pregunta de interés por muchos años (Tisdale y Nelson, 1966). Aunque la presencia de Al intercambiable en suelos ácidos ha sido conocida desde comienzos de este siglo (Veitch, 1904), la idea del efecto detrimental de la acidez del suelo sobre el crecimiento de las plantas, a causa de concentraciones tóxicas de Al, fue aparentemente sugerido por Abbott y colaboradores (1913). La revisión inicial de la literatura sobre el Al en el suelo fue hecha por Ragland (1959), y la más reciente por Coleman y Thomas (1967), Adams (1974), y McLean (1976).

La mayoría de los suelos altamente meteorizados presentan bajas reservas de Ca y Mg, de manera que el Al es el catión principal en los sitios de cambio. La contribución del clima es considerada como un importante factor en el desarrollo de la acidez del suelo y la toxicidad de Al en suelos ácidos. En efecto, Kamprath y Foy (1971) remarcaron que en regiones tropicales la acidez del suelo toma lugar como resultado de la remoción de bases y un incremento de H y Al debido a la fluctuación de precipitación y evapotranspiración.

La reactividad del Al en suelos ácidos varía con la forma en la cual ocurre, disminuyendo desde la forma Al^{+3}-soluble en agua a monómeros de OH-Al, hasta formar polimerizadas de hidróxidos de Al. Recientemente, McLean (1976) remarcó nuevamente que el proceso hidrolítico del Al y por lo tanto su solubilidad en la solución del suelo es afectada por el pH de la solución. La secuencia de las posibles formas de Al pueden ser representadas en la siguiente progresión:

					pH suelo	Solubilidad Al
Al^{+3}	+ H_2O	→ $Al(OH)^{+2}$	+ H^+		4.0- 4.5	↑
$Al(OH)^{+2}$	+ H_2O	→ $Al(OH)_2^{+1}$	+ H^+		4.5- 5.5	aumenta
$Al(OH)_2^{+1}$	+ H_2O	→ $Al(OH)_3$	+ H^+		5.5- 7.5	baja o ninguna
$Al(OH)_3$	+ H_2O	→ $Al(OH)_4^-$	+ H^+		7.5- 9.0	
$Al(OH)_4^-$	+ H_2O	→ $Al(OH)_5^-$	+ H^+		9.0- 9.5	aumenta
$Al(OH)_5^-$	+ H_2O	→ $Al(OH)_6^-$	+ H^+		9.5-10.0	↓

De esta secuencia puede concluírse que la solubilidad del Al es bastante baja dentro el rango de pH entre 5.5 a 7.5 donde es precipitado y permanece relativamente insoluble como $Al(OH)_3$. Por debajo de pH 5.5 y sobre pH 7.5, las concentraciones de Al aumentan rápidamente. La pregunta, que emana, es relativa a la forma tóxica de Al para las plantas. Datos presentados por Kerridge (1969) indican que el Al fue considerablemente más tóxico para las plantas a pH 4.5 que a pH 4.0 y sugirió que un producto hidrolítico de Al en vez de la forma soluble Al^{+3} sería responsable en la inhibición del crecimiento radicular. A medida que el pH aumenta de 4.0 a 4.5 la solubilidad de Al^{+3} disminuye, mientras que la forma hidrolítica $AlOH^{+2}$ au-

menta (Raupach, 1963). Consecuentemente, Moore (1973) concluyó que la forma $AlOH^{+2}$ es responsable de los efectos adversos del Al sobre el crecimiento de las plantas y específicamente sobre el crecimiento radicular. Sin embargo, la solubilidad del Al y la severidad de sus efectos tóxicos sobre las plantas son afectadas por varios factores del suelo, incluyendo pH, mineral de arcilla predominante, concentración de otros cationes y contenido de materia orgánica (McCart y Kamprath, 1965; Evans y Kamprath, 1970; McLean, 1976).

Suelos ácidos con pH debajo de 5.5 tienen una gran porción de sus cargas negativas ocupadas por Al^{+3}, el cual puede ser desplazado por otros cationes. Este Al desplazado normalmente es denominado Al intercambiable, el cual es extractado con una solución no bufferizada de KCl *IN* y titulado con una base (Lin y Coleman, 1960; Bhumbla y McLean, 1965). Debido a que cantidades apreciables de Al intercambiable son tóxicas para muchas especies de plantas, ha sido sugerido que este Al puede ser neutralizado añadiendo $CaCO_3$(cal) al suelo a una tasa equivalente de 1.5 a 2 veces el Al intercambiable (Kamprath, 1970). El porcentaje de saturación de Al relativo a la capacidad de intercambio catiónico efectivo es otra medida útil de la acidez del suelo. La saturación de Al es la relación entre el Al intercambiable extractado con una solución normal no bufferizada de KCl y la suma de bases intercambiables más el Al intercambiable. Nye y colaboradores (1961), Evans y Kamprath (1970), y Cate y Sukhai (1964) encontraron que en suelos ácidos el porcentaje de saturación de Al determina la concentración de Al en la solución del suelo. Ellos observaron que cuando la saturación de Al fue mayor del 60% una cantidad apreciable

de Al estuvo presente en la solución del suelo. Por otra parte, la relación entre pH del suelo y la saturación de Al es consistente con varias observaciones hechas en muchos suelos ácidos del trópico (Brams, 1971; Fox et al., 1962; Popenoe, 1960; Soares, et al., 1975; Abruña et al., 1974). Además, a pesar de haberse demostrado que el pH del suelo está relacionado con el crecimiento radicular (Pearson, 1975), el nivel de Al en la solución del suelo es usualmente el factor responsable por el reducido crecimiento radicular en suelos ácidos (Adams y Lund, 1966). En conclusión, el Al en la solución del suelo y el porcentaje de saturación de Al están relacionados en suelos ácidos (Evans y Kamprath, 1970; Brenes y Pearson, 1973; Gonzalez, 1976), así como también el porcentaje de saturación de Al y la respuesta de la planta (Abruña et al, 1970, 1974; Sartain y Kamprath, 1975; Salinas, 1978). De aquí, aunque la actividad química del Al en la solución del suelo es probablemente el mejor parámetro para estimar el potencial tóxico del Al de un suelo, el porcentaje de saturación de Al provee una indicación satisfactoria de la acidez del suelo y es mucho más simple su determinación.

Además, debido a los niveles bajos de bases cambiables, la alta saturación de Al juega un importante rol en estos suelos ácidos (Olmos y Camargo, 1976; Freitas y Silveria, 1977). En efecto, Lopes y Cox (1977) sugieren que en la mayoría de los casos el porcentaje de saturación de Al, debería ser considerado primero, ya que en suelos ácidos teniendo el mismo nivel de Al intercambiable pero diferente porcentaje de saturación de Al, es de esperar que la respuesta de un cultivo dado sea diferente al encalar con la misma cantidad en base a la neutralización del Al intercambiable.

Finalmente, el grado de tolerancia de especies y variedades puede ser expresado en términos del porcentaje de saturación de Al de la capacidad efectiva de cationes cambiables. Consecuentemente, viene a ser necesario sólo la aplicación de cal en una cantidad suficiente como para reducir el porcentaje de saturación de Al a niveles que no afecten la producción. Con este criterio, fue desarrollada una ecuación para estimar los requerimientos de cal para compensar la tolerancia de Al de especies y variedades (Cochrane y colaboradores, 1980).

4.2. Mecanismos de Tolerancia a la Toxicidad del Aluminio.

La caracterización de especies y variedades tolerantes a Al ha sido estudiada por medio siglo (Hartwell y Pember, 1918; McLean y Gilbert, 1927; Hewitt, 1948; Aimi y Murakami, 1964; Foy y Brown, 1963; Clarkson, 1966; Adams y Pearson, 1970; Foy, 1976; Spain, 1977; Salinas, 1978). Estos estudios han usado una diversidad de especies y variedades cuyas respuestas han mostrado la evidencia de tal tolerancia diferencial.

Parece que la tolerancia a Al entre especies y variedades se debe a una adaptación genética como resultado de una selección involuntaria en suelos ácidos (Foy, 1976). La genética de la tolerancia a Al está actualmente bajo estudio (Devine *et al.*, 1976), pero la naturaleza de la tolerancia diferencial no ha sido esclarecida al presente, debido a que los mecanismos exactos de toxicidad de Al no están todavía completamente conocidos (Foy, 1976).

Varios intentos se han hecho para explicar la causa de la tolerancia a Al por las plantas. Básicamente estos pueden ser separados en dos categorías: (1) cambios diferenciales en la morfología de la planta, y (2) cambios diferenciales en la fisiología y bioquímica de la planta (Foy, 1976; Helyar, 1978). Esta separación no implica que la tolerancia a Al resulte de cada categoría independientemente, por el contrario, el grado de tolerancia parece ser una combinación de ambas categorías, pero la segunda es a menudo referida como una consecuencia de cambios morfológicos en el sistema radicular (Jackson, 1967; Moore, 1973; Ali, 1973; Helyar, 1978).

La reducción de crecimiento, tanto en las raíces como en la parte aérea debido al Al, fue observada desde comienzos del siglo (Magistad, 1925). Sin embargo, el crecimiento radicular parece ser más afectado que la parte aérea debido a la influencia directa del Al. Jackson (1967) remarcó que los cambios morfológicos y fisiológicos de la parte aérea generalmente se manifiestan después que el crecimiento radicular ha sido afectado. Consecuentemente, los síntomas visuales de toxicidad de Al en la parte aérea pueden ser un efecto indirecto del daño radicular por el Al (de-Waard y Sutton, 1960; Rees y Sidrak, 1961; Kerridge, 1969; Ali, 1973). En efecto, la inhibición del crecimiento radicular es el efecto primario de la toxicidad de Al (Kerridge, 1969; Rhue y Grogan, 1977; Helyar, 1978; Salinas, 1978).

Raíces afectadas por el Al son ineficientes para absorber agua y nutrimentos (Fleming y Foy, 1968; Clarkson, 1969; Reid *et al.*, 1971; Lafever *et al.*, 1977; Heylar, 1978). Ha sido sugerido que el Al actúa como

un inhibidor de crecimiento de sitios específicos en las raíces en lugar de ser un veneno sistémico (Fleming y Foy, 1968). En efecto, Clarkson (1965, 1969) remarcó que el Al inhibe la división celular en los meristemas apicales resultando un sistema radicular drásticamente restringido. Es crítico recalcar que la tolerancia diferencial a Al puede estar asociada con daño morfológico radicular en áreas específicas en lugar de un daño a todo el sistema. Consecuentemente, la tasa de crecimiento durante un período de recuperación luego de un estres de Al puede ser importante (Moore et al., 1977).

Clarkson (1965) encontró que las anormalidades morfológicas de las raíces causadas por el Al pueden ser explicadas por el rol inhibitorio del Al sobre la división y extensión celular. La naturaleza de este daño fue explicada posteriormente por Sampson y colaboradores (1965) cuando establecieron que el daño del Al está asociado directamente con algunas funciones metabólicas durante la división celular. El efecto de Al en la mitosis celular y la resultante paralización de la elongación radicular fue confirmada por Clarkson y Sanderson (1969). Sobre la base de resultados bioquímicos la mitocondria y núcleo, ambos ricos en ADN, fueron sugeridos como los dos sitios celulares posibles donde el Al estaría actuando (Klimashevskii et al., 1973). Consecuentemente, una vez que el Al está dentro una célula meristemática, interfiere en la formación de ADN y el resultado neto es una inhibición del crecimiento radicular (Ali, 1973).

En base a las consideraciones arriba mencionadas, se han hecho varios intentos para explicar la tolerancía diferencial entre especies y variedades en términos de daños causados por el Al a las raíces. La habilidad

de una planta para continuar su elongación y proliferación, así como también resistir daños morfológicos en los ápices y raíces laterales, son relativos a tolerancia a Al (Foy y Brown, 1963; Adams y Lund, 1966; Reid et al., 1971; Sartain y Kamprath, 1975; Howeler y Cadavid, 1976; Moore et al., 1977; Keser et al., 1977; Helyar, 1978). Especies y variedades dentro especies difieren en el grado en el cual una concentración dada de Al interfiere con el crecimiento radicular. En general, variedades sensitivas a Al muestran una severa inhibición del crecimiento radicular mientras que variedades tolerantes son ligeramente afectadas. Consecuentemente, la habilidad diferencial del crecimiento radicular en presencia de Al es considerada una importante medida de tolerancia a Al y frecuentemente ha sido usada como un criterio para clasificar especies y variedades de acuerdo a su tolerancia a Al (Kerridge y Kronstad, 1968; Kerridge et al., 1971; Reid et al., 1971; Foy, 1974; Moore et al., 1977; Howeler y Cadavid, 1976; Rhue y Grogan, 1977; Salinas, - 1978).

Varios intentos también han sido realizados para explicar diferencias entre especies y variedades en términos de absorción y translocación de nutrimentos y Al, así como también cambios de pH extremo (Foy, 1974; Heylar, 1978). La tolerancia a Al ha sido usualmente asociada con una disminución en la absorción y translocación de elementos minerales. Entre ellos, P, Ca y Mg son los más afectados por el Al y reducciones menores en la absorción y translocación de K, Fe, Cu y Zn han sido también dados a conocer (Foy y Brown, 1963; Johnson y Jackson, 1964; Munns, 1965; Paterson, 1965; Clarkson, 1966; Lance y Pearson, 1969; Andrew y Vanden

Berg, 1973; Devine et al., 1976; Foy, 1976; Helyar, 1978; Salinas, 1978).

Una deficiencia de P en la parte aérea es tal vez el síntoma visual típico de la toxicidad de Al (Foy y Brown, 1963, 1964). El exceso de Al reduce la solubilidad de P en el medio de crecimiento y su absorción y transporte por las plantas (Kamprath y Foy, 1971). Por otra parte, un exceso de P puede precipitar el Al y eliminar su toxicidad, aumentar la absorción de P y eliminar los síntomas de deficiencias de P (Munns, 1965). Por ejemplo, los efectos tóxicos de Al fueron eliminados en plantas de algodón cuando la relación: P:Al en el medio extremo fue mayor que dos (Foy y Brown, 1963). Por lo tanto, interacciones Al-P han sido propuestas como un factor importante en el grado de toxicidad de Al para las plantas (Randall y Vose, 1963; Munns, 1965; McLead y Jackson, 1967; Foy, 1976).

Dos tipos de interacciones Al-P han sido sugeridos por Clarkson (1966). El primero ocurre al nivel de superficie celular con fijación de P por una reacción de adsorción-precipitación. El segundo ocurre dentro la célula, posiblemente dentro la mitocondria, y resulta en una marcada disminución de la tasa de fosforilación del azúcar probablemente afectando la inhibicción de hexokinasa. Recientemente McCormick y Borden (1964) han mostrado a través del microscopio electrónico que un precipitado de Al-PO_4 ocurre en las raíces como glóbulos dispersos. La interacción ocurrió en la capa musilaginosa a lo largo de la superficie radicular y en las regiones intercelulares de los ápices. Estos resultados confirman teorías anteriores sobre el proceso de adsorción-precipitación que toma lugar en las raíces, resultando en un reducido transporte de P a la

parte aérea. Consecuentemente, la deficiencia de P debido a la presencia de Al puede ser un resultado de la precipitación del Al y P en las raíces. De aquí, las diferencias entre especies y variedades en relación a estres de Al pueden resultar de la tasa de translocación a la cual el P "escapa" esta precipitación.

Varios investigadores informan que la tolerancia diferencial a Al entre especies y variedades ha estado asociada con una habilidad diferencial para absorber y utilizar P en presencia de Al (Jones, 1961; Foy y Brown, 1964; Foy, 1974, 1976, 1977). Además, la tolerancia a Al en ciertas especies forrajeras coincidió con una mayor eficiencia en la asimilación y transporte de P (Andrew y VandenBerg, 1973).

La literatura sobre interacciones entre Al y cationes básicos indica una tendencia casi invariable de un efecto antagónico de Al sobre ellos (Clarkson, 1971, Lee, 1971; Ali, 1973; Foy, 1974). Estres de Al resulta en la reducción de absorción de Ca y Mg de acuerdo a Johnson y Jackson (1964), Martin (1961), McLead y Jackson (1967), y Munns (1965). Una disminución en el crecimiento debido a la deficiencia de Ca causada por el Al ha sido también sugerida por Armiger y colaboradores (1968). Estos resultados sugieren que los síntomas de deficiencia de Ca observados en algunos cultivos en suelos ácidos son debidos a un efecto antagónico del Al sobre el Ca en vez de niveles bajos de Ca en tales suelos.

Este antagonismo entre el Al y Ca parece ocurrir en las raíces. Lance y Pearson (1969) indican que el efecto del Al sobre la absorción de Ca ocurre rápidamente cerca de la superficie de las raíces. Estas ob

servaciones sugirieron que la permeabilidad de las membranas celulares sería afectada por el Al. Por lo tanto, la alteración de la configuración estructural de las membranas por reemplazo de Ca por Al puede inhibir la asimilación de Ca (Lance y Pearson, 1969).

Patterson (1965) concluyó que el Al disminuye la absorción de Ca pero no parece inhibir la translocación de este elemento a la parte aérea. Los resultados obtenidos con leguminosas forrajeras por Andrew y VandenBerg (1973) sostienen la conclusión anterior. Consecuentemente, la absorción de Ca sería un mecanismo más importante que la translocación de Ca, afectando la tolerancia diferencial entre especies y variedades.

Varios investigadores indican la existencia de una interacción Al-Mg en las plantas bajo los efectos tóxicos del Al (McLead y Jackson, 1967; Kerridge, 1969; Lee, 1971). Estos investigadores concluyen que el efecto del Al resulta en una marcada inhibicción de la absorción de Mg, en igual forma que la del Ca. En conclusión, las interacciones entre Al, Ca y Mg parece jugar un importante rol en la disponibilidad de estos nutrimentos para las plantas y también en la eficiencia de absorción para detectar una habilidad diferencial entre especies y variedades.

Mutua competencia entre pares de cationes para entrar en las raíces es comúnmente reportado (Moore *et al.*, 1961, 1964; Lee, 1971). Si el Al es absorbido en una manera similar a otros cationes, competencia entre Al y otros cationes existe (Ali, 1973). Por tanto, es razonable afirmar que el sistema radicular es inhibido debido a una mayor absorción de Al dentro las células meristemáticas. Estp sugiere que especies y va

riedades difieren unas de otras en la manera como el Al es absorbido y concentrado en las células. Esto es, que especies y/o variedades tolerantes a Al tienden a excluir el Al por algún mecanismo fisiológico. A la luz de estos resultados, parece razonable indicar que un aumento del nivel de Al en el medio externo, causa un aumento en la absorción de Al. Sin embargo, la porción de Al absorbido, la cual es transportada a la parte aérea, parece ser mínima. Esto indica que la mayor parte del Al absorbido es retenido en las raíces. Especies y variedades susceptibles a Al parecen acumular elevadas cantidades de Al en sus sistemas radiculares en comparación de especies y variedades tolerantes.

En base a los factores mencionados anteriormente, se puede observar que durante los últimos años diferencias consistentes han sido encontradas entre especies y variedades para tolerar el Al. La mayoría de los resultados y discusiones han enfatizado sobre la reducción radicular y disminución de rendimientos con poca atención a los mecanismos fisiológicos en la nutrición de las plantas. Esto ha determinado que al presente todavía no se conozca exactamente la fisiología de tolerancia a Al.

4.3. Tolerancia de Especies Forrajeras Tropicales a la Toxicidad de Al.

Una estrategia para la producción de ganado de carne en América tropical, es el desarrollo de una tecnología de producción de forrajes en suelos ácidos y de baja fertilidad natural (CIAT, 1978). De aquí, dos componentes de esta estrategia resaltan en la produ-

cción de pasturas y son, el factor suelo (suelo ácido e infértil) y el factor planta (germoplasma forrajero). El principio de esta estrategia es incorporar el factor planta como participante directo en el complejo de infertilidad de los suelos ácidos de América tropical. En muchos casos, la selección de especies forrajeras para suelos ácidos de baja fertilidad natural puede resultar más económica que modificar la fertilidad del suelo ácido para establecer pasturas.

Respecto al factor suelo, durante los últimos años se ha enfatizado el estudio de la distribución geográfica y propiedades de los suelos en América tropical y un resultado de estos estudios es el mapa tentativo presentado por Sánchez y Cochrane (1979). Los Oxisoles y Ultisoles representan los órdenes más extensos, cubriendo el 56% de la superficie de América tropical en las zonas de tierras bajas (0-900 m) y zonas intermedias (900-1800 m). De esta manera, estas áreas constituyen un bloque extenso de tierra, siendo la mayoría potencialmente arable. A pesar de la favorable extensión, localización y topografía de estos suelos, el desarrollo agropecuario en estas áreas presenta ciertas limitaciones. Uno de los principales obstáculos para la producción de cultivos y/o pasturas es la baja fertilidad natural del suelo. La mayoría de los suelos del trópico americano presenta un "complejo de infertilidad", el cual identifica una deficiencia general de varios macro y micronutrimentos, alta acidez y toxicidades de Al y/o Mn (Spain, 1976; Salinas, 1979a).

La toxicidad de Al es uno de los factores prominentes que limita el desarrollo agrícola en la mayoría de estos suelos. Altos niveles de saturación de Al

reducen el crecimiento radicular inhibiendo su elongación y penetración en el suelo y consecuentemente, reduciendo los sitios de absorción de agua y nutrimentos, así como también la utilización de éstos en el subsuelo (Salinas, 1979a; Gualdrón y Spain, 1979). En una segunda fase, el Al obstaculiza la translocación de varios nutrimentos a la parte aérea, los cuales se manifiestan como deficiencias nutricionales principalmente de P, Ca y Mg (Heylar, 1978; Andrew y Vanden Berg, 1973; Salinas, 1978). Todos estos efectos de Al se reflejan en un descenso de la productividad de los cultivos. Otra importante limitación en Oxisoles y Ultisoles de América tropical, es la baja disponibilidad del P nativo para el establecimiento de pastos mejorados, de manera que cantidades considerables de P deben ser añadidas para satisfacer los requerimientos de las plantas (Fenster y León, 1979). Consecuentemente esta situación causa serias limitaciones agroeconómicas debido a los altos costos de fertilizantes fosforados.

Una alternativa para la producción de forrajes en los suelos ácidos e infértiles de América tropical es adaptar la planta a estas limitaciones. En efecto, a medida que progresa la investigación sobre gramíneas y leguminosas forrajeras tropicales, es posible evaluar el grado de tolerancia de diferentes especies o ecotipos, con respecto a la toxicidad de Al y la baja disponibilidad de P en el suelo (CIAT, 1978; Spain, 1979).

Con referencia al factor planta; la evolución de las plantas forrajeras en el trópico ha sido en la mayoría de los casos el resultado de una adaptación natural al ecosistema y a la migración de especies a nuevos ambientes, en los cuales han sido sometidas a otro tipo de presiones, dando lugar a nuevas combinaciones

de caracteres (Mott y Hutton, 1979). Las presiones de selección han sido aquellas impuestas principalmente por el clima, disponibilidad de nutrimentos en el suelo y competencia de otras especies vegetales y consecuentemente, creando una variabilidad considerable en el recurso genético forrajero del trópico. Schultze-Kraft y Giacometti (1979) señalan que, debido a la amplia variabilidad del material genético existente en el trópico, no se justifica en la actualidad un esfuerzo en la hibridización del material vegetal y por el contrario, debería aumentarse la variabilidad genética en aquellos géneros promisorios mediante la recolección de germoplasma nativo en regiones con suelos ácidos e infértiles, que *per se* estaría adaptado a esas condiciones adversas. Sin embargo, bajo condiciones externas adversas, el criterio de adaptación tiene la implicación importante en cuanto se refiere a la supervivencia del material vegetal por una parte, y al potencial de producción como forraje por otra. Además, la capacidad de subsistencia de la planta forrajera al pastoreo y al corte, así como también la calidad del forraje son aspectos muy importantes, ya que al final el producto a desarrollar es una planta para pastoreo. Una vez realizada la recolección del germoplasma forrajero, la caracterización y evaluación cuantitativa del potencial de producción, bajo un rango de condiciones de elevada acidez (toxicidad de Al) y/o disponibilidad de nutrimentos en el suelo, constituyen una etapa importante en el proceso de selección de especies forrajeras promisorias. De esta manera, un mejor conocimiento sobre la respuesta diferencial de especies forrajeras a las limitaciones de suelo mencionadas, puede proporcionar un significativo aporte en la utilización de

extensas áreas de América tropical, lo cual puede determinar una menor inversión en fertilizantes y cal. Esto no implicaría necesariamente la eliminación total de fertilizantes y cal, pero si puede disminuír las tasas de aplicación necesarias para obtener un establecimiento adecuado de la pastura.

Es reconocido el hecho de que algunas especies o variedades son más tolerantes que otras, pero no se conoce qué característica vegetal diferencia entre plantas tolerantes y susceptibles bajo las condiciones que se denominan "adversas". Por esta razón, en la actualidad se considera el grado de productividad de una especie o variedad como un indicador de esa "tolerancia" (Nieman y Shannon, 1976). En base a este criterio, durante la evaluación e interpretación de los resultados de este trabajo, se dió importancia particular al hecho de que especies forrajeras bajo estrés mineral pueden únicamente sobrevivir o producir. Consecuentemente, se visualiza que por lo menos existen cuatro maneras para explicar la tolerancia de estas especies forrajeras a estrés de Al y/o P: 1) La habilidad de una planta para sobrevivir en suelos ácidos infértiles; 2) La producción relativa de la planta obtenida a diferentes grados de acidez y fertilidad del suelo, comparado con la producción obtenida bajo condiciones de acidez nula (ausencia de Al) y alta fertilidad (alta dosis de P); y 4) La producción relativa de la planta, obtenida a diferentes grados de acidez y fertilidad del suelo en relación a la producción máxima obtenida. Este último criterio difiere del tercero en el sentido de que no todas las especies o variedades desarrollan su máxima productividad bajo condiciones de acidez nula y alta fertilidad.

Por otra parte, se consideró que solamente la habilidad de una gramínea forrajera para sobrevivir en suelos ácidos infértiles no tendría valor si la producción es baja, por tanto, la producción absoluta indicaría el potencial de una especie forrajera para producir en condiciones adversas del suelo. De aquí, rendimientos relativos y absolutos fueron considerados como criterios útiles para interpretar la respuesta diferencial de las gramíneas a estrés de Al y/o P en el Oxisol de Carimagua (Salinas y Delgadillo, 1980).

Considerando el rendimiento relativo, se estimó que una producción de materia seca que no excedió al 50% de su rendimiento máximo, es determinante de la condición de "supervivencia" o "producción relativa baja". Cuando el rendimiento relativo estuvo entre 50 y 80% de ese máximo, se consideró a la gramínea en condición de "producción relativa media" y finalmente, por encima del 80% del rendimiento máximo, en condición de "producción relativa alta" bajo estrés de Al y/o P. El límite inferior se fijó en un 50%, con el criterio de que la reducción del potencial de producción de una especie a un 50% o menos tiene una implicación de supervivencia y no de productividad. Criterio bastante empleado en toxicología biológica (Matsumura, 1976; Liener, 1969; Lal, 1979). Finalmente, el límite superior se fijó en 80%, debido a que en la mayoría de los casos por encima de este porcentaje, la tasa de incremento en producción de materia seca por unidad de insumo aplicado (cal y/o fósforo) fue relativamente baja.

La respuesta diferencial de ocho gramíneas forrajeras es ilustrada en las Figuras 14, 15, 16. En ausencia de cal y P (92% Sat. Al y 1,6 ppm P) las gramíneas mostraron diferencias marcadas. *Brachiaria humidicola*

682 y *Andropogon gayanus* 621 produjeron más del 50% de su rendimiento máximo, mientras el resto de las gramíneas mostraron 40% o menos de sus rendimientos máximos. El primer juego de histogramas muestra *per se* el orden de las gramíneas que ilustra la amplia diferencia entre ellas para tolerar condiciones adversas de Al y P. Cuando el nivel de P fue incrementado, pero manteniendo el mismo porcentaje de saturación de Al, todas las gramíneas aumentaron su rendimiento. *Hyparrhenia rufa* 601 y *Melinis minutiflora* 608 alcanzaron el 50% de rendimiento con el primer incremento de P y *Brachiaria decumbens* con el segundo incremento de P.

Con la adición de media tonelada de cal/ha, la mayoría de las especies mostraron un incremento en producción de materia seca (Fig. 15). Resultados similares fueron notados al añadir 1 ton cal/ha (Fig. 16). Estos resultados indican que la respuesta de las gramíneas tolerantes a Al, es principalmente relativa a requerimientos de Ca y Mg más que un efecto de encalado. Cuando la toxicidad de Al fue eliminada con la aplicación de 5 ton cal/ha (Fig. 17), las ocho gramíneas forrajeras sobrepasaron más del 50% de sus rendimientos en los niveles bajos de P. Sin embargo, cuando el fertilizante fosforado fué incrementado, la mayoría de las gramíneas mostraron una reducción en sus rendimientos, lo cual probablemente esté relacionado con algún desbalance nutricional debido a las dosis elevadas de cal y P aplicadas.

Los resultados con leguminosas forrajeras se presentan en las figuras 18, 19, 20, 21. A pesar de existir marcadas variaciones entre especies en respuesta a las aplicaciones de Cal y P, en general los resultados siguen en forma similar al de las gramíneas.

4.4. Toxicidad de Manganeso

Otro de los factores limitantes para el crecimiento de las plantas forrajeras en suelos ácidos constituye la toxicidad de Mn. El efecto tóxico de Mn generalmente ocurre a pH del suelo inferior a 5.5. Sin embargo, en suelos inundados o compactados, el exceso de Mn puede limitar el crecimiento de las plantas a pH 6.0 o mayor (Siman et al., 1974). Bajo condiciones de aireación pobre, el Mn es reducido a la forma bivalente, la cual es disponible para las plantas (Foy, 1976). Consecuentemente, la toxicidad de Mn puede ocurrir a valores de pH similares a la toxicidad de Al asi como también a valores de pH que son demasiado altos para que el Al sea soluble en concentraciones tóxicas. La absorción de Mn depende mayormente de la actividad de Mn bivalente en la solución del suelo y es dependiente de la presencia de Mn fácilmente reducible en el suelo (Pearson, 1975).

Contrariamente al efecto tóxico del Al en las plantas, el Mn no parece afectar directamente el sistema radicular, pero puede reducir su crecimiento indirectamente al afectar la parte aérea. Un exceso de Mn produce síntomas más definidos que el Al en la parte aérea y el grado de toxicidad está relacionado a su acumulación en la parte aérea y no en las raíces (Foy, 1976). La toxicidad de Mn está caracterizada por una clorosis marginal y una distorción de las hojas jóvenes asociada con acumulación localizada de Mn en el tejido foliar. (Foy, 1977; Wiamis et al., 1973). Una toxicidad severa de Mn ocasiona que el sistema radicular se torne café pero, usualmente, solo después que el follaje ha sido afectado. En muchos casos, clorosis intervenal ha sido observada y este efecto ha sido explicado en el sentido de que el Mn induce una deficiencia de Fe (Hewitt, 1963).

4.5. Mecanismos de Tolerancia a la Toxicidad de Manganeso.

Existen varios trabajos que indican una variabilidad en la tolerancia de especies y variedades a la toxicidad de Mn. (Foy, 1975). Sin embargo, al igual que la tolerancia a Al, dentro de cada especie existen ecotipos con mayor tolerancia que otros. Esto indica que en el estudio de adaptabilidad o tolerancia a niveles tóxicos de Mn, debería enfatizarse a nivel de ecotipo o accesión y no de especie, puesto que la susceptibilidad de una especie no significa la eliminación de ésta por el hecho de tener variedades que son tolerantes a estres de Mn. Por otra parte, una planta tolerante a toxicidad de Mn no necesariamente resulta ser tolerante a Al (Jackson, 1967). Sin embargo, existen casos que algunas plantas son tolerantes o susceptibles a ambos, Al y Mn, mientras que otras muestran tolerancias opuestas a un exceso de los dos elementos (Foy, 1976).

Respecto a los posibles mecanismos de tolerancia a Mn, algunas plantas parecen escapar de los efectos tóxicos de Mn por medio de una menor absorción, o por medio de una retención de Mn en el sistema radicular, o en otras partes de la planta, donde es física o químicamente separado de los sitios metabólicos importantes (Foy, 1976).

El desarrollo de un mecanismo de exclusión de Mn para evitar toxicidad de Mn tiene problemas inherentes debido a que determina si la planta es más tolerable a toxicidad pero más susceptible a deficiencia. Sin embargo, existe evidencia que la tolerancia a Mn está asociada algunas veces con bajas tasas de absorción de Mn (Lohnis, 1951; Vose y Randall, 1962) y grandes dife

rencias en acumulación de Mn por varias especies en la parte aérea (Jackson, 1967). Tolerancia a Mn en algunas especies ha sido atribuída a baja absorción de Mn y tal reducción se atribuye a un incremento del pH externo o a una oxidación de Mn de la forma bivalente a tetravalente en la zona de interfase raíz-suelo. Esto indica que la menor absorción de Mn y por ende una mayor tolerancia, puede atribuírse a propiedades del sistema radicular al tener un mayor poder de oxidación. Algunas plantas restringen el transporte de Mn de las raíces a la parte aérea (Ouellette and Dessureaux, 1958). Esto probablemente se debe a una deposición de exceso de Mn en los vacuolos de las células radiculares. Sin embargo, existen grandes diferencias entre especies y variedades en los niveles de Mn acumulados en la parte aérea (Helyar, 1978). Esto enfatiza el hecho de que mecanismos de tolerancia en la parte aérea también operan. Generalmente, la tolerancia diferencial en la parte aérea es explicada por una resistencia a la acumulación elevada de Mn en tejido joven (Foy, 1976).

4.6. Tolerancia de Especies Forrajeras Tropicales a la Toxicidad de Mn.

Existen varios trabajos de investigación que muestran una tolerancia diferencial entre especies forrajeras a la toxicidad de Mn. En general, parece que las leguminosas son más sensibles que las gramíneas (Hewitt, 1963; Lohnis, 1951). Algunas leguminosas forrajeras del trópico han recibido atención durante la última década en cuanto a la tolerancia del exceso de manganeso en el suelo y el orden relativo de esta tolerancia en 9 especies estudiadas se presenta en el Cuadro 4 . Souto y Doberciner (1969) encontraron resultados similares en

Brazil con un orden relativo de tolerancia siguiente: *Centrosema pubescens*> *Stylosanthes gracilis*> *Glycine javanica Macroptilum atropurpureum*. De estos resultados se concluye que *centrosema pubescens* es bastante tolerante a la toxicidad del manganeso. Sin embargo, observaciones visuales en CIAT-Quilichao en una colección de ecotipos de *centrosema* parecen indicar que entre ecotipos de la misma especie existen diferencias significativas en el grado de tolerancia al Mn tóxico.

Datos de Andrew y Hegarty (1969) muestran que las deficiencias en especies forrajeras para tolerar exceso de Mn son debidas en parte a la acumulación de este elemento en la parte aérea de las plantas de manera que los niveles críticos internos de Mn varian entre especies. Algunos de los resultados (Cuadro 5) muestran que especies leguminosas forrajeras tales como *centrosema pubescens*, *Stylosanthes humilis y Lotononis bainesii*, que son considerados como tolerantes, presentan niveles criticos internos de Mn bastante altos (>1000 ppm-Mn) mientras que leguminosas susceptibles tales como: *Leucaena leucocephala*, *Glycine wightii*, *Macroptilum atropurpureum*, *y Medicago sativa* tienen un nivel critico bastante bajo (<600 ppm). Generalmente, las concentraciones de Mn en las raíces son mayores que la parte aérea, sin embargo la relación de Mn (Mn en raíces a Mn en la parte aérea) varía entre especies. Por ejemplo, en *Stylosanthes humilis* las relaciones de Mn fueron superiores que las de *Macroptilium atropurpureum* a cualquier nivel externo de Mn (Andrew y Hegarty, 1969). De aquí, la primera leguminosa retuvo proporcionalmente más Mn en su sistema radicular que la segunda leguminosa. De lo

mencionado, parece que por lo menos 3 mecanismos fisiológicos, determinan que especies forrajeras sean tolerantes a la toxicidad de Mn. Primero, resistencia de la parte aérea a una cantidad dada de Mn externo (producción de materia seca), Segundo, una retención proporcionalmente alta de Mn en el sistema radicular y finalmente una reducida absorción de Mn.

5. LITERATURA CITADA

Abbot, J.B., S.D. Conner, and H.R. Smalley. 1913. Soil acidity, nitrification and the toxicity of soluble salts of aluminum. Ind. Agr. Exp. Sta. Bul. 170.

Abruña, F., J. Vicente-Chandler, R.W. Pearson, and S. Silva. 1970. Crop response to soil acidity factors in Ultisols and Oxisols-Tobacco. Soil Sci. Soc. Amer. Proc. 34: 629-635.

Abruña, F., R.W. Pearson, and R. Perez-Escolar. 1974. Lime response of corn and beans grown on tropical Oxisols and Ultisols of Puerto Rico. pp. 261-282. In E. Bornemisza and A. Alvarado (eds.) Soil Management in Tropical America. North Carolina State University, Raleigh.

Adams, F. 1974. Soil Solution. In E.W. Carson (ed.) The Plant Root and Its Environment. University Press of Virginia, Charlottesville. pp. 441-481.

Adams, F., and Z.F. Lund. 1966. Effect of chemical activity of soil aluminum on cotton root penetration of acid subsoil. Soil Sci. 101: 193-198.

Adams, F., and R.W. Pearson. 1970. Differential response of cotton and peanuts to subsoil acidity. Agron. J. 62: 9-12.

Ali, M.E. 1973. Influence of cations on aluminum toxicity in wheat (Triticum aestivam (Vill.) Host). Ph.D. Thesis, Oregon State University, Corvallis.

Andrew, C.S. 1960. The effect of phosphorus, potassium, and calcium on the growth, chemical composition, and systems of deficiency of white clover in a subtropical environment. Aust. J. Agric. Res. 11: 149-161.

Andrew, C.S. 1977. The effect of sulphur on the growth, sulphur and nitrogen concentration, and critical sulphur concentrations of some tropical and temperate pasture legumes. Aust. J. Agric. Res. 28: 807-820.

Andrew, C.S. y Robins, M.F. 1969. The effect of phosphorus on the growth, chemical composition and critical phosphorus percentages of some tropical pasture grasses. Aust. J. Agric. Res. 22: 693-703.

Andrew, C. S. and M. P. Hegarty. 1969. Comparative response to manganese excess of eight tropical and five temperate pasture legume species. Aust. J. Agric. Res. 20: 687-696.

Andrew, C.S. and P.J. Vanden-Berg. 1973. The influence of aluminum on phosphate adsorption by whole plants and excised roots of some pasture legumes. Aust. J. Agric. Res. 24: 341-351.

Andrew, C.S. and I.F. Fergus. 1976. Plant nutrition and soil fertility. pp. 101-133. In Shaw, N.H. and W.W. Bryan (ed.) Tropical Pasture Research, Principles and Methods. CSIRO, Brisbane, Australia.

Armiger, W.H., C.D. Foy, A.L. Fleming, and B.E. Caldwell. 1968. Differential tolerance of soybean varieties to an acid soil high in exchangeable aluminum. Agron. J. 60: 67-70.

Bhumbla, D.R. and E.D. McLean. 1965. Aluminum in soils. VI. Changes in pH-dependent acidity, cation-exchange capacity, and extractable aluminum with additions of lime to acid surface soils. Soil Sci. Soc. Amer. Proc. 29: 370-374.

Brams, E.A. 1971. Continuous cultivation of west African soils. Organic matter diminution and effects of applied lime and phosphorus. Plant Soil 35: 401-414.

Brenes, E. and R.B. Pearson. 1973. Root responses of three gramineae species to soil acidity in an Oxisol and Ultisol. Soil Sci. 116: 295-302.

Bryan, W.W. and. T.R. Evans. 1973. Effects of soils, fertilizers and stocking rates on pastures and beef production on the Wallum of South-Eastern Queensland. I. Botanical composition and chemical effects on plant and soils. Aust. J. Exp. Agric. Anim. Husb. 13: 516-529.

Cate, R.B. Jr. and L.A. Nelson. 1971. A simple statistical procedure for partitioning soil test correlation data into two classes. Soil Sci. Soc. Amer. Proc. 35: 658-659.

Cate, R.B., Jr. and A.P. Sukhai. 1964. A study of aluminum in rice soils. Soil Sci. 98: 85-93.

Centro Internacional de Agricultura Tropical. 1978. Informe Anual 1977. Programa de Ganado de Carne. CIAT, Cali, Colombia.

Centro Internacional de Agricultura Tropical. 1979. Informe Anual 1978. Programa de Ganado de Carne. CIAT, Cali, Colombia.

Centro Internacional de Agricultura Tropical. 1980. Informe Anual 1979. Programa de Pastos Tropicales. CIAT, Cali, Colombia. (En prensa).

Clarkson, D.T. 1965. The effect of aluminum in some other trivalent cations on cell division in root apices of allium cepa. Ann. Bot. (London) N.S. 28: 309-315.

Clarkson, D.T. 1966. Effect of aluminum on the uptake and metabolism of phosphorus by barley seedlings. Plant Physiology 41: 165-172.

Clarkson, D.T. 1967. Phosphorus supply and growth rate in species of Agrostis L. Jour. ecology 55: 111-118.

Clarkson, D.T. 1969. Metabolic aspects of aluminum toxicity and some possible mechanisms for resistance. pp. 381-397. In I.H. Rorison (ed.) Ecological Aspects of the Mineral Nutrition of Plants. Brit. Ecol. Soc. Symp. No.9. Blackwell Sci. Pub., Oxford.

Clarkson, D.T. 1971. Inhibition of uptake and long distance transport of calcium by aluminum and other polyvalent cations. J. Exp. Bot. 22: 837-851.

Clarkson, D.T., and J. Sanderson. 1969. The uptake of a polyvalent cation and its distribution in the root apices of allium cepa: Tracer and autoradiographic studies. Planta 89: 136-154.

Cochrane, T.T., J.G. Salinas and P.A. Sánchez. 1980. An equation for liming acid mineral soils to compensate Al tolerance. Tropical Agriculture 59: 133-140.

Coleman, N.T. and G.W. Thomas. 1967. The basic chemistry of soil acidity. pp. 1-41. In R.W. Pearson and F. Adams (eds.), Soil Acidity and Liming. Series of Agronomy No.12, American Society of Agronomy, Madison.

Crafts, A.S. and C.E. Crisp. 1971. Phloem transport in plants. W.H. Freeman and Co., San Francisco, California.

Devine, T.E., C.D. Foy, A.L. Fleming, C.H. Hanson, T.A. Campbell, J.E. McMurtrey III, and J.W. Schwartz. 1976. Development of alfalfa strains with differential tolerance to aluminum toxicity. Plant Soil 44: 73-79.

DeWaard, P.W.F., and C.D. Sutton. 1960. Toxicity of aluminum to black pepper in Sarawak. Nature 188: 1129-1130.

Donald, N. 1963. Competition among crop and pasture plants. Adv. Agron. 15: 1-118.

Eagles, C.F. 1972. Competition for light and nutrients between natural populations of Dactylis glomerata. J. Appl. Ecol. 9: 141-151.

Evans, C.E. and E.J. Kamprath. 1970. Lime response as related to percent Al saturation, solution Al, and organic matter content. Soil Sci. Soc. Amer. Proc. 34: 893-896.

Fenster, W.E. y L.A. León. 1979. Manejo de la fertilización con fósforo para el establecimiento y mantenimiento de pastos mejorados en suelos ácidos e infértiles de América Tropical. p. 119-133. In L.E. Tergas y P.A. Sánchez (eds.), Producción de Pastos en Suelos Acidos de los Trópicos. Centro Internacional de Agricultura Tropical, Cali, Colombia.

Fleming, A.L., and C.D. Foy. 1968. Root structure reflects differential aluminum tolerance in wheat varieties. Agron. J. 60: 172-176.

Fox, R.L., S.K. DeDatta, and G.D. Sherman. 1962. Phosphorus solubility and availability to plants and aluminum status of Hawaiian soils as influenced by liming. pp. 574-583. In Trans. Comm. IV and V, Int. Soc. Soil. Sci. New Zealand.

Foy, C.D. 1974. Effects of aluminum on plant growth. pp. 602-642. In E.W. Carson (ed.) The Plant Root and Its Environment. University Press of Virginia.

Foy, C.D. 1975. Plant adaptation to mineral stresses in problem soils (mimeographed). Paper presented at the Annual Northeastern Regional Grassland Council Meeting, Blackwater Falls. West Virginia. 15 p.

Foy, C.D. 1976. Differential aluminum and manganese tolerances of plant species and varieties in acid soils. Ciencia e Cultura 28 (2): 150-155.

Foy, C.D. 1977. General principles involved in screening plants for aluminum and manganese tolerance. pp. 255-267. In M.J. Wright (ed.) Plant Adaptation to Mineral Stress in Problem Soils. Cornell University, Ithaca, New York.

Foy, C.D., and J.C. Brown. 1963. Toxic factors on acid soils. I. Characterization of aluminum toxicity in cotton. Soil Sci. Soc. Amer. Proc. 27: 403-407.

Foy, C.D., and J.C. Brown. 1964. Toxic factors in acid soils. II. Differential aluminum tolerance of plant species. Soil Sci. Soc. Amer. Proc. 28: 27-32.

Freitas, F.G. de, and C.O. da Silveira. 1977. Principais solos sob vegetação de cerrado e sua aptidão agricola. pp. 155-209. In M.G. Ferri (Coord.) Simposio sobre o Cerrado. IV. Ed. Itatiaia, Lta. São Paulo, Brazil.

Gonzalez-Erico, E. 1976. Effect of depth of lime incorporation on the growth of corn in Oxisols of Central Brazil. Ph.D. Thesis, North Carolina State University, Raleigh. 126 pp.

Gray, B., M. Drake, and W. Colby. 1953. Potassium competition in grass-legume associations as a function of root cation exchange capacity. Soil Sci. Soc. Amer. Proc. 17.

Gualdrón, R. y J.M. Spain. 1979. Calcio y magnesio. Ocurrencia y magnitud de los problemas en suelos ácidos. VI Coloquio de Suelos, Sociedad Colombiana de la Ciencia del Suelo. Palmira, Colombia. 23 p.

Hall, R.L. 1974. Analysis of the nature of interference between plants of different species. I. Concepts and extension of the DeWitt Analysis to examine effects. Aust. J. Agric. Res. 25: 739-747.

Heylar, K.R. 1978. Effects of aluminum and manganese toxicities on legume growth. p. 207-231. In S.C. Andrew and E.J. Kamprath (eds.), Mineral Nutrition of Legumes in Tropical and Subtropical Soils. Commonwealth Scientific and Industrial Research Organization, Melbourne, Australia.

Kamprath, E.J. and C.D. Foy. 1971. Lime-fertilizer-plant interactions in acid soils. pp. 105-151. In R.A. Olsen et al., (eds.) Fertilizer technology and use. Second edition. Soil Sci. Soc. Am., Madison, Wisconsin.

Kerridge, P.C. 1969. Aluminum toxicity in wheat (Triticum aestivum Vill., Host.), Ph.D. Thesis, Oregon State University, Corvallis.

Kerridge, P.C., and W.E. Kronstad. 1968. Evidence of genetic resistance to aluminum toxicity in wheat (Triticum aestivum Vill., Host). Agron. J. 60: 710-711.

Kerridge, P.C., M.D. Dawson, and P.D. Moore. 1971. Separation of degrees of aluminum tolerance in wheat. Agron. J. 63: 586-591.

Keser, M., F.B. Neubauer, F.E. Hutchinson, and D.B. Verrill. 1977. Differential aluminum tolerance of sugar beet cultivars as evidence by anatomical structure. Agron. J. 69: 347-350.

King, J. 1971. Competition between established and newly sown grass species. J. Br. Grassl. Soc. 26: 221-229.

Klimashevskii, E.L. and Bereyovskii, K.K. 1973. Genetic resistance to ionic toxicity in the root zone. Soviet plant Physiology. 20: 51-54 (Eng. trans.).

Lafever, H.N., L.G. Campbell, and C.D. Foy. 1977. Differential response of wheat cultivars to aluminum. Agrn. J. 69: 563-568.

Lal, R. 1979. Erosion as a constraint to food production in the tropics. Soil Constraints Conference, IRRI, Los Baños, Filipinas.

Lance, J.C. and R.W. Pearson. 1969. Effects of low concentration of aluminum on growth and water and nutrient uptake by cotton roots. Soil Sci. Soc. Amer. Proc. 33: 95-98.

Lee, C.R. 1971. Influence of aluminum on plant growth and mineral nutrition of potatoes. Agron. J. 63: 604-608.

Liener, I.E. 1969. Introduction. p. 1-5. In I.E. Liener (ed.), Toxic Constituents of Plant Food Stuffs. Academic Press, New York.

Lin, C. and N.T. Coleman. 1960. The measurement of exchangeable aluminum in soils and clays. Soil Sci. Soc. Am. Proc. 24: 444-446.

Lohnis, M.P. 1951. Manganese toxicity in field and market garden crops. Plant Soil 3: 193-222.

Lopes, A.S., and F.R. Cox. 1977. A survey of the fertility status of surface soils under "Cerrado" vegetation in Brazil. Soil Sci. Soc. Amer. Proc. 41: 742-747.

Magistad, O.C. 1925. The aluminum content of the soil solution and its relation to soil reaction and plant growth. Soil Sci. 20: 181-226.

Martin, J.B. 1961. Interrelationships of calcium and aluminum in turf species used for highways. Ph.D. Thesis, Virginia Polytechnic Institute, Blackburg University.

Matsumura, F. 1976. Toxicology of insecticides. Plenum Press, New York. 503 p.

McCormick, L.H. and F.Y. Borden. 1974. The occurrence of aluminum-phosphate precipitate in plant roots. Soil Sci. Soc. Amer. Proc. 38: 931-934.

McCart, G.D. and E.J. Kamprath. 1965. Supplying Ca and Mg for cotton on sandy, low cation exchange capacity soils. Agron. J. 57: 404-406.

McLean, E.D. 1976. Chemistry of soil aluminum. Comm. Soil Sci. Plant Anal. 7: 619-636.

McLead, L.B. and L.P. Jackson. 1967. Aluminum tolerance of two barley varieties in nutrient solution, pea, and soil culture. Agron. Jour. 59: 359-363.

Moore, D.P., W.E. Kronstand and R.J. Metzger. 1977. Screening wheat for aluminum tolerance. pp. 287-295. In M.J.Wright (ed.), Plant Adaptation to Mineral Stress in Problem Soils. Cornell University, Ithaca, New York.

Moore, D.P., L. Jacobson, and R. Overstrect. 1961. Uptake of calcium by excessing barley roots. Plant Physiol. 36: 53-57.

Mott, G.O. and E.M. Hutton. 1979. Estrategias para la colección y el mejoramiento de plantas forrajeras. p. 1-4. In G.O. Mott y A. Jiménez (eds.), Manual para la Colección, Preservación y Caracterización de Recursos Forrajeros Tropicales. Centro Internacional de Agricultura Tropical, Cali, Colombia.

Munns, D.N. 1965. Soil acidity and the growth of a legume. III. Interactions of lime and phosphate in growth of Medicago sativa L. in relation to aluminum toxicity and phosphate fixation. Aust. J. Agr. Res. 16: 757-766.

Nieman, R.H. and M.C. Shannon. 1976. Screening plants for salinity tolerance. p. 359-367. In M.J. Wright (ed.), Plant Adaptation to Mineral Stress in Problem Soils. Cornell University, Ithaca, New York.

Nye, P., D. Craig, N.T. Coleman and J.L. Ragland. 1961. Ion exchange equilibria involving aluminum. Soil Sci. Soc. Amer. Proc. 25: 14-17.

Olmos, I.L.L. and M.N. Camargo. 1976. Ocorrencia de aluminio tóxico nos solos do Brasil, sua caracterização e distribução. Ciencia e Cultura 28 (2): 171-180.

Ouellete, G.J., and L. Dessureaux. 1958. Chemical composition of alfalfa as related to degree of tolerance to manganese and aluminum. Can. J. Plant Sci. 38: 206-214.

Patterson, J.W. 1965. The effect of aluminum on the absorption and translocation of calcium and other elements in young corn. Ph.D. Thesis, Pensylvania State University.

Pearson, R.W. 1975. Soil acidity and liming in the humid tropics. Cornell Intr. Agric. Bull. No. 30. Cornell University. 66 pp.

Popenoe, H. 1960. Some soil cation relationships in an area of shifting cultivation in the humid tropics. 7th Inter. Cong. Soil Sci. Proc. 11: 303-311.

Ragland, J.L. 1959. Some reactions of aluminum in acid soils and their implications concerning root growth. Ph.D. Thesis, North Carolina State University, Raleigh. 140 pp.

Randall, P.J. and P.B. Vose. 1963. Effect of aluminum on uptake and translocation of phosphorus-32 by perennial ryegrass. Plant Physiology 38: 403-409.

Raupach, M. 1963. Solubility of simple aluminum compounds expected in soils. II. Hydolysis and conductance of Al^{+3}. Aust. J. Soil Sci. 1: 36-45.

Rees, W.J., and G.H. Sidrak. 1961. Plant nutrition on fly ash. Plant Soil 8: 141-159.

Rees, M.C., and D.J. Minsen. 1977. The influence of supplements on the voluntary intake and digestibility of feed -an alternative to fertilizer. pp. 165-178. In, Blair, G.J. (ed.) Prospects for Improving the Efficiency of Phosphorus Utilization. Armidale, England.

Reid, D.A., A.L. Fleming, and C.D. Foy. 1971. A method for determining aluminum response of barley in nutrient solution in comparison to response in Al-toxic soil. Agron. J. 63: 600-603.

Ritchey, K.D. 1979. Potassium fertility in Oxisols and Ultisols of the humid tropics. Cornell Int. Agric. Bull. No. 37. Cornell Univ., Ithaca, New York. 45 pp.

Rhue, R.D., and C.O. Grogan. 1977. Screening corn for aluminum tolerance. In M.J. Wright (ed.) Plant Adaptation to Mineral Stress in Problem Soils. Cornell University, Ithaca, New York. pp. 297-310.

Salinas, J.G. 1978. Differential response of some cereal and bean cultivars to Al and P stress in an Oxisol of central Brazil. Ph.D. Thesis. North Carolina State University, Raleigh, 326 pp.

Salinas, J.G. 1979. Adaptación de plantas a toxicidas de aluminio y manganeso en suelos ácidos. Sociedad Colombiana de la Ciencia del Suelo. Bogotá, Colombia. 31 p.

Salinas, J.G., J.F. Sanz y R. García. 1980. ~~Manual de~~ sintomatología de deficiencia y toxicidades minerales en gramíneas y leguminosas forrajeras tropicales. Centro Internacional de Agricultura Tropical, Programa de Pastos Tropicales. Cali, Colombia. (En preparación).

Sánchez, P.A. and T.T. Cochrane. 1979. Soil constraints in relation to major farming systems of tropical America. Soil constraints Conference, IRRI, Los Baños, Filipinas (In press).

Sampson, M., D. Clarkson, and D.D. Davies. 1965. DNA synthesis in aluminum-treated roots of barley. Science 148: 1.476-1.477.

Sartain, J.B., and E.J. Kamprath. 1975. Effect of liming a highly Al-saturated soil on the top and root growth and soybean nodulation. Agron. J. 67: 507-510.

Siman, A., F.W. Cradock, and A.W. Hudson. 1974. The development of manganese toxicity in pasture legumes under extreme climatic conditions. Plant Soil 41: 129-140.

Soarez, W.V., E. Lobato, E. Gonzalez, e G. Naderman, Jr. 1975. Encalado de los suelos del Cerrado Brasilero. pp. 287-303. In E. Bornemisza y A. Alvarado (eds.) Manejo de Suelos en la América Tropical. North Carolina State University, Raleigh.

Souto, C.H., and J. Döbereiner. 1969. Manganese toxicity in tropical forage legumes. Parq. Agropec. Bras. 4: 129-138.

Schultze-Kraft, R. y D.C. Giacometti. 1979. Recursos genéticos de leguminosas forrajeras para las sabanas de suelos ácidos e infértiles en América tropical. p. 59-69. In L.E. Tergas y P.A. Sánchez (eds.), Producción de Pastos en Suelos Acidos de los Trópicos. Centro Internacional de Agricultura Tropical, Cali, Colombia.

Smith, F.W. 1978. Role of plant chemistry in the diagnosis of nutrient disorders in tropical legumes. pp. 329-346. In C.S. Andrew and E.J. Kampratt (eds.) Mineral Nutrition of Legumes in Tropical and Subtropical Soils. CSIRO, Melbourne, Australia.

Snayden, R.W. 1971. An analysis of the competition between plants of Trifolium repens L. populations collected from contrasting soils. J. Appl. Ecol. 7: 687-697.

Spain, J.M. 1976. Field studies on tolerance of plant species and cultivars to acid soil conditions in Colombia. p. 213-222. In M.J. Wright (ed.), Plant Adaptation to Mineral Stress in Problem Soils. Cornell University, Ithaca, New York.

Spain, J.M. 1977. Field studies on tolerance of plant species and cultivars to soil conditions. pp. 213-222. In M. J. Wright (ed.) Plant adaptation to mineral stress in problem soils. Cornell University, Ithaca, New York.

Spain, J.M. 1979. Establecimiento y manejo de pastos en los Llanos Orientales de Colombia. p. 181-189. In L.E.Tergas y P.A. Sánchez (eds.), Producción de Pastos en Suelos Acidos de los Trópicos. Centro Internacional de Agricultura Tropical, Cali, Colombia.

Spain, J.M., C.A. Francis, R.H. Howeler, and F. Calvo. 1975. Differential species and varietal tolerance to soil acidity in tropical crops and pastures. pp. 308-329. In E. Bornemisza and A. Alvarado (eds.) Soil Management in Tropical America. North Carolina State University, Raleigh.

Spain, J.M., C. Castilla y L.H. Franco. 1979. El uso eficiente de recursos e insumos en el establecimiento y mantenimiento de pastos tropicales. pp. 65-84 In Memorias del 2° Encuentro Nacional de Zootecnia. Conferencia Nacional sobre Utilización de Recursos Forrajeros para la Producción de Ganado Bovino en Colombia, CIAT, Cali, Colombia.

Swanson, E.R. 1963. The static theory of the firm and three laws of plant growth. Soil Sci. 95: 338-343.

Tisdale, S.L. and W.L. Nelson. 1966. Soil fertility and fertilizers. The MacMillan Company, New York. pp. 427-428, 519-521.

Ulrich, A. 1952. Physiological bases for assessing the nutritional requirements of plants. Ann. Rev. Plant Physiol. 3: 207-228.

Veitch, F.D. 1904. Comparison of methods for the estimation of soil acidity. J. Amer. Chem. Soc. 10: 637.

Vose, P.B., and P.J. Randall. 1962. Resistance to aluminum and manganese toxicities in plant related to variety and cation exchange capacity. Nature 196: 85-86.

Waugh, D.L., R.B. Cate Jr., y L.A. Nelson. 1973. Métodos discontinuos para la rápida correlación, interpretación y utilización de los datos de análisis de suelos y las respuestas a los fertilizantes. Boletín Técnico No.7. Series ISFEI, North Carolina State University, Raleigh.

Waugh, D.L., R.B. Cate Jr., L.A. Nelson y A. Manzano. 1974. Nuevos conceptos en la interpretación biológica y económica de la respuesta a los fertilizantes. In Manejo de Suelos en América Tropical. Consorcio de Universidades de Suelos Tropicales, North Carolina State University, Raleigh.

Cuadro 1. Concentraciones críticas internas de P, K y S para algunas leguminosas forrajeras tropicales (muestreadas en el estado de prefloración).

Especie	P[a/]	K[b/]	S[c/]
	----------%---------		
Macroptilium atropurpureum	0,24	0,75	0,17
Macroptilium lathyroides	0,20	0,75	0,15
Stylosanthes humilis	0,17	0,60	0,14
Centrosema pubescens	0,16	0,75	0,14
Glycine wightii	0,23	0,80	0,17
Lotononis bainesii	0,17	0,90	0,15
Desmodium uncinatum	0,23	0,80	0,17
Desmodium intortum	0,22	0,72	0,17

a/ Andrew y Robins (1969a)

b/ Andrew y Robins (1969b)

c/ Andrew (1977).

Cuadro 2. Niveles críticos internos de fósforo de especies forrajeras asociadas con rendimientos máximos.

Especie forrajera	P parte aérea
	%
Leguminosas:	
Stylosanthes humilis	0,17[1]
Centrosema pubescens	0,16[1]
Desmodium intortum	0,22[1]
Glycine wightii	0,23[1]
Medicago sativa	0,25[1]
Gramíneas:	
Melinis minutiflora	0,18[1]
Panicum maximum	0,19[1]
Pennisetum clandestinum	0,22[1]
Chloris gayana	0,23[1]
Paspalum dilatatum	0,25[1]
Andropogon gayanus	0,11[2]
Brachiaria decumbens	0,12[2]

Fuente: [1] Andrew y Robins (1969, 1971)
[2] CIAT (1978).

Cuadro 3. Niveles críticos externos de fósforo de varias especies forrajeras tropicales.

Especie	P disponible en el suelo*
	ppm
Leguminosas:	
Stylosanthes capitata CIAT 1978	2,5
Stylosanthes capitata CIAT 1019	3,1
Stylosanthes capitata CIAT 1097	3,3
Stylosanthes capitata CIAT 1338	3,6
Stylosanthes guianensis CIAT 1200	2,5
Stylosanthes guianensis CIAT 1153	5,5
Desmodium ovalifolium CIAT 350	6,6
Desmodium scorpiurus CIAT 3022	8,0
Desmodium gyroides CIAT 3001	11,4
Zornia sp. CIAT 883	3,4
Macroptilium sp. CIAT 536	9,5
Gramíneas:	
Panicum maximum	10,0
Brachiaria decumbens	7,0
Andropogon gayanus	5,0

* P disponible (Bray-II) asociado con 60-80% de rendimiento máximo.

Fuente: CIAT, Informe Anual (1977-1978).

Cuadro 4. Respuesta diferencial de 9 leguminosas forrajeras tropicales a la toxicidad de Manganeso.

Leguminosa	Coeficiente de Regresión	Rango de Tolerancia
Centrosema pubescens	-0.0023	1 Tolerante
Stylosanthes humilis	-0.0038	2
Lotononis bainesii	-0.0039	3
Macroptilium lathyroides	-0.0066	4
Leucaena leucocephala	-0.0077	5
Desmodium uncinatum	-0.0080	6
Medicago sativa	-0.0102	7
Glycine javanica	-0.0128	8
Macroptilium atropurpureum	-0.0159	9 Susceptible

* Coeficientes de regresión obtenidos de la producción de materia seca de cada leguminosa en varios niveles tóxicos de manganeso.

FUENTE: Andrew y Hegarty (1969).

Cuadro 5 . Niveles críticos internos de manganeso de especies forrajeras asociados con máximo rendimiento.

Especie forrajera	Concentración de Mn en parte áerea
	ppm
Centrosema pubescens	1600
Stylosanthes humilis	1140
Lotononis barnesii	1320
Desmodium uncinatum	1160
Macroptilium lathyroides	840
Leucaena leucocephala	550
Glycini wightii	560
Macroptilium atroporpureum	810
Medicago sativa	380

FUENTE: Andrew y Hegarty (1969)

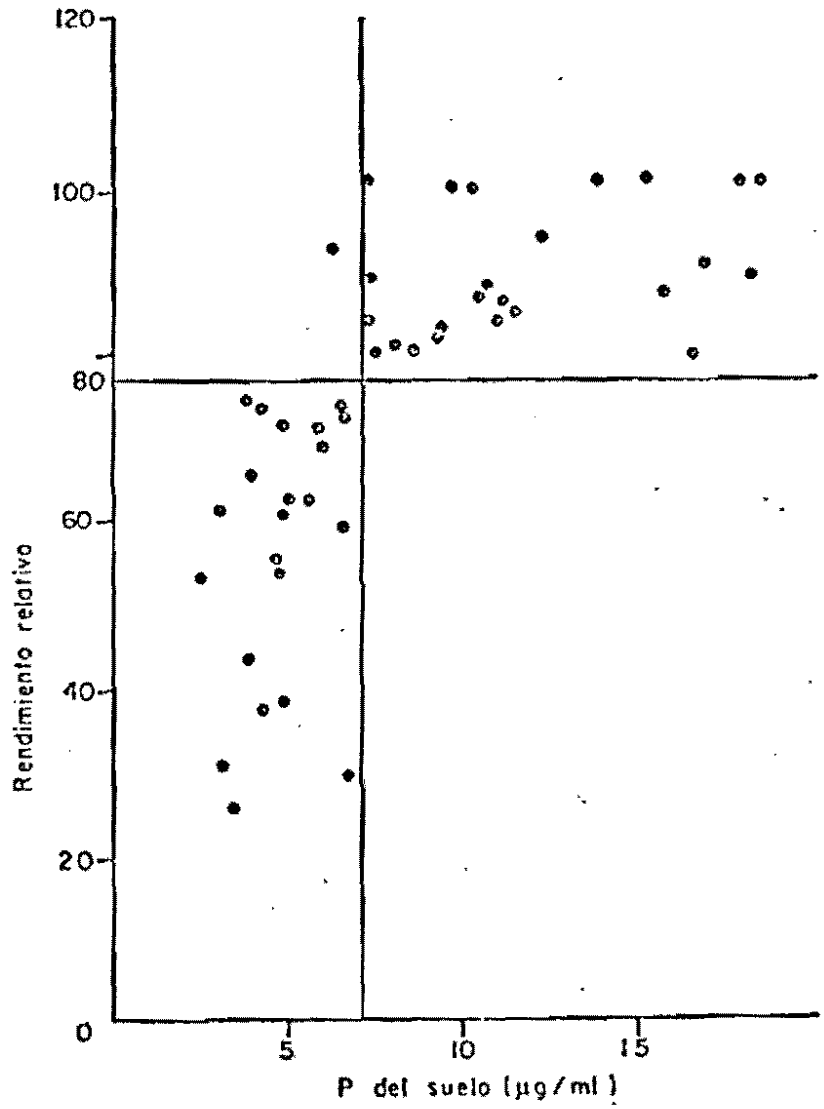


Figura 1. Diagrama de dispersión entre rendimiento relativo y fósforo en el suelo. Fuente: Waugh *et al.* (1973).

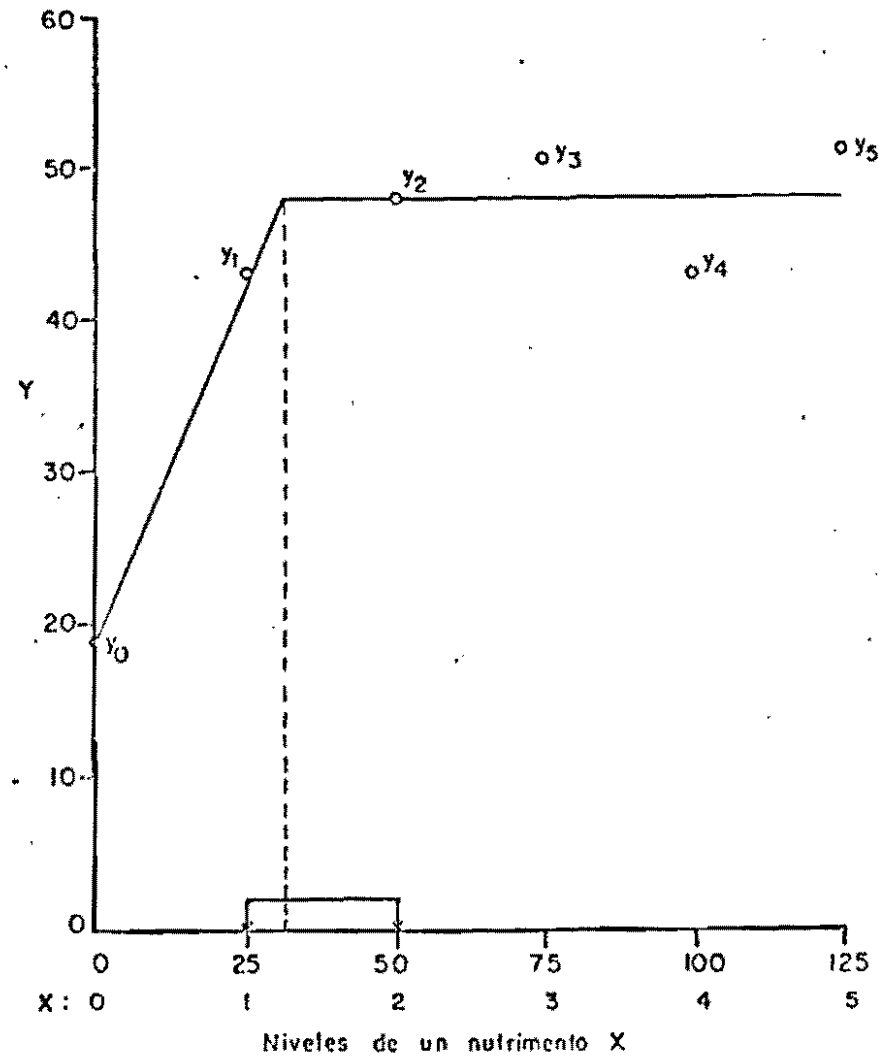


Figura 2. Representación gráfica en la cual dos puntos y_0 y y_1 determinan la pendiente.

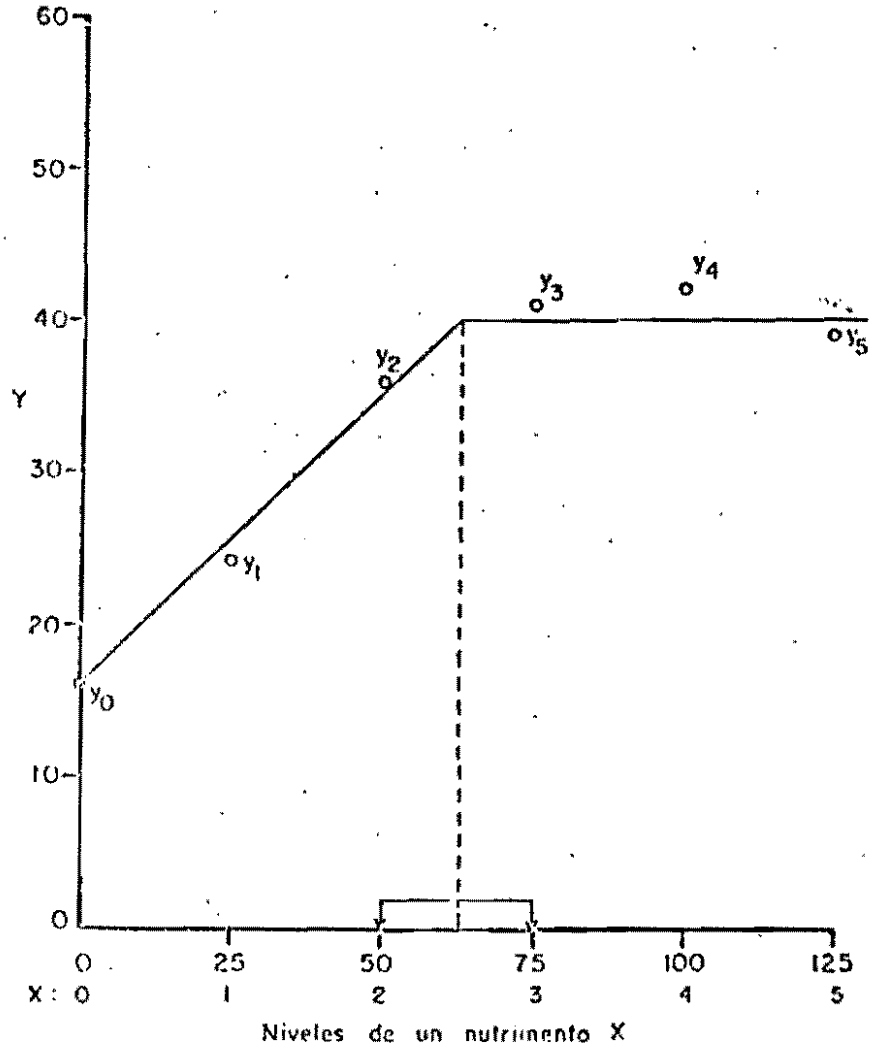


Figura 3. Representación gráfica en la cual tres puntos y_0, y_1 y y_2 determinan la pendiente.

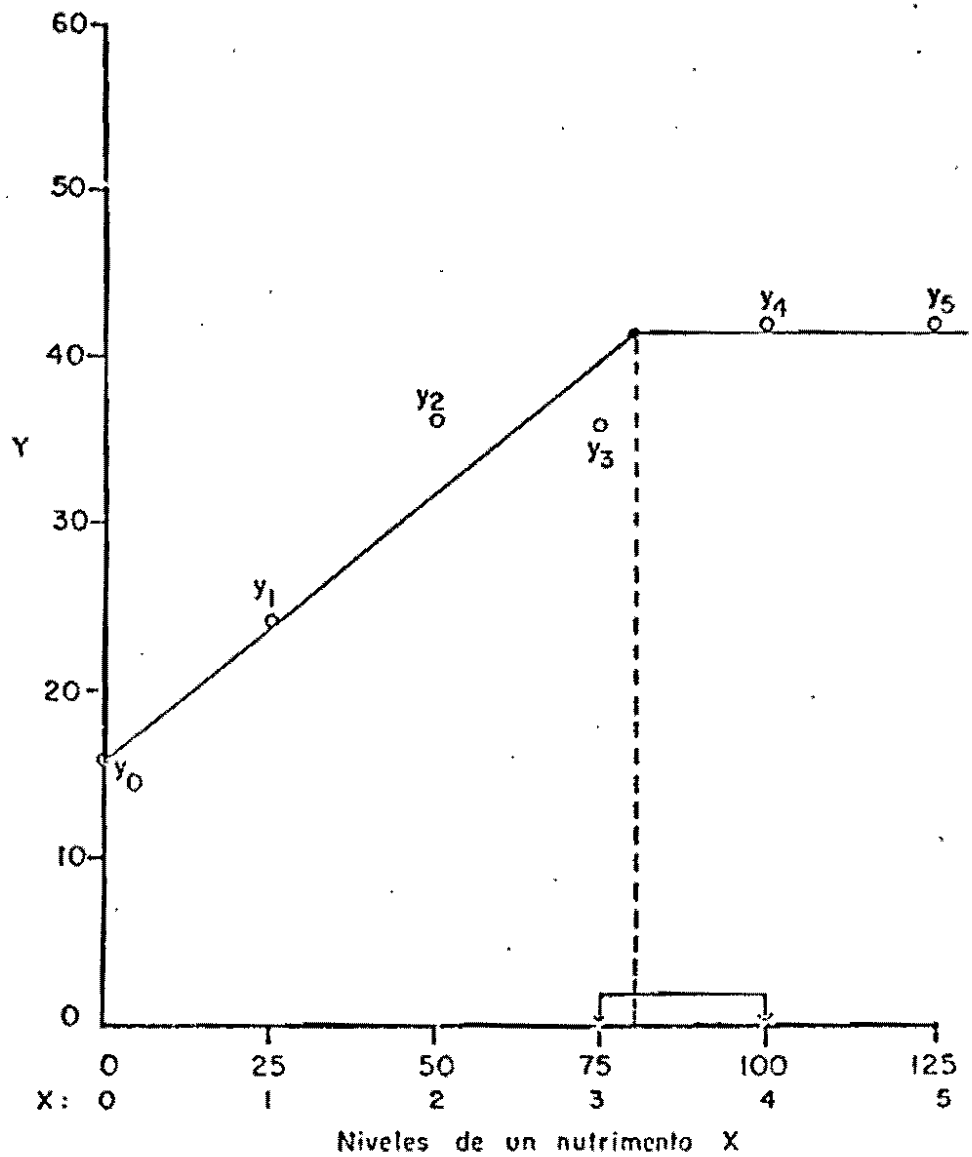


Figura 4. Representación gráfica en la cual cuatro puntos y_0, y_1, y_2,y_3 determinan la pendiente..

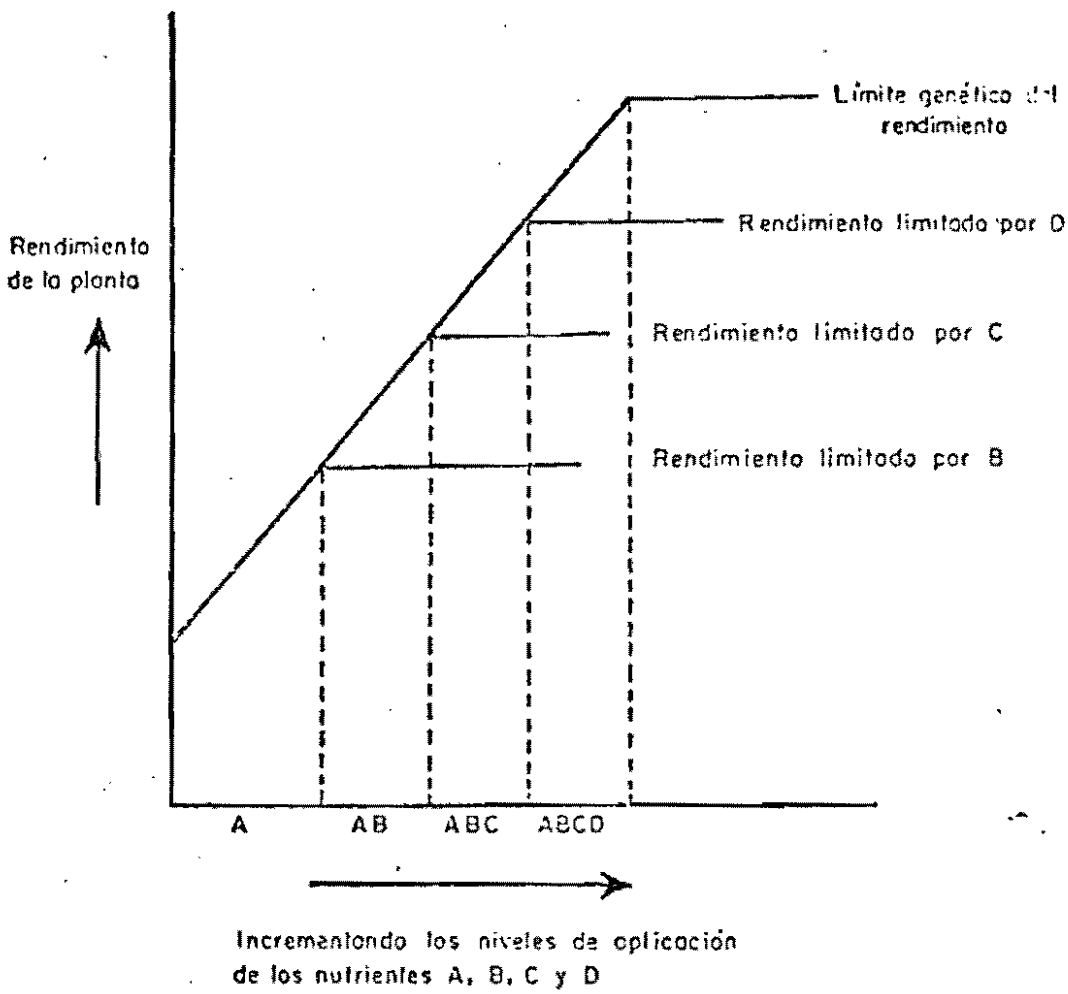


Figura 5. El modelo discontinuo rectilíneo teniendo como base la Ley del Mínimo de Liebig. Fuente: Waugh *et al.* (1974).

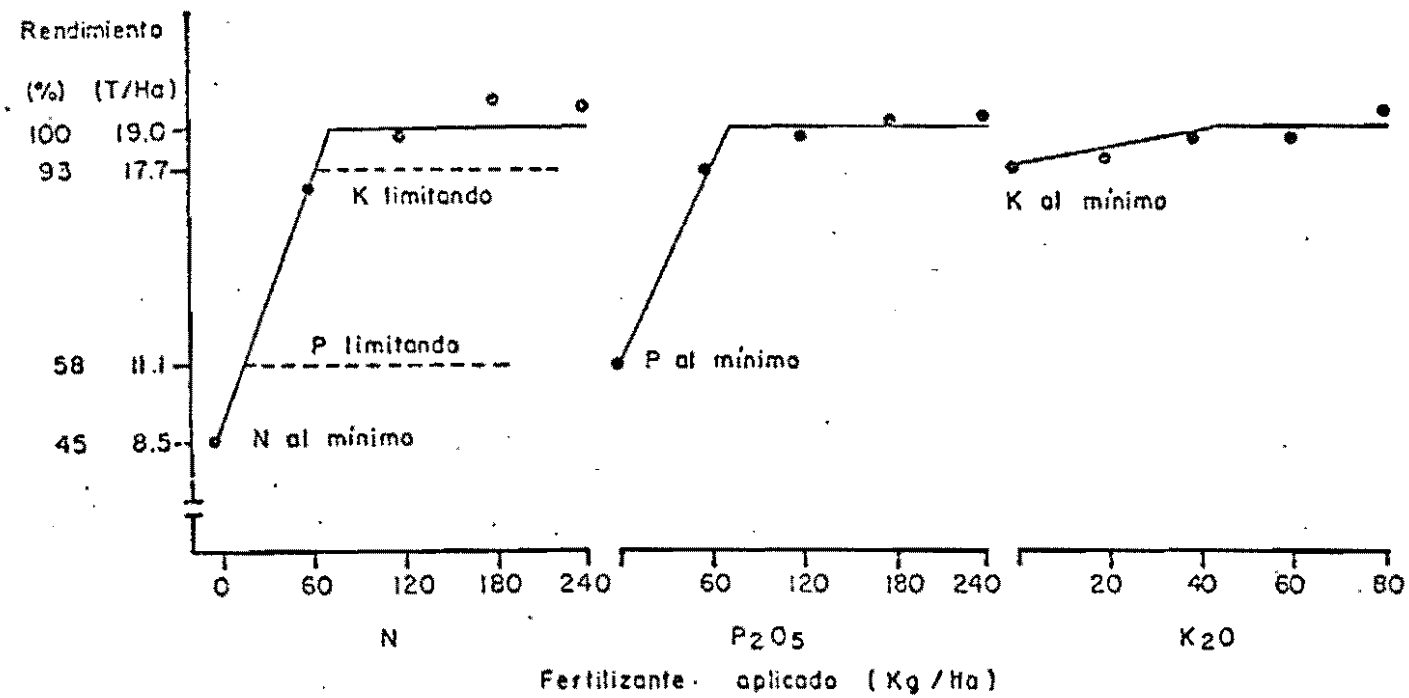


Figura 6. Interpretación de la respuesta a múltiples nutrimentos, mediante una combinación de modelos discontinuos rectilíneos de nutrimentos individuales. Fuente: Waugh *et al.* (1973).

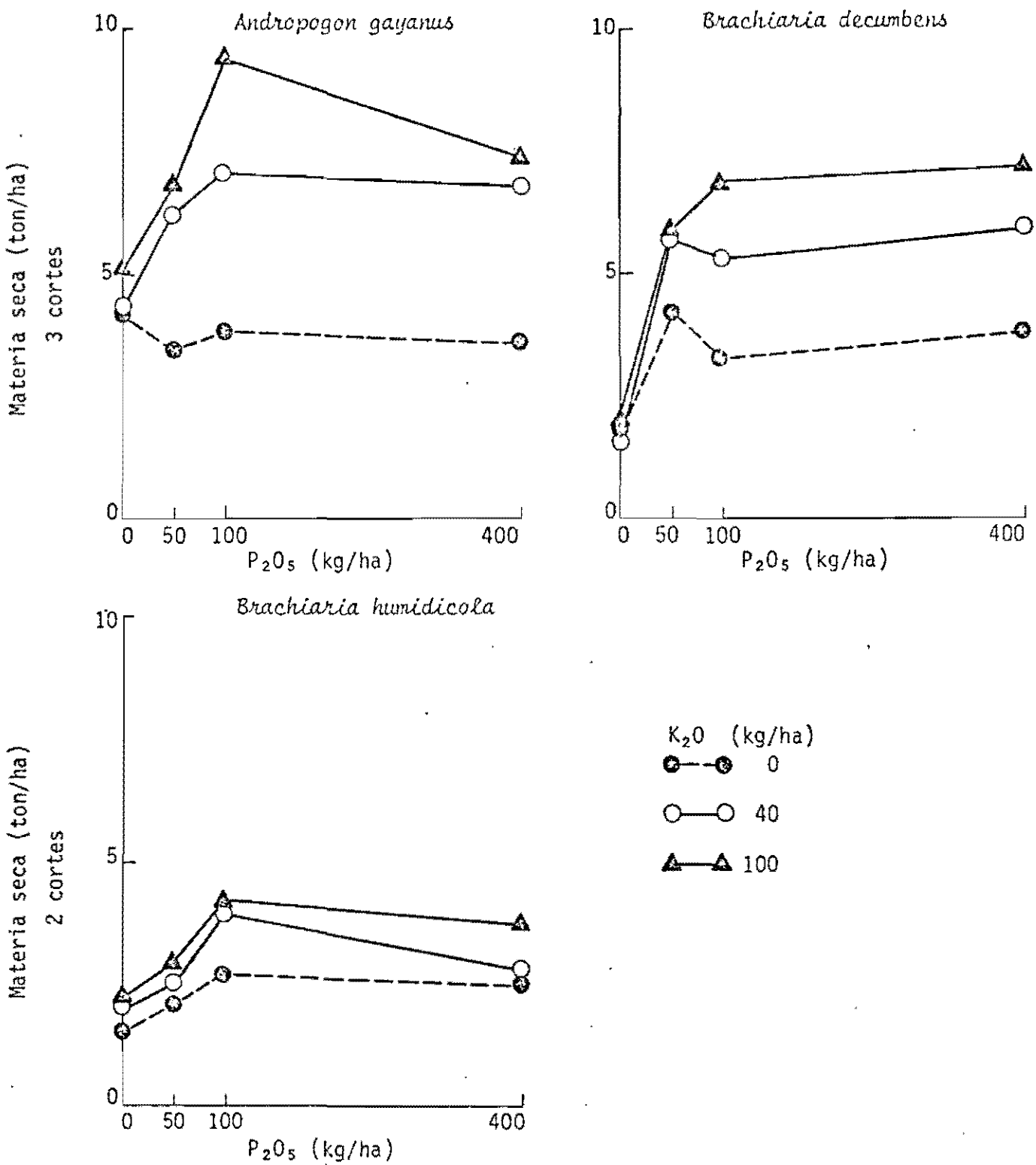


Figura 7. Respuesta de tres gramíneas forrajeras tropicales a la interacción de P y K en un Oxisol de Carimagua (CIAT, 1980).

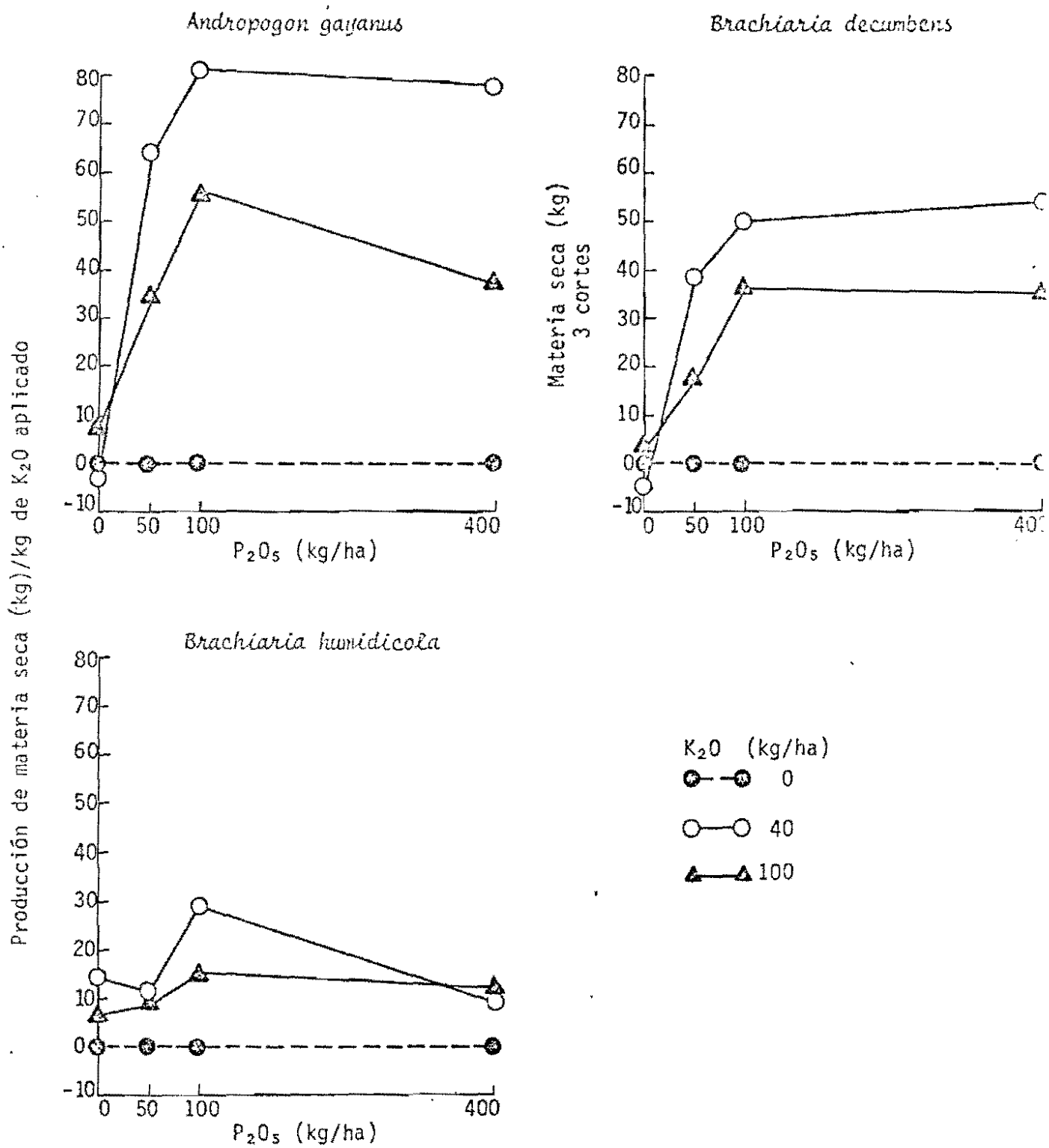


Figura 8. Eficiencia de producción de materia seca de tres gramíneas forrajeras tropicales por cada kg de K_2O aplicado a diferentes niveles de aplicación de fósforo en un Oxisol de Carimagua. Fuente: CIAT (1980).

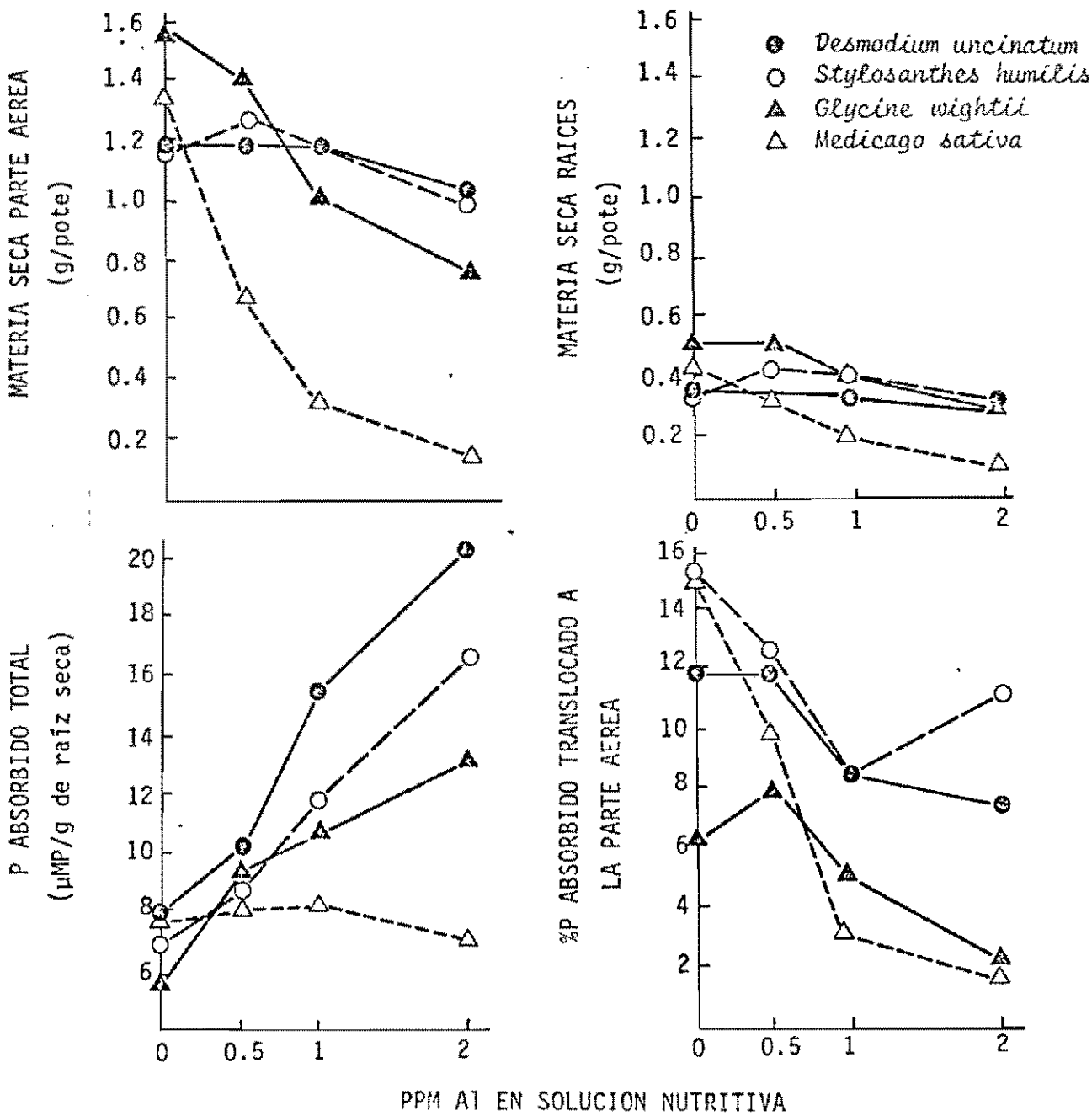


FIGURA 9. Efecto del aluminio en el crecimiento, tasa de absorción de P y tasa de translocación de P de 4 leguminosas forrajeras.
Adaptado de Andrew y Vanden Berg (1973).

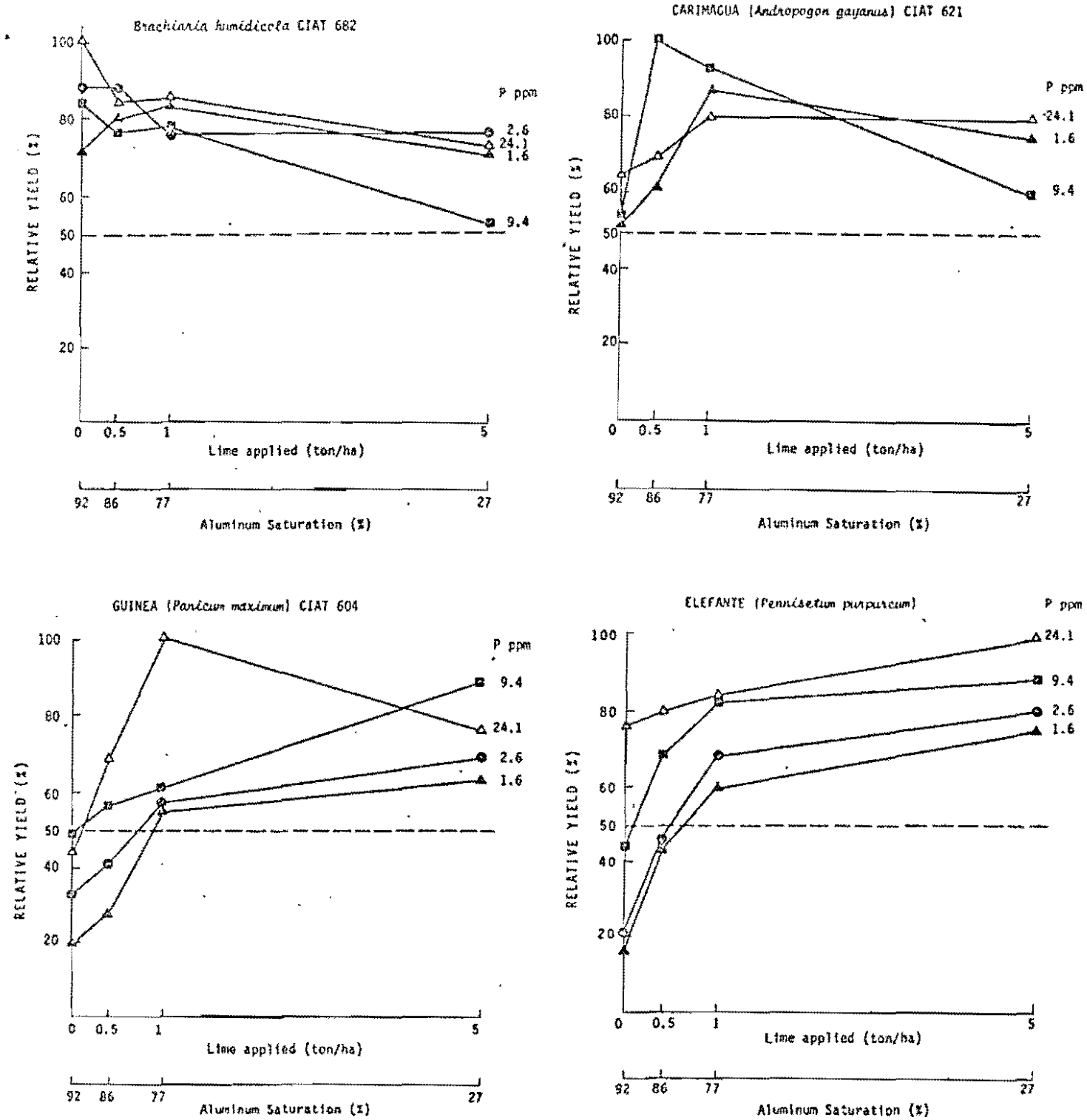


Figura 10. Respuesta diferencial de 4 gramíneas forrajeras tropicales a la interacción de cal y fósforo aplicados a un Oxisol de Carimagua. Fuente: CIAT (1979).

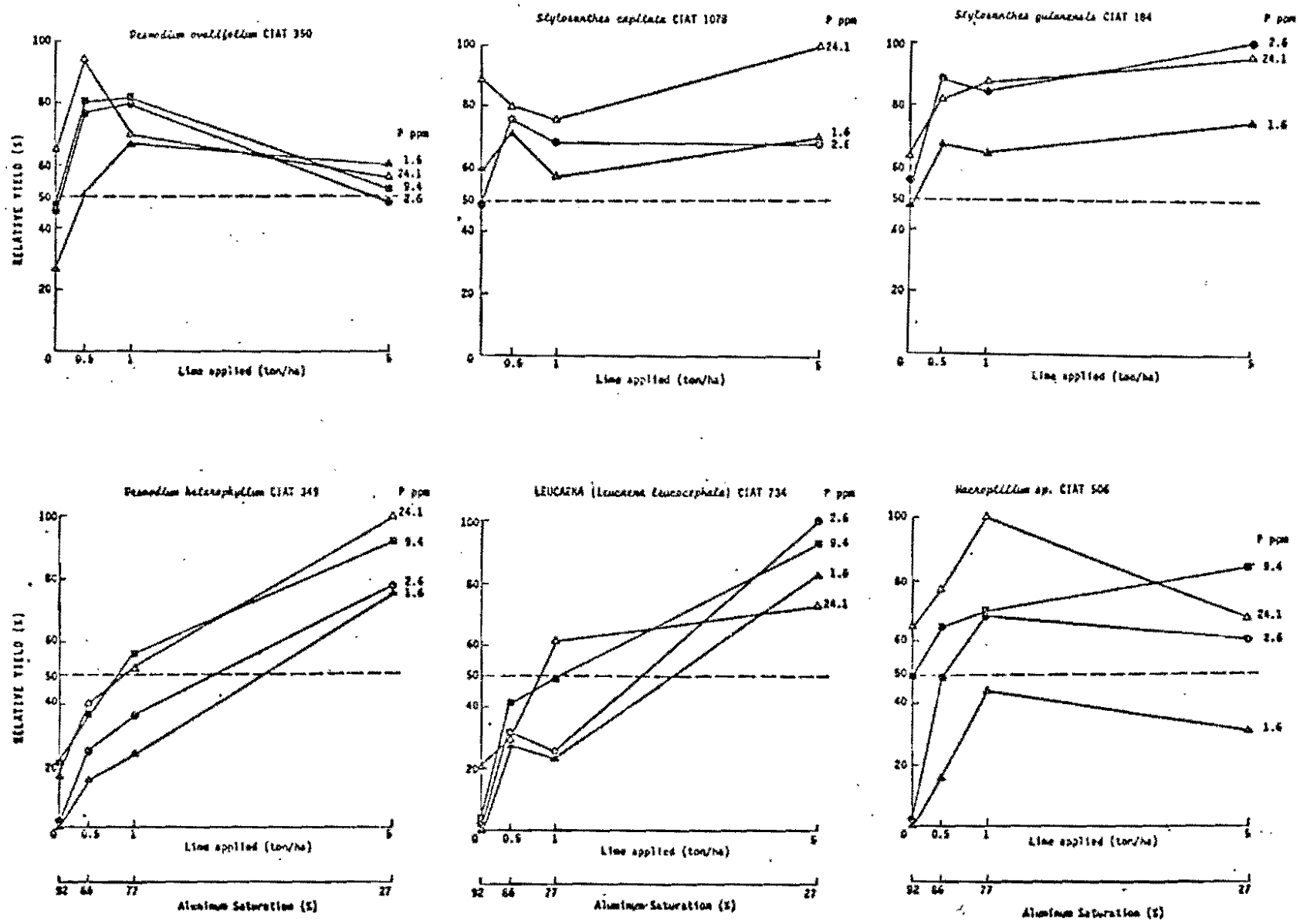


Figura 11. Respuesta diferencial de 6 leguminosas forrajeras tropicales a la interacción de cal y P aplicados a un Oxisol de Carimagua. Fuente: CIAT (1979).

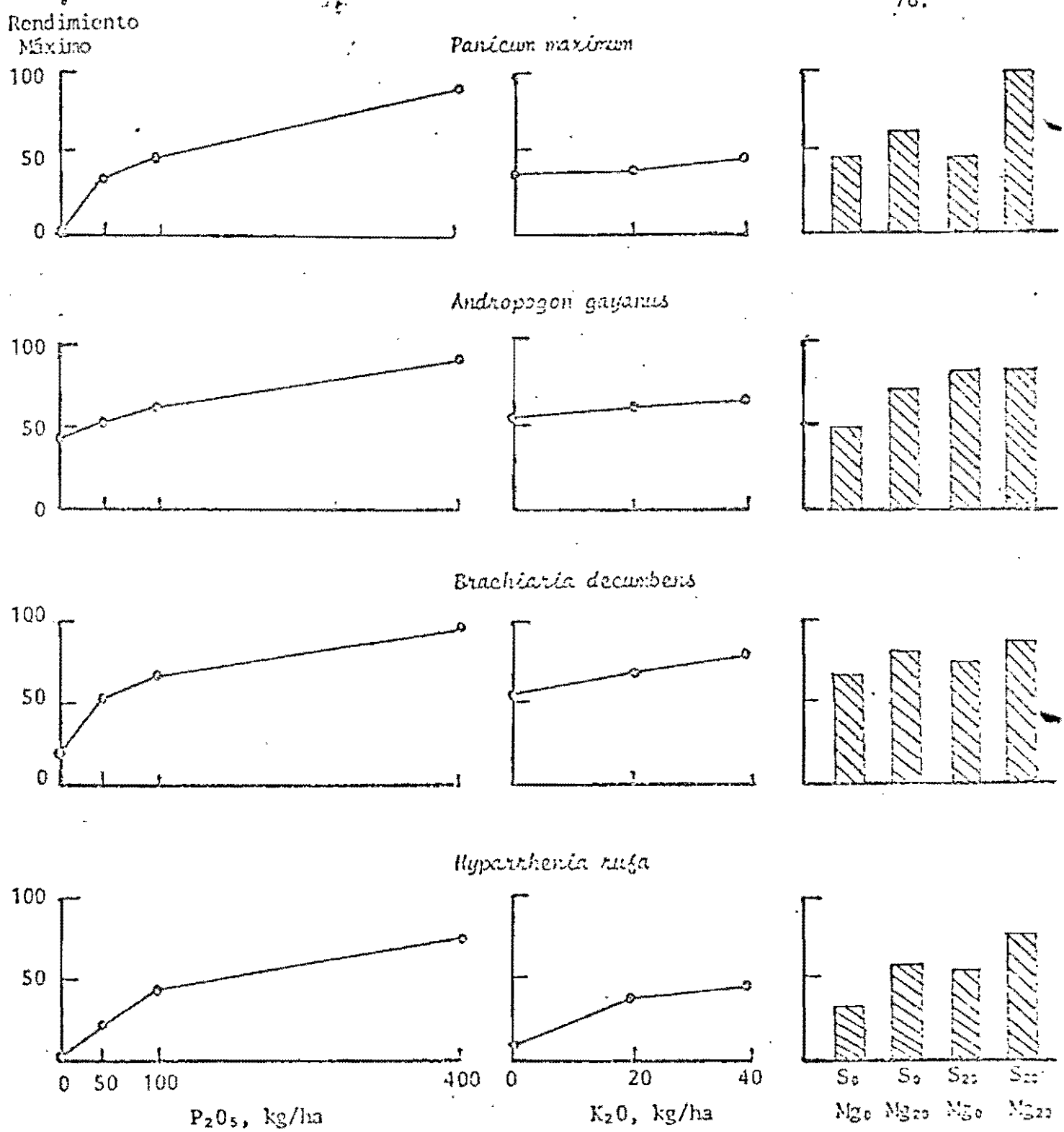


Figura 12. Respuesta de cuatro gramíneas a la aplicación de fósforo, potasio, magnesio y azufre, en un Oxisol de Carimagua. Los rendimientos de materia seca representan promedios de tres y cuatro cosechas, durante el primer año después del establecimiento. Fuente: CIAT (1978).

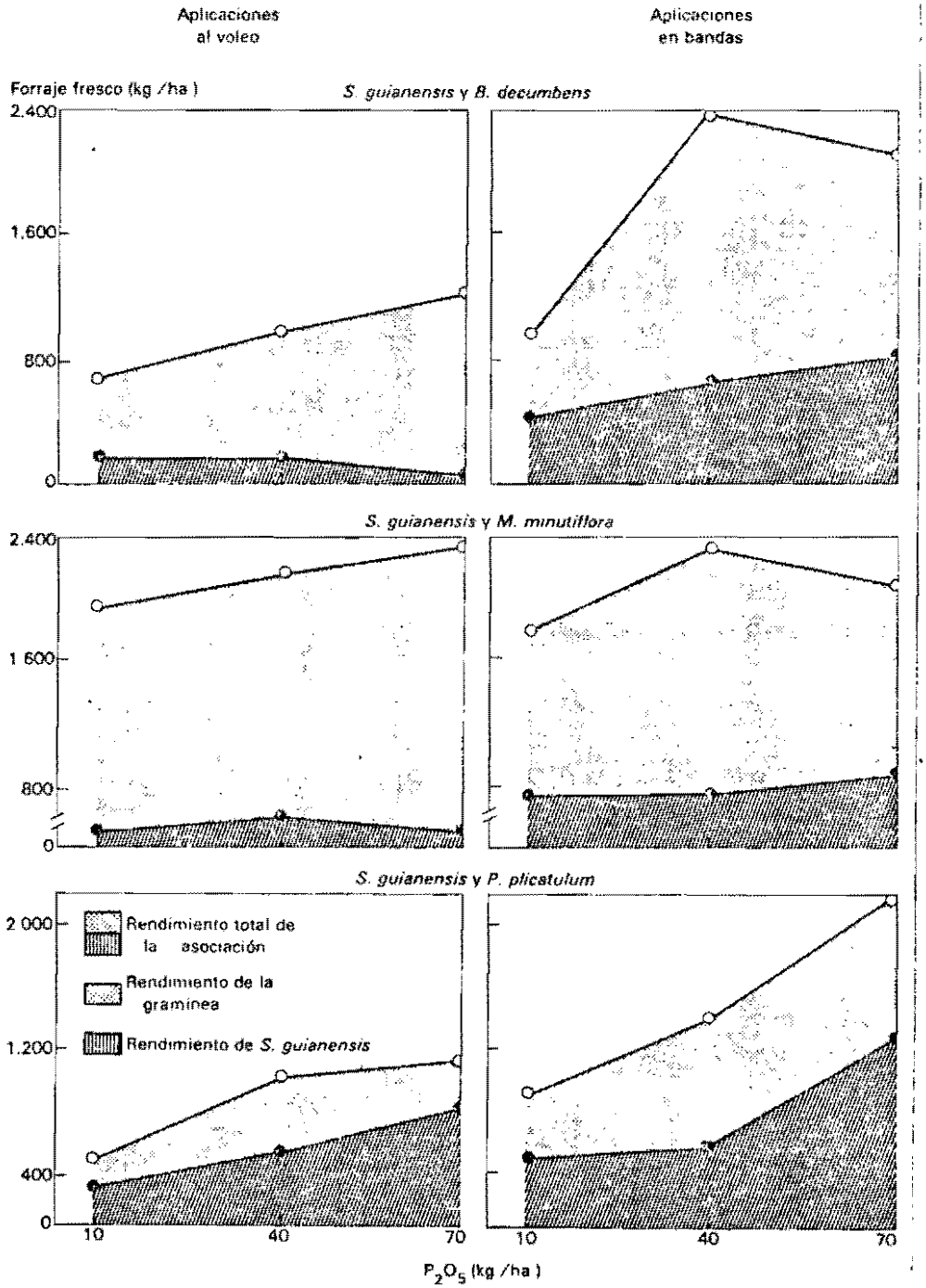
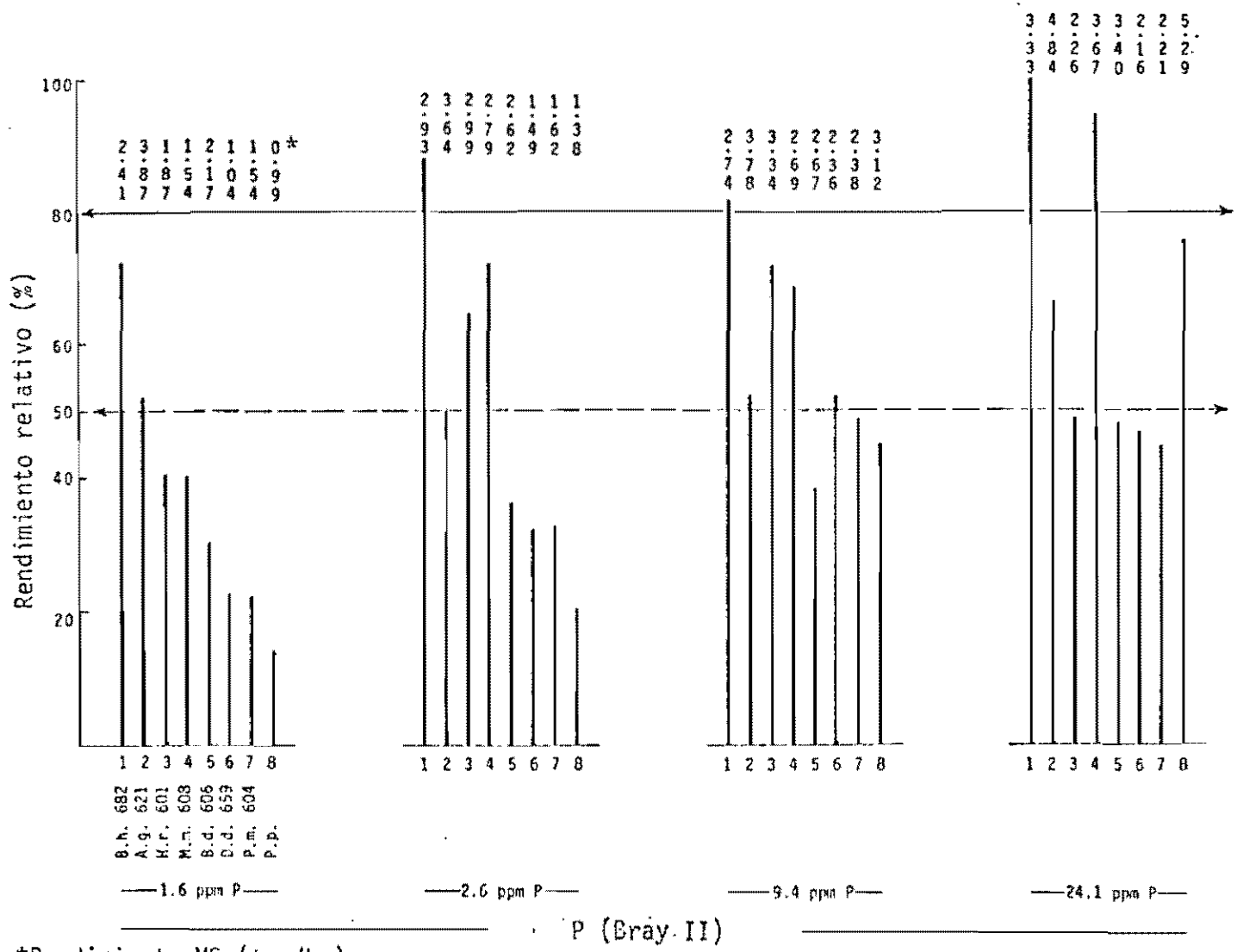


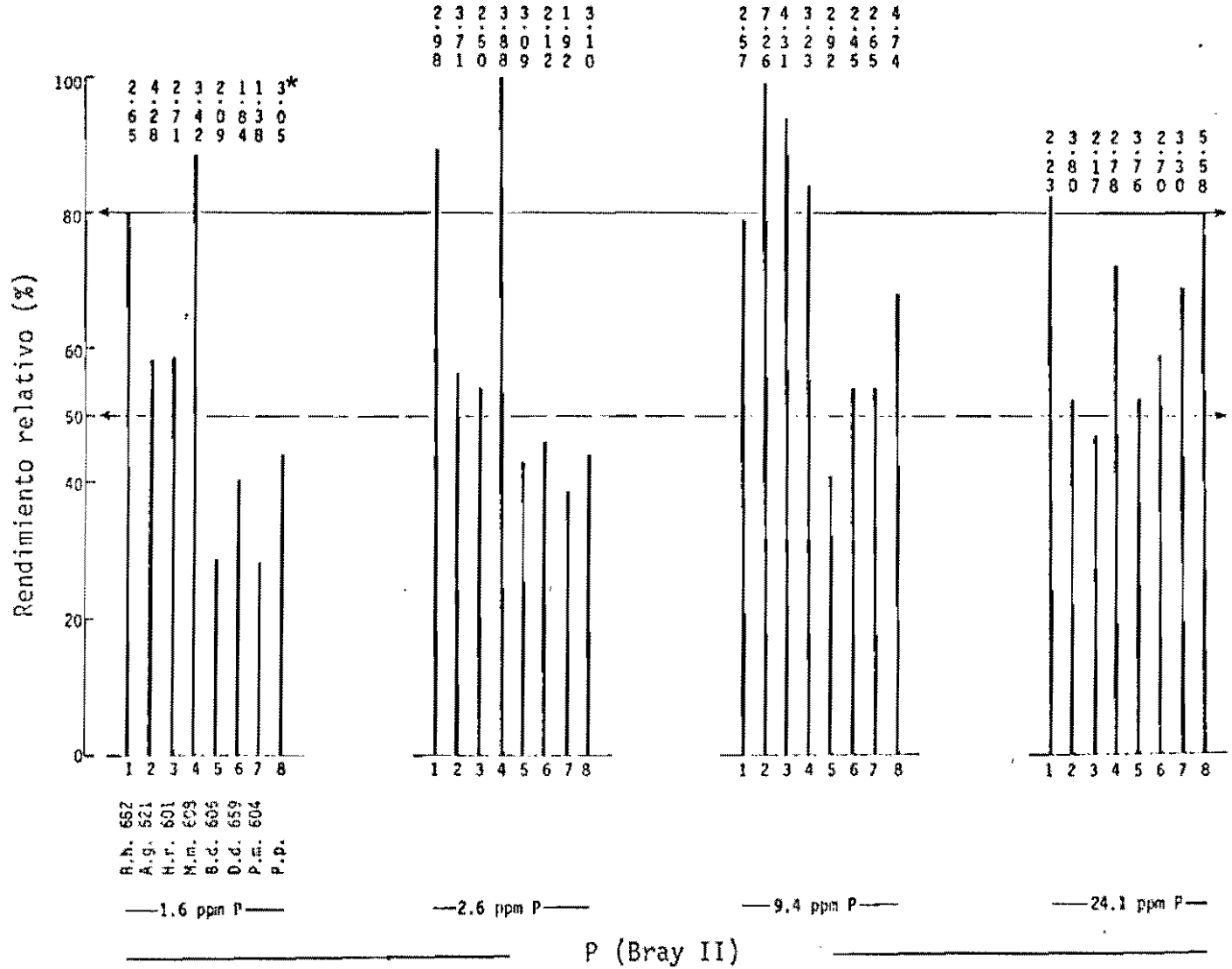
Figura 13. Efecto de tres niveles de fósforo y dos métodos de siembra y de aplicación de fósforo, sobre los rendimientos de tres asociaciones forrajeras, en Carimagua, 1975-76. Fuente: CIAT (1977).



*Rendimiento MS (ton/ha)

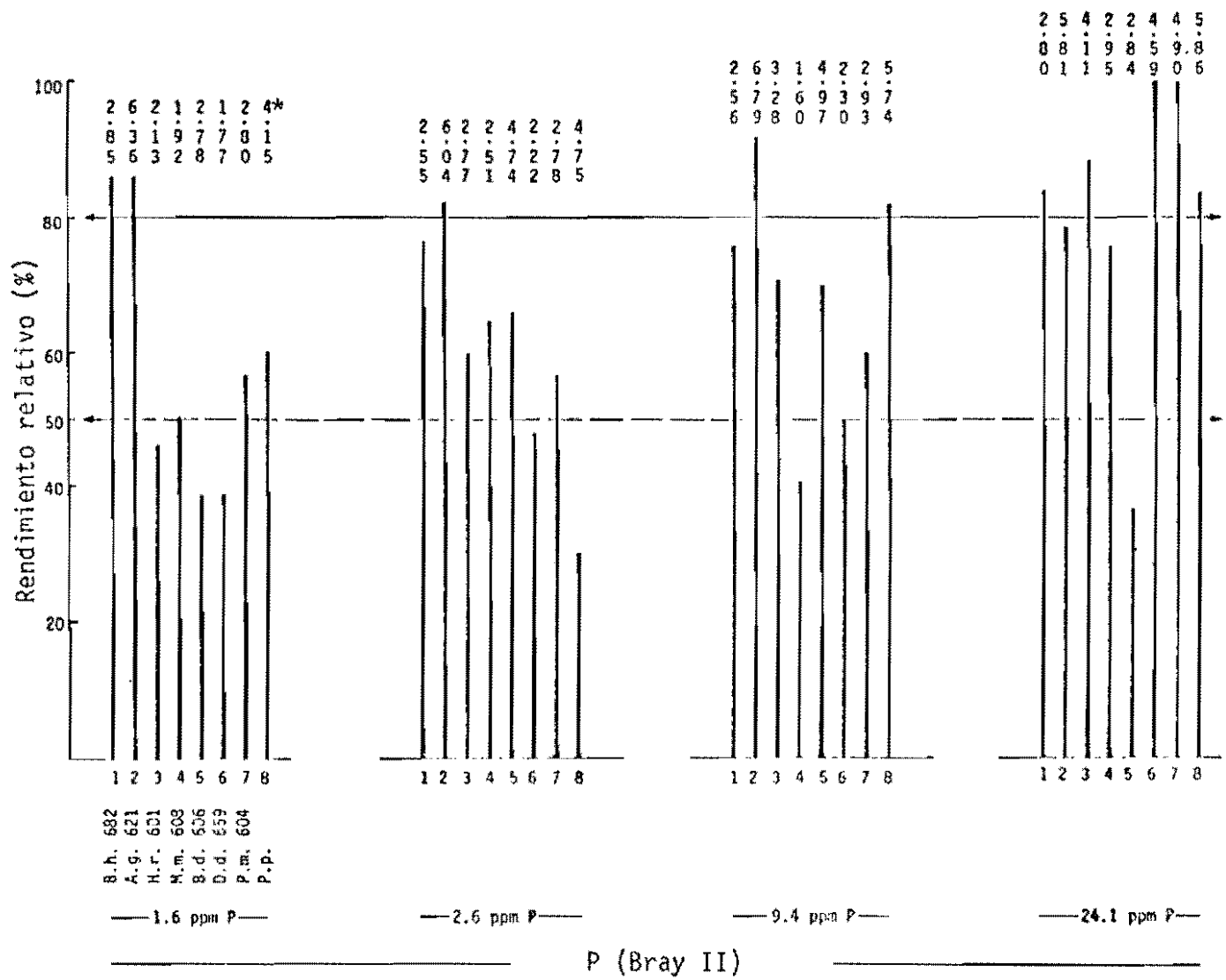
Figura 14. Respuesta diferencial de ocho gramíneas tropicales a diferentes niveles de fósforo y 92% de saturación de Al (sin aplicación de cal) bajo condiciones de campo en Carimagua.

(B.h. 682 = *Brachiaria humidicola;* A.g. 621 = *Andropogon gayanus;* H.r. 601 = *Hyparrhenia rufa;* M.m. 608 = *Melinis minutiflora;* B.d. 606 = *Brachiaria decumbens;* D.d. 659 = *Digitaria decumbens;* P.m. 604 = *Panicum maximum;* and P.p. = *Pennisetum purpureum*)



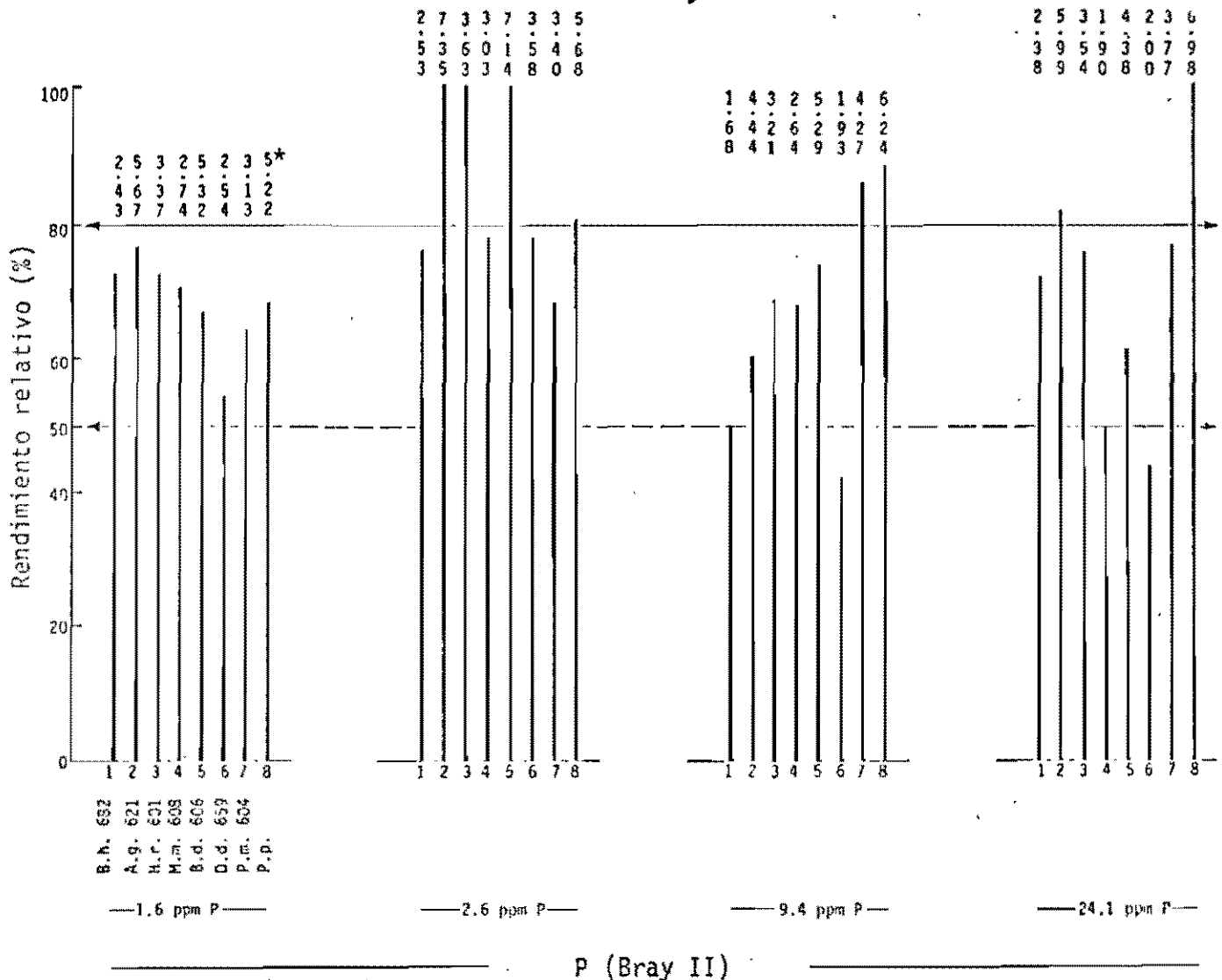
* Rendimiento MS (ton/ha)

Figura 15. Respuesta diferencial de ocho gramíneas tropicales a diferentes niveles de fósforo y 86% de saturación de Al (1/2 ton cal/ha) bajo condiciones de campo en Carimagua (Ref. a Fig. 1 para identificación de accesiones).



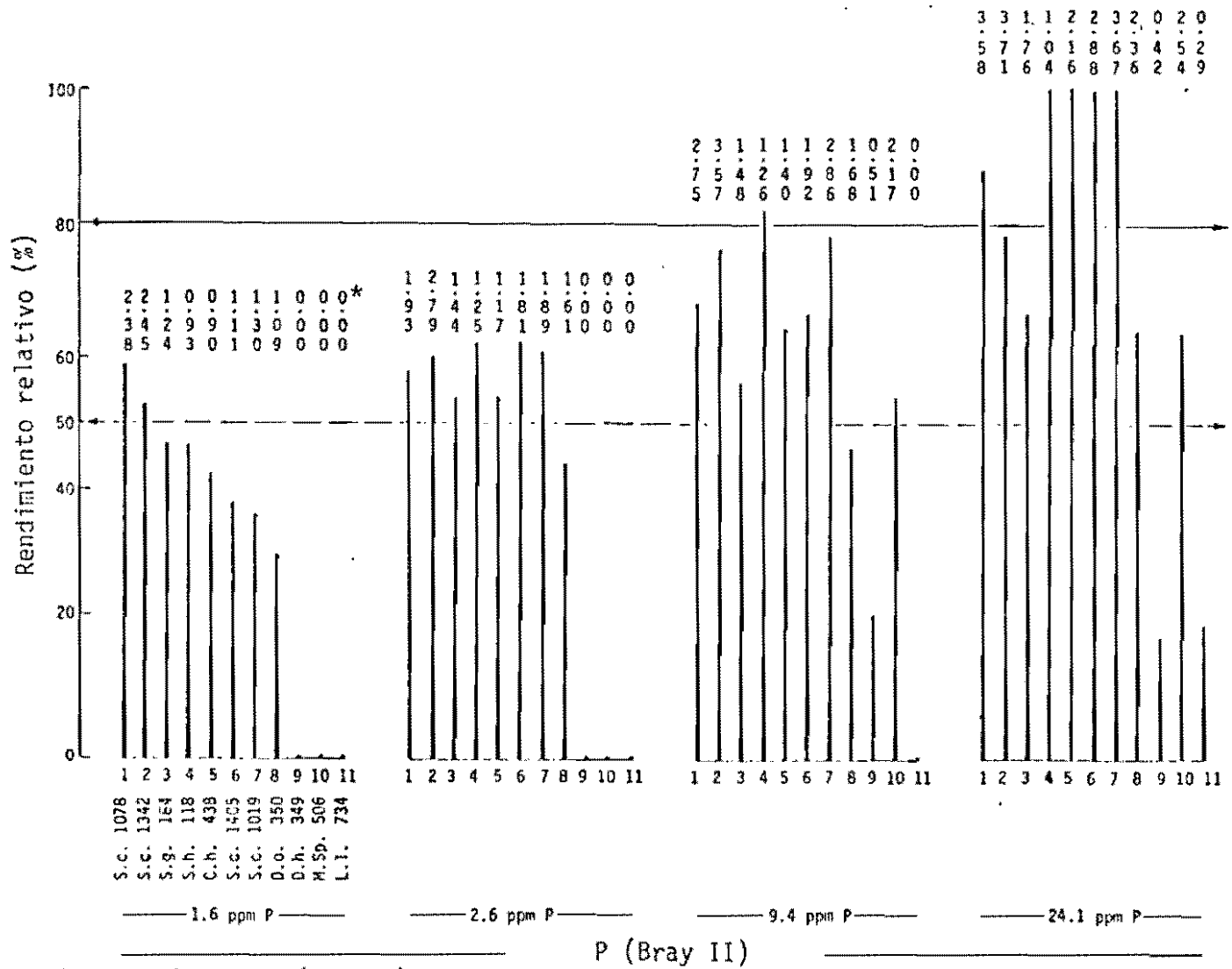
* Rendimiento MS (ton/ha)

Figura 16. Respuesta diferencial de ocho gramíneas tropicales a diferentes niveles de fósforo y 77% de saturación de Al (1 ton cal/ha) bajo condiciones de campo en Carimagua (Ref. a Fig. 1 para identificación de accesiones).



* Rendimiento MS (ton/ha)

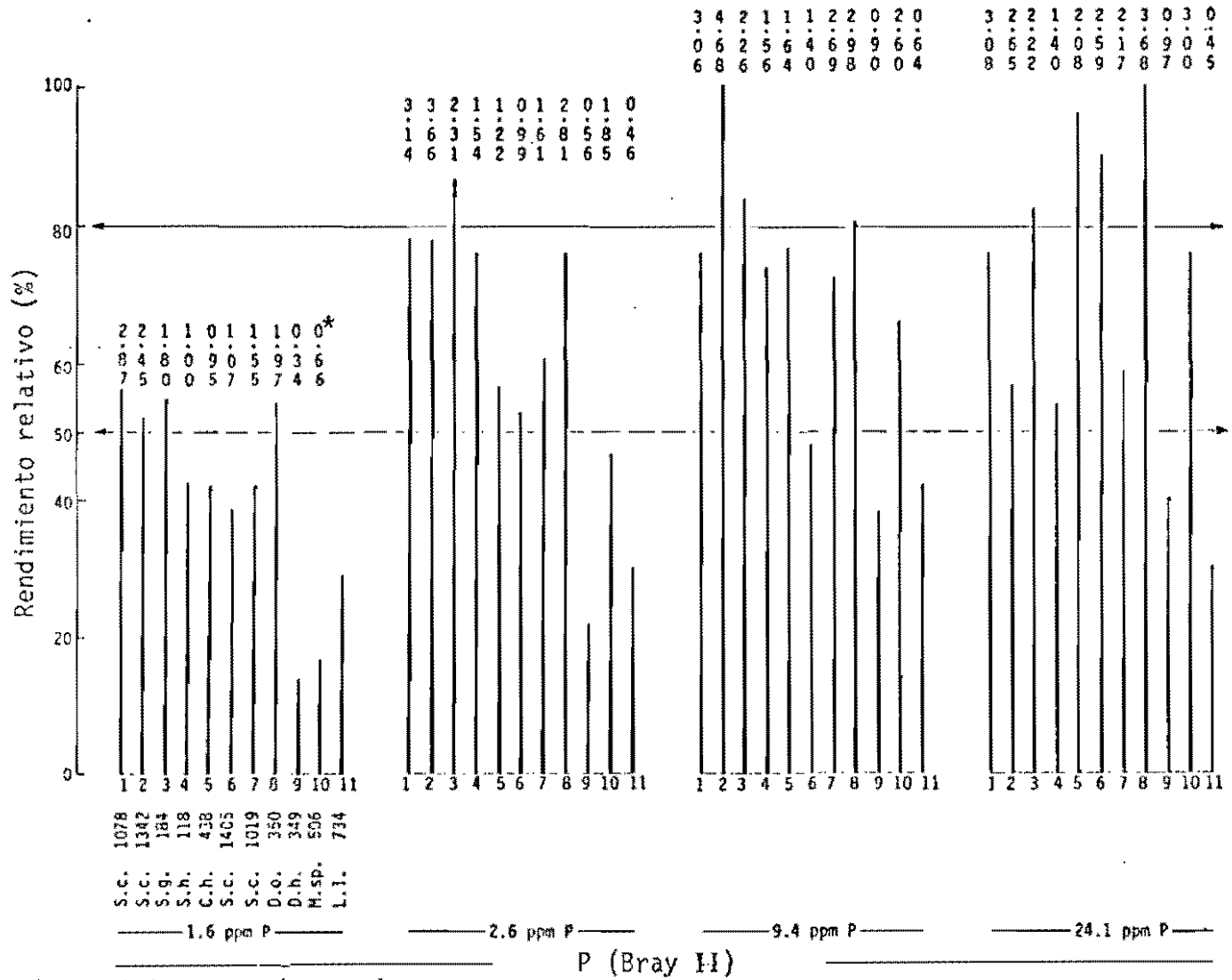
Figura 17. Respuesta diferencial de ocho gramíneas tropicales a diferentes niveles de fósforo y 27% de saturación de Al (5 ton cal/ha) bajo condiciones de campo en Carimagua (Ref. a Fig. 1 para identificación de accesiones).



* Rendimiento MS (ton/ha)

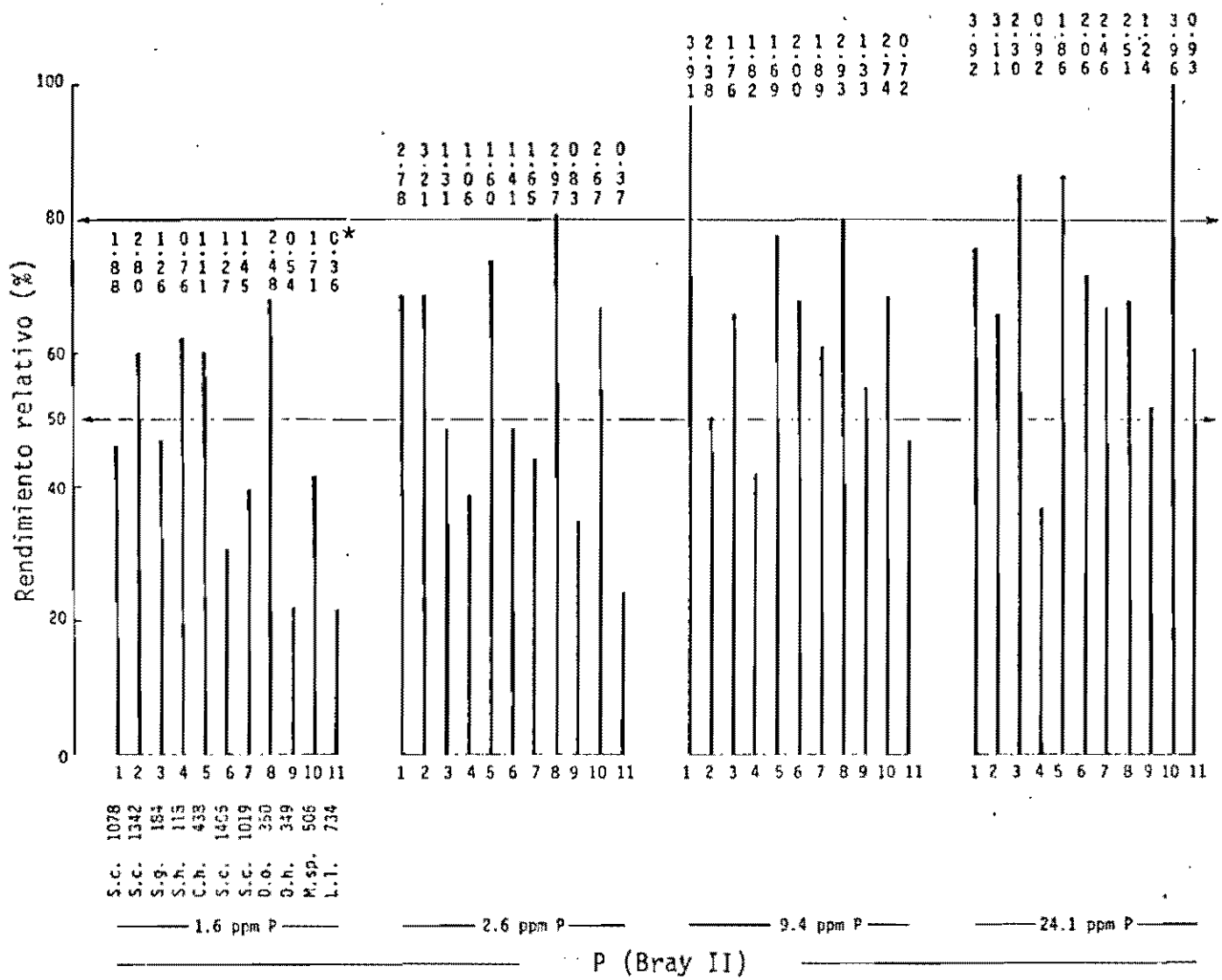
Figura 18. Respuesta diferencial de 11 leguminosas forrajeras a diferentes niveles de fósforo y 92% de saturación de Al (sin aplicación de cal) bajo condiciones de campo en Carimagua.

(S.c. 1078, 1342, 1405, 1019 = *Stylosanthes capitata;*
S.g. 184 = *Stylosanthes guianensis;* S.h. 118 = *Stylosanthes humilis;*
C.h. 438 = *Centrosema* híbrido; D.o. 350 = *Desmodium ovalifolium;*
D.h. 349 = *Desmodium heterophyllum;* M. sp. 506 = *Macroptilium* sp.;
L.l. 734 = *Leucaena leucocephala*)



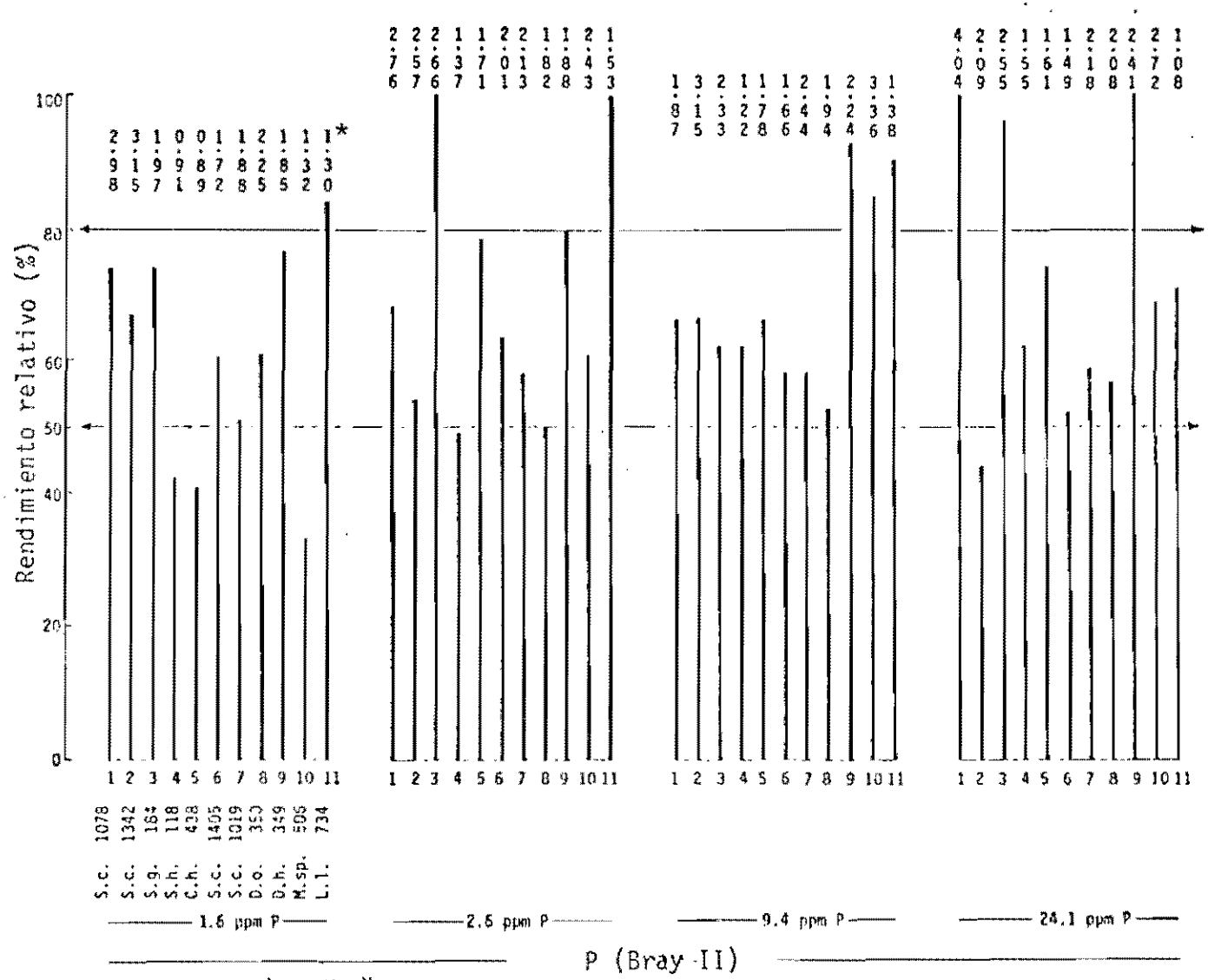
* Rendimiento MS (ton/ha)

Figura 19. Respuesta diferencial de 11 leguminosas forrajeras a diferentes niveles de fósforo y 86% de saturación de Al (1/2 ton cal/ha) bajo condiciones de campo en Carimagua (Ref. a Fig. 5 para identificación de accesiones).



* Rendimiento de MS (ton/ha)

Figura 20. Respuesta diferencial de 11 leguminosas forrajeras a diferentes niveles de fósforo y 77% de saturación de Al (1 ton cal/ha) bajo condiciones de campo en Carimagua (Ref. a Figura 5 para identificación de accesiones).



* Rendimiento MS (ton/ha)

Figura 21. Respuesta diferencial de 11 leguminosas forrajeras a diferentes niveles de fósforo y 27% de saturación de Al (5 ton cal/ha) bajo condiciones de campo en Carimagua (Ref. a Fig. 5 para identificación de accesiones).

ADAPTACION DE PLANTAS A TOXICIDADES DE ALUMINIO Y MANGANESO EN SUELOS ACIDOS[1/]

José G. Salinas[2/]

[1/] Trabajo a presentarse en el Curso de Fertilidad de Suelos, Sociedad Colombiana de la Ciencia del Suelo. Bogotá, Junio 1.1979.

[2/] .D. Especialista en Suelos, CIAT.

ADAPTACION DE PLANTAS A TOXICIDADES DE AL Y MN EN SUELOS ACIDOS

José G. Salinas

1. INTRODUCCION.-

Aproximadamente el 60% de la superficie de América Tropical está cubierta de Oxisoles y Ultisoles siendo de esta manera el bloque más extenso de tierra potencialmente arable. La extensión de esta área así como también su favorable localización y topografía constituyen un potencial para la utilización agrícola intensiva. (Kellogg y Orvedal, 1969).

A pesar de su favorable topografía y clíma para la producción intensiva de cultivos y el mejoramiento logístico y social, el desarrollo agrícola en estas áreas ha estado limitado. El principal obstáculo para la producción agrícola 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 E.E.U.U. y Europa. La gran mayoría de los suelos del trópico americano presenta un "complejo de infertilidad", el cual identifica una deficiencia general de varios macro y micro elementos, alta acidez, toxicidades de Al y/o Mn, y alta retención de P.

La toxicidad de Al es uno de los prominentes factores que limita el desarrollo agrícola en la mayoría de estos suelos. Altos niveles de saturación de Al reducen el crecimiento radicular y afectan severamente el rendimiento de los cultivos. (Gonzalez, 1976). Además del Al, el Mn constituye también otro factor limitante de la condición ácida de estos suelos.

Otra importante limitación es que el suministro natural de P disponible es generalmente bastante bajo y relativamente altas cantidades de fertili-

zantes fosforado son requeridas para obtener rendimientos adecuados (Kamprath, 1977). Este último aspecto es relativo a la gran capacidad de retención de P por parte de estos suelos, lo que causa serias limitaciones agronómicas y económicas debido a los altos costos de fertilizantes fosforados.

Durante los últimos años, se ha realizado en estos suelos una considerable investigación basada principalmente en el concepto de modificar el suelo para el desarrollo de las plantas (Soares et al., 1975; Gonzalez, 1976; CIAT, 1976; Yost, 1977). De aquí, la principal estrategia usada para anular los efectos limitantes del complejo ácido infertil del suelo ha sido fertilizar y encalar á niveles "óptimos" y tomar ventaja de sus efectos residuales. Además, variedades comerciales han sido seleccionadas para altos rendimientos, resistencia a plagas y enfermedades con poca atención a las propiedades del suelo, debido a que el trabajo de mejoramiento y selección ha sido llevado a cabo bajo condiciones óptimas del suelo.

Una alternativa para la producción agrícola en estas extensas áreas de suelos ácidos es adaptar la planta a las limitaciones específicas de fertilidad del suelo. (Spain et al., 1975; Salinas, 1978). Muy poco se ha hecho en tratar de seleccionar especies y variedades "in situ" considerando las condiciones adversas de suelo-planta, las cuales constituyen el factor más limitante para la producción agrícola en la América Tropical. El caso es que recien, durante los últimos años tanto fitomejoradores, fisiólogos como especialistas en suelos, han reconocido la existencia de diferencias entre especies y variedades para tolerar condiciones adversas del suelo (Foy, 1974, 1976; Clark, 1975; Spain et al., 1975; Lorenagan y Asher, 1967; Spain, 1977; Rhue y Grogan, 1977; Salinas, 1978). Las tolerancias más importantes en especies y variedades cultivadas en suelos

ácidos son referidas a sequía, toxicidades de Al y/o Mn, y bajos niveles de P disponible. Consecuentemente, un mejor entendimiento sobre la tolerancia de especies y variedades a tales condiciones adversas del suelo, que son típicas de extensas áreas de América Tropical, puede proporcionar un significativo aporte al adaptar plantas en estas áreas, lo cual puede determinar una menor inversión en fertilizantes y cal. (Spain et al., 1975. Foy, 1975; Salinas y Sánchez, 1976; Spain, 1977; Salinas, 1978). Esto no implica la eliminación total de fertilizantes y cal, pero si puede disminuir las tasas de aplicación de fertilizantes y requerimentos de cal, necesarios para obtener rendimientos adecuados. El propósito de este trabajo es mostrar evidencia de la adaptabilidad de especies y variedades en suelos ácidos con problemas de toxicidades de Al y/o Mn, ya que estas características son componentes revelantes de la baja fertilidad natural de muchos suelos tropicales altamente meteorizados. El objetivo final es sensibilizar a los investigadores agrícolas de la América Tropical para que consideren la relación suelo-planta como un factor importante en la incorporación de estas áreas a la producción agrícola.

2. CARACTERIZACION DE LOS SUELOS.-

Durante los últimos diez años se ha enfatizado bastante el estudio de la distribución geográfica y propiedades de los suelos en América Tropical. Un resultado de estos estudios es el mapa tentativo de Ordenes de Suelo desarrollado por Sánchez e Isbell (1979) y modificado por Sánchez y Cochrane (1979). La Figura 1 muestra el mapa tentativo, y la Tabla 1 la distribución de Ordenes de Suelo en función de fajas altitudinales. Los Oxisoles representan el orden más extenso cubriendo 34% de la superficie tropical, seguidos por Ultisoles con 22%, Inceptisoles con 16%,

Alfisoles con 12%, Entisoles con 8% y pequeñas áreas de Mollisoles, Aridisoles, Vertisoles e Histosoles.

Las regiones con Oxisoles-Ultisoles de América Tropical presentan con predominio dos tipos de vegetación nativa: sabanas y bosques. La sabana total caracterizando alrededor de 300 millones de hectáreas, de las cuales la sabana central de Brasil denominada Cerrado constituye la región más extensa con 180 millones de hectáreas, seguida por los Llanos de Colombia y Venezuela. Las áreas boscosas cubren alrededor de 550 millones de hectáreas y es caracterizada principalmente por la Selva Amazónica con pequeñas áreas boscosas a lo largo del continente (Sánchez, 1977).

Las principales propiedades de Oxisoles y Ultisoles del trópico sudamericano pueden ser caracterizadas en base a varios perfiles representativos que son dados en la Tabla 2. Con pocas excepciones, la mayoría de estos suelos son profundos y bien drenados, lo cual desde el punto de vista físico, no presentan impedimento para el desarrollo radicular. Los Oxisoles, por definición, representan a los suelos con el mayor grado de meteorización con una excelente estructura granular lo cual permite el tráfico de maquinaria agrícola luego de fuertes lluvias. Por otra parte, estos suelos caracterizan las superficies de tierra que han estado estables por mucho tiempo reflejando de esta manera su antiguedad. En general, estos suelos tienen una baja capacidad de retención agua (Lopes, 1977) y además, el enraizamiento profundo es comúnmente limitado,no por barrera física sino por la toxicidad de Aluminio del subsuelo que anula la utilización de agua y nutrimentos del subsuelo, con serias implicaciones en los períodos secos durante la época lluviosa (Wolf, 1975). En contraste, los Ultisoles presentan un marcado aumento del contenido de arcilla con la profundidad (horizonte argílico). Muchos de estos suelos son arenosos en la capa

arable con susceptibilidad a una compactación por uso de maquinaria agrícola y también susceptibles a ser erosionados (Seubert et al., 1977, Rodriguez, 1976). Con excepción de la baja capacidad de retención de agua de los Oxisoles y la susceptibilidad de erosión en Ultisoles arenosos, localizados principalmente en pendientes acentuadas, las propiedades físicas de estos suelos son excelentes.

Respecto a las propiedades químicas, éstas son opuestas a las propiedades físicas. Debido al estado avanzado de meteorización, tanto Oxisoles como Ultisoles están desprovistos de la mayoría de sus minerales primarios y presentan una mineralogía de arcillas dominada por kaolinita y óxidos de Fe y Al. (Weaver,1974; Uehara y Keng, 1975). La Tabla 3 muestra las limitaciones edáficas de estos suelos en función de la extensión que cubren. Prácticamente el grado de deficiencias minerales y toxicidad de Al que presentan estos suelos los ubican dentro un "complejo de infertilidad natural". Específicamente, observando algunas propiedades químicas en la Tabla 2, estos suelos muestran valores extremadamente bajos de pH a través del perfil, contenido moderado de materia orgánica, altos niveles de Al intercambiable, bajos niveles de Ca, Mg y K, una baja capacidad de intercambio catiónico efectiva debido a la baja actividad de las arcillas y una alta proporción de saturación de aluminio en los sitios de cambio.

Un parámetro químico adicional de importancia práctica es la habilidad de estos suelos para transformar formas solubles de P en menos solubles. Bennema (1961) sugirió que estos suelos altamente meteorizados absorben grandes cantidades de P debido al estado químico de meteorización, caracterizado por los niveles altos de óxidos de Fe y Al. El fósforo reacciona con estos compuestos,y la magnitud de sus efectos depende de las propiedades químicas de estos suelos (Kamprath, 1977). El resultado de ésto es

generalmente una baja en la disponibilidad de P para el crecimiento de las plantas. La determinación de P disponible en estos suelos por una variedad de soluciones extractantes da valores muy bajos con un rango que fluctúan desde trazas a 3 ppm P. (Sánchez, 1977) y en algunos casos, se requiere de equipo sensible para detectar el P disponible. (Smyth, 1976).

2.1. Toxicidad de Al.-

La razón por la inhabilidad de las plantas para crecer en suelos ácidos, y los efectos inhibitorios del subsuelo ácido sobre la penetración radicular, ha constituído una pregunta de interés por muchos años (Tisdale y Nelson, 1966). Aunque la presencia de Al intercambiable en suelos ácidos ha sido conocida desde comienzos de este siglo (Veitch, 1904), la idea del efecto detrimental de la acidez del suelo sobre el crecimiento de las plantas, a causa de concentraciones tóxicas de Al, fue aparentemente sugerido por Abbott y colaboradores (1913). La revisión inicial de la literatura sobre el Al en el suelo fue hecha por Ragland (1959), y la más reciente por Coleman y Thomas (1967), Adams (1974), y McLean (1976).

La mayoría de los suelos altamente meteorizados presentan bajas reservas de Ca y Mg, de manera que el Al es el cation principal en los sitios de cambio. La contribución del clima es considerada como un importante factor en el desarrollo de la acidez del suelo y la toxicidad de Al en suelos ácidos. En efecto, Kamprath y Foy (1971) remarcaron que en regiones tropicales la acidez del suelo toma lugar como resultado de la remoción de bases y un incremento de H y Al debido a la fluctuación de precipitación y evapotranspiración.

La reactividad del Al en suelos ácidos varía con la forma en la cual ocurre, disminuyendo en orden desde la forma Al^{+3}- soluble en agua a monó-

meros de OH-Al, hasta formas polimerizadas de hidróxidos de Al. Recientemente, McLean (1976), remarcó nuevamente que el proceso hidrolítico del Al y por lo tanto su solubilidad en la solución del suelo es afectada por el pH de la solución. La secuencia de las posibles formas de Al pueden ser representada en la siguiente progresión:

					pH suelo	Solubilidad Al
Al^{+3}	+	$H_2O \longrightarrow Al(OH)^{+2}$	+	H^+	4.0- 4.5	↑
$Al(OH)^{+2}$	+	$H_2O \longrightarrow Al(OH)_2^{+1}$	+	H^+	4.5- 5.5	aumenta
$Al(OH)_2^{+1}$	+	$H_2O \longrightarrow Al(OH)_3$	+	H^+	5.5- 7.5	baja o ninguna
$Al(OH)_3$	+	$H_2O \longrightarrow Al(OH)_4^-$	+	H^+	7.5- 9.0	
$Al(OH)_4^-$	+	$H_2O \longrightarrow Al(OH)_5^-$	+	H^+	9.0- 9.5	aumenta
$Al(OH)_5^-$	+	$H_2O \longrightarrow Al(OH)_6^-$	+	H^+	9.5-10.0	↓

De esta secuencia puede concluírse que la solubilidad del Al es bastante baja dentro el rango de pH entre 5.5 a 7.5 donde es precipitado y permanece relativamente insoluble como $Al(OH)_3$. Por debajo de pH 5.5 y sobre pH 7.5, las concentraciones de Al aumentan rápidamente. La pregunta, que emana, es relativa a la forma tóxica de Al para las plantas. Datos presentados por Kerridge (1969) indican que el Al fue considerablemente más tóxico para las plantas a pH 4.5 que a pH 4.0 y sugirió que un producto hidrolítico de Al en vez de la forma soluble Al^{+3} sería responsable en la inhibición del crecimiento radicular. A medida que el pH aumenta de 4.0 a 4.5 la solubilidad de Al^{+3} disminuye, mientras que la forma hidrolítica $AlOH^{+2}$ aumenta (Raupach, 1963). Consecuentemente, Moore (1974) concluyó que la forma $AlOH^{+2}$ es responsable de los efectos adversos del Al sobre el crecimiento de las plantas y específicamente sobre el crecimiento radicular. Sin embargo, la solubilidad del Al y la severidad de sus efectos

tóxicos sobre las plantas son afectadas por varios factores del suelo, incluyendo pH, mineral de arcilla predominante, concentración de otros cationes y contenido de materia orgánica (McCart y Kamprath, 1965; Evans y Kamprath, 1970; McLean, 1976).

Suelos ácidos con pH debajo de 5.5 tienen una gran porción de sus cargas negativas ocupadas por Al^{+3} el cual puede ser desplazado por otros cationes. Este Al desplazado normalmente es denominado Al intercambiable, el cual es extractado con una solución no bufferizada de KCl 1N y titulado con una base (Lin y Coleman, 1960; Bhumbla y McLean, 1965). Debido a que cantidades apreciables de Al intercambiable son tóxicas para muchas especies de plantas ha sido sugerido que este Al puede ser neutralizado añadiendo $CaCO_3$(cal) al suelo a una tasa equivalente de 1.5 a 2 veces el Al intercambiable (Kamprath, 1970). El porcentaje de saturación de Al relativo a la capacidad de intercambio catiónico efectivo es otra medida útil de la acidez del suelo. La saturación de Al es la relación entre el Al intercambiable extractado con una solución normal no bufferizada de KCl y la suma de bases intercambiables más el Al intercambiable. Nye y colaboradores (1961), Evans y Kamprath (1970), y Cate y Sukhai (1964), encontraron que en suelos ácidos el porcentaje de saturación de Al determina la concentración de Al en la solución del suelo. Ellos observaron que cuando la saturación de Al fue mayor del 60% una cantidad apreciable de Al estuvo presente en la solución del suelo. Por otra parte, la relación entre pH del suelo y la saturación de Al es consistente con varias observaciones hechas en muchos suelos ácidos del trópico (Brams, 1971; Fox et al., 1962; Popenoe, 1960; Soares et al., 1975; Abruña et al., 1974). Además, a pesar de haberse demostrado que el pH del suelo está relacionado con el crecimiento radicular (Pearson, 1975), el nivel de Al en la solución del suelo es usualmente el factor responsable por el reducido crecimento radicular en suelos ácidos

(Adams y Lund, 1966). En conclusión, el Al en la solución del suelo y el porcentaje de saturación de Al están relacionados en suelos ácidos (Evans y Kamprath, 1970; Brenes y Pearson, 1973; Gonzalez, 1976), así como también el porcentaje de saturación de Al y la respuesta de la planta (Abruña et al, 1970, 1974; Sartain y Kamprath, 1975; Salinas, 1978). De aquí, aunque la actividad química del Al en la solución del suelo es probablemente el mejor parámetro para estimar el potencial tóxico del Al de un suelo, el porcentaje de saturación de Al provee una indicación satisfactoria de la acidez del suelo y es mucho más simple su determinación.

Además, debido a los niveles bajos de bases cambiables, la alta saturación de Al juega un importante rol en estos suelos ácidos (Olmos y Camargo, 1976; Freitas y Silveira, 1977). En efecto, Lopes y Cox (1977) sugieren que en la mayoría de los casos el porcentaje de saturación de Al debería ser considerado primero, ya que en suelos ácidos teniendo el mismo nivel de Al intercambiable pero diferente porcentaje de saturación de Al, es de esperar que la respuesta de un cultivo dado sea diferente al encalar con la misma cantidad en base a la neutralización del Al intercambiable.

2.2. Toxicidad de Manganeso.-

Otro de los factores limitantes para el crecimiento de las plantas en suelos ácidos constituye la toxicidad de Mn. El efecto tóxico del Mn generalmente ocurre a pH del suelo inferior a 5.5. Sin embargo, en suelos inundados o compactados, el exceso de Mn puede limitar el crecimiento de las plantas a pH 6.0 o mayor (Siman et al., 1974). Bajo estas condiciones, de aireación pobre, el Mn es reducido a la forma bivalente, la cual es disponible para las plantas. (Foy, 1976). Consecuentemente, la toxicidad de Mn puede ocurrir a valores de pH similares a la toxicidad de Al asi como

también a valores de pH que son demasiado altos para que el Al sea soluble en concentraciones tóxicas. La absorción de Mn depende mayormente de la actividad de Mn bivalente en la solución del suelo y es dependiente de la presencia de Mn fácilmente reducible en el suelo. (Pearson, 1975).

Contrariamente al efecto tóxico del Al en las plantas, el Mn no parece afectar directamente el sistema radicular, pero puede reducir su crecimiento indirectamente al afectar la parte aérea. Un exceso de Mn produce síntomas más definidos que el Al en la parte aérea,y el grado de toxicidad está relacionado a su acumulación en la parte aérea y no en las raíces (Foy, 1976). La toxicidad de Mn está caracterizada por una clorosis marginal y una distorción de las hojas jóvenes asociada con acumulación localizada de Mn en el tejido foliar. (Foy, 1973; Vlamis et al., 1973). Una toxicidad severa de Mn ocasiona que el sistema radicular se torne café pero, usualmente, solo después que el follaje ha sido afectado. En muchos casos, clorosis intervenal ha sido observada y este efecto ha sido explicado en el sentido de que el Mn induce una deficiencia de Fe (Hewitt, 1963).

3. MECANISMOS DE TOLERANCIA A ALUMINIO ENTRE ESPECIES Y VARIEDADES.-

La caracterización de especies y variedades tolerantes a Al ha sido estudiada por medio siglo (Hartwell y Pember, 1918; McLean y Gilbert, 1927; Hewitt, 1948; Aimi y Murakami, 1964; Foy y Brown, 1963; Clarkson, 1966; Adams y Pearson, 1970; Foy, 1976; Spain, 1977; Salinas, 1978). EStos estudios han usado una diversidad de especies y variedades cuyas respuestas han mostrado la evidencia de tal tolerancia diferencial.

Parece que la tolerancia a Al entre especies y variedades se debe a una adaptación genética como resultado de una selección involuntaria en suelos ácidos (Foy, 1976). La genética de la tolerancia a Al está actual-

mente bajo estudio (Devine et al., 1976), pero la naturaleza de la tolerancia diferencial no ha sido esclarecida al presente, debido a que los mecanismos exactos de toxicidad de Al no están todavía completamente conocidos (Foy, 1976).

Varios intentos se han hecho para explicar la causa de la tolerancia a Al por las plantas. Básicamente estos pueden ser separados en dos categorías: (1) cambios diferenciales en la morfología de la planta, y (2) cambios diferenciales en la fisiología y bioquímica de la planta (Foy, 1976; Helyar, 1978). Esta separación no implica que la tolerancia a Al resulte de cada categoría independientemente, por el contrario, el grado de tolerancia parece ser una combinación de ambas categorías, pero la segunda es a menudo referida como una consecuencia de cambios morfológicos en el sistema radicular (Jackson, 1967; Moore, 1973; Ali, 1973; Helyar, 1978).

La reducción de crecimiento,tanto en las raíces como en la parte aérea debido al Al,fue observada desde comienzos del siglo (Magistad, 1925). Sin embargo, el crecimiento radicular parece ser más afectado que la parte aérea debido a la influencia directa del Al. Jackson (1967) remarcó que los cambios morfológicos y fisiológicos de la parte aérea generalmente se manifiestan después que el crecimiento radicular ha sido afectado. Consecuentemente, los síntomas visuales de toxicidad de Al en la parte aérea pueden ser un efecto indirecto del daño radicular por el Al (de-Waard y Sutton, 1960; Rees y Sidrak, 1961; Kerridge, 1969; Ali, 1973). En efecto, la inhibición del crecimiento radicular es el efecto primario de la toxicidad de Al (Kerridge, 1969; Rhue y Grogan, 1977; Helyar, 1978; Salinas,1978).

Fleming y Foy (1968) encontraron que la tolerancia a Al en trigo está asociada primariamente con un reducido daño morfológico de las raíces laterales y de los ápices radiculares, lo cual es reflejado en una mejor habi-

lidad para continuar la elongación radicular. Resultados similares han sido obtenidos con otras especies y variedades en condiciones de suelo y solución nutritiva por varios investigadores (Kerridge, 1969; Reid et al., 1971; Kerridge et al., 1971; Moore et al., 1977; Salinas, 1978). Raíces afectadas por el Al son característicamente gruesas en apariencia con las raíces laterales cortas, gruesas y de color café. Estas raíces afectadas por el Al son ineficientes para absorber agua y nutrimentos (Fleming y Foy, 1968; Clarkson, 1969; Reid et al., 1971; Lafever et al., 1977; Heylar,1978). Ha sido sugerido que el Al actúa como un inhibidor de crecimiento de sitios específicos en las raíces en lugar de ser un veneno sistémico (Fleming y Foy, 1968). En efecto, Clarkson (1965, 1969) remarcó que el Al inhibe la división celular en los meristemas apicales resultando un sistema radicular drásticamente restringido. Es crítico recalcar que la tolerancia diferencial a Al puede estar asociada con daño morfológico radicular en áreas específicas en lugar de un daño a todo el sistema. Consecuentemente, la tasa de crecimiento durante un período de recuperación luego de un stress de Al puede ser importante (Moore et al., 1977).

Clarkson (1965) encontró que las anormalidades morfológicas de las raíces causadas por el Al pueden ser explicadas por el rol inhibitorio del Al sobre la división y extensión celular. La naturaleza de este daño fue explicada posteriormente por Sampson y colaboradores (1965) cuando establecieron que el daño del Al está asociado directamente con algunas funciones metabólicas durante la división celular. El efecto de Al en la mitosis celular y la resultante paralización de la elongación radicular fue confirmada por Clarkson y Sanderson (1969). Sobre la base de resultados bioquímicos la mitocondria y núcleo, ambos ricos en ADN, fueron sugeridos como los dos sitios celulares posibles donde el Al estaría actuando (Klimashevskii et al., 1973). Consecuentemente, una vez que el Al está dentro una

célula meristemática, interfiere en la formación de ADN y el resultado neto es una inhibición del crecimiento radicular (Ali, 1973).

En base a las consideraciones arriba mencionadas, se han hecho varios intentos para explicar la tolerancia diferencial entre especies y variedades en términos de daños causados por el Al a las raíces. La habilidad de una planta para continuar su elongación y proliferación, así como también resistir daños morfológicos en los ápices y raíces laterales,son relativos a tolerancia a Al (Foy y Brown, 1964; Adams y Lund, 1966; Reid et al., 1971; Sartain y Kamprath, 1975; Howeler y Cadavid, 1976; Moore et al.,1977; Keser et al., 1977; Helyar, 1978). Especies y variedades dentro especies difieren en el grado en el cual una concentración dada de Al interfiere con el crecimiento radicular. En general, variedades sensitivas a Al muestran una severa inhibición del crecimiento radicular mientras que variedades tolerantes son ligeramente afectadas. Consecuentemente, la habilidad diferencial del crecimiento radicular en presencia de Al es considerada una importante medida de tolerancia a Al y frecuentemente ha sido usada como un criterio para clasificar especies y variedades de acuerdo a su tolerancia a Al (Kerridge y Kronstad, 1968; Kerridge et al., 1971; Reid et al., 1971; Foy, 1974; Moore et al., 1977; Howeler y Cadavid, 1976; Rhue y Grogan,1977; Salinas, 1978).

Varios intentos también han sido realizados para explicar diferencias entre especies y variedades en términos de absorción y translocación de nutrimentos y Al, así como también cambios de pH externo (Foy, 1974; Heylar, 1978). La tolerancia a Al ha sido usualmente asociada con una disminución en la absorción y translocación de elementos minerales. Entre ellos, P, Ca y Mg son los más afectados por el Al y reducciones menores en la absorción y translocación de K, Fe, Cu y Zn han sido también dados a conocer

(Foy y Brown, 1963; Johnson y Jackson, 1964; Munns, 1965; Paterson, 1965; Clarkson, 1966; Lance y Pearson, 1969; Andrew y VandenBerg, 1973; Devine et al., 1976; Foy, 1976; Helyar, 1978; Salinas, 1978).

Una deficiencia de P en la parte aérea es tal vez el síntoma visual típico de la toxicidad de Al (Foy y Brown, 1963, 1964). El exceso de Al reduce la solubilidad de P en el medio de crecimiento y su absorción y transporte por las plantas (Kamprath y Foy, 1971). Por otra parte, un exceso de P puede precipitar el Al y eliminar su toxicidad, aumentar la absorción de P y eliminar los síntomas de deficiencias de P (Munns, 1965). Por ejemplo, los efectos tóxicos de Al fueron eliminados en plantas de algodón cuando la relación: P:Al en el medio externo fue mayor que dos (Foy y Brown, 1963). Por lo tanto, interacciones Al-P han sido propuestas como un factor importante en el grado de toxicidad de Al para las plantas (Randall y Vose, 1963; Munns, 1965; McLead y Jackson, 1967; Foy, 1976).

Dos tipos de interacciones Al-P han sido sugeridos por Clarkson (1966). El primero ocurre al nivel de superficie celular con fijación de P por una reacción de adsorción-precipitación. El segundo ocurre dentro la célula, posiblemente dentro la mitocondria, y resulta en una marcada disminución de la tasa de fosforilación del azúcar probablemente afectando la inhibición de hexokinasa. Recientemente McCormick y Borden (1974) han mostrado a través del microscopio electrónico que un precipitado de Al-PO_4 ocurre en las raíces como glóbulos dispersos. La interacción ocurrió en la capa musilaginosa a lo largo de la superficie radicular y en las regiones intercelulares de los ápices. Estos resultados confirman teorías anteriores sobre el proceso de adsorción-precipitación que toma lugar en las raíces, resultando en un reducido transporte de P a la parte aérea. Consecuentemente, la deficiencia de P debido a la presencia de Al puede ser un resul-

tado de la precipitación del Al y P en las raíces. De aquí, las diferencias entre especies y variedades en relación a stress de Al pueden resultar de la tasa de translocación a la cual el P "escapa" esta precipitación.

Varios investigadores informan que la tolerancia diferencial a Al entre especies y variedades ha estado asociada con una habilidad diferencial para absorber y utilizar P en presencia de Al (Jones, 1961; Foy y Brown, 1964; Foy, 1974, 1976, 1977). Además, la tolerancia a Al en ciertas especies forrajeras coincidió con una mayor eficiencia en la asimilación y transporte de P (Andrew y VandenBerg, 1973).

La literatura sobre interacciones entre Al y cationes básicos indica una tendencia casi invariable de un efecto antagónico de Al sobre ellos (Clarkson, 1971; Lee, 1971; Ali, 1973; Foy, 1974). Stress de Al resulta en la reducción de absorción de Ca y Mg de acuerdo a Johnson y Jackson (1964), Martin (1961), McLead y Jackson (1967), y Munns (1965). Una disminución en el crecimiento debido a la deficiencia de Ca causada por el Al ha sido también sugerida por Armiger y colaboradores (1968). Estos resultados sugieren que los síntomas de deficiencia de Ca observados en algunos cultivos en suelos ácidos son debidos a un efecto antagónico del Al sobre el Ca en vez de niveles bajos de Ca en tales suelos.

Este antagonismo entre el Al y Ca parece ocurrir en las raíces. Lance y Pearson (1969) indican que el efecto del Al sobre la absorción de Ca ocurre rápidamente cerca de la superficie de las raíces. Estas observaciones sugirieron que la permeabilidad de las membranas celulares sería afectada por el Al. Por lo tanto, la alteración de la configuración estructural de las membranas por reemplazo de Ca por Al puede inhibir la asimilación de Ca (Lance y Pearson, 1969).

Patterson (1965) concluyó que el Al disminuye la absorción de Ca pero no parece inhibir la translocación de este elemento a la parte aérea. Los resultados obtenidos con leguminosas forrajeras por Andrew y Vanden-Berg (1973) sostienen la conclusión anterior. Consecuentemente, la absorción de Ca sería un mecanismo más importante que la translocación de Ca, afectando la tolerancia diferencial entre especies y variedades.

Varios investigadores indican la existencia de una interacción Al-Mg en las plantas bajo los efectos tóxicos del Al (McLead y Jackson, 1967; Kerridge, 1969; Lee, 1971). Estos investigadores concluyen que el efecto del Al resulta en una marcada inhibición de la absorción de Mg, en igual forma que la del Ca. En conclusión, las interacciones entre Al, Ca y Mg parece jugar un importante rol en la disponibilidad de estos nutrimentos para las plantas y también en la eficiencia de absorción para detectar una habilidad diferencial entre especies y variedades.

Mutua competencia entre pares de cationes para entrar en las raíces es comúnmente reportado (Moore et al., 1961, 1966; Lee, 1971). Si el Al es absorbido en una manera similar a otros cationes, competencia entre Al y otros cationes existen (Ali, 1973). Por tanto, es razonable afirmar que el sistema radicular es inhibido debido a una mayor absorción de Al dentro las células meristemáticas. Esto sugiere que especies y variedades difieren unas de otras en la manera como el Al es absorbido y concentrado en las células. Esto es, que especies y/o variedades tolerantes a Al tienden a excluir el Al por algún mecanismo fisiológico. Con respecto al transporte de Al, Villagarcía (1973) encontró que la concentración de Al en las raíces y parte aérea de variedades de papa sensitivas a Al, incrementó más acentuadamente que variedades tolerantes. A la luz de estos resultados, parece razonable indicar que un aumento del nivel de Al en el medio externo,

causa un aumento en la absorción de Al. Sin embargo, la porción de Al absorbido, la cual es transportado a la parte aérea, parece ser mínima. Esto indica que la mayor parte del Al absorbido es retenido en las raíces. Especies y variedades susceptibles a Al parecen acumular elevadas cantidades de Al en sus sistemas radiculares en comparación de especies y variedades tolerantes.

En base a los factores mencionados anteriormente, se puede observar que durante los últimos años diferencias consistentes han sido encontradas entre especies y variedades para tolerar el Al. La mayoría de los resultados y discusiones han enfatizado sobre la reducción radicular y disminución de rendimientos con poca atención a los mecanismos fisiológicos en la nutrición de las plantas. Esto ha determinado que al presente todavía no se conozca exactamente la fisiología de tolerancia a Al.

4. MECANISMOS DE TOLERANCIA A MANGANESO ENTRE ESPECIES Y VARIEDADES.-

Existen varios trabajos que indican una variabilidad en la tolerancia de especies y variedades a la toxicidad de Mn. Una reciente revisión de literatura (Foy, 1973) indica que especies como arroz y maíz son más tolerantes que soya, cebada y avena. Otro grupo de especies tolerantes a Mn son: tomate > lechuga > cebada > fríjol > papa. Sin embargo, al igual que la tolerancia a Al, dentro de cada especie existen variedades con mayor tolerancia que otras. Esto indica que en el estudio de adaptabilidad o tolerancia a niveles tóxicos de Mn,debería enfatizarse a nivel de variedad y no de especie, puesto que la susceptibilidad de una especie no significa la eliminación de ésta por el hecho de tener variedades que son tolerantes a stress de Mn. Por otra parte, una planta tolerante a toxicidad de Mn no necesariamente resulta ser tolerante a Al (Jackson, 1967). Sin embargo,

existen casos que algunas plantas son tolerantes o susceptibles a ambos, Al y Mn, mientras que otras muestran tolerancias opuestas a un exceso de los dos elementos (Foy, 1976). Un ejemplo es que la variedad de trigo Atlas 66 es más tolerante a Al que la variedad de trigo Monon, pero esta última variedad es más tolerante a Mn que la variedad Atlas 66 (Foy et al., 1965).

Respecto a los posibles mecanismos de tolerancia a Mn, algunas plantas parecen escapar de los efectos tóxicos de Mn por medio de una menor absorción, o por medio de una retención de Mn en el sistema radicular o en otras partes de la planta donde es física o químicamente separado de los sitios metabólicos importantes (Foy, 1973).

El desarrollo de un mecanismo de exclusión de Mn para evitar toxicidad de Mn tiene problemas inherentes debido a que determina si la planta es más tolerante a toxicidad pero más susceptible a deficiencia. Sin embargo, existe evidencia que la tolerancia a Mn está asociada algunas veces con bajas tasas de absorción de Mn (Lohnis, 1951; Vose y Randall, 1962) y grandes diferencias en acumulación de Mn por varias especies en la parte aérea (Jackson, 1967). Tolerancia a Mn en algunas variedades de arroz ha sido atribuída a baja absorción de Mn y tal reducción se atribuye a un incremento del pH externo o a una oxidación de Mn de la forma bivalente a tetravalente en la zona de interfase raíz-suelo. Esto indica que la menor absorción de Mn y por ende una mayor tolerancia, puede atribuírse a propiedades del sistema radicular al tener un mayor poder de oxidación. Algunas plantas restringen el transporte de Mn de las raíces a la parte aérea (Ouellette and Dessureaux, 1958). Esto probablemente se debe a una deposición de exceso de Mn en los vacuolos de las células radiculares. Sin embargo, existen grandes diferencias entre especies y variedades en los niveles de Mn

acumulados en la parte aérea (Helyar, 1978). Esto enfatiza el hecho de que mecanismos de tolerancia en la parte aérea también operan. Generalmente, la tolerancia diferencial en la parte aérea es explicada por una resistencia a la acumulación elevada de Mn en tejido joven (Foy, 1976).

En resumen, la información disponible presentada en las secciones previas subrayan la importancia de dos elementos: Al y Mn, en suelos ácidos. Las condiciones adversas de su toxicidad afectan la productividad de los cultivos con serias implicaciones agro-económicas en el uso racional de altas áreas. Parece que la alternativa de seleccionar y adaptar especies y variedades tolerantes a toxicidad de Al y/o Mn puede proporcionar una dimensión adicional en la solución de los problemas de los suelos ácidos del trópico americano. El principio de esta nueva estrategia es incorporar el factor planta como participante directo en el complejo de infertilidad de estos suelos. En muchos casos, adaptar plantas a suelos ácidos puede resultar más económico que modificar el suelo para desarrollar la planta. En el manejo de suelo y planta para obtener beneficios máximos, se necesita determinar los mecanismos genéticos, fisiológicos y bioquímicos, por los cuales las plantas adaptan su desarrollo a diferentes condiciones adversas del suelo. El caso de la toxicidad de Al y/o Mn constituyen ejemplos del complejo de factores adversos del suelo.

5. LITERATURA CITADA.-

Abbot, J.B., S.D. Conner, and H.R. Smalley. 1913. Soil acidity, nitrification and the toxicity of soluble salts of aluminum. Ind. Agro. Exp. Sta. Bul. 170.

Abruña, F., J. Vicente-Chandler, R.W. Pearson, and S. Silva. 1970. Crop response to soil acidity factors in Ultisols and Oxisols-Tobacco. Soil Sci. Soc. Amer. Proc. 34:629-635.

Abruña, F., R.W. Pearson, and R. Perez-Escolar. 1974. Lime response of corn and beans grown on tropical Oxisols and Ultisols of Puerto Rico. pp 261-282. In E. Bornemisza and A. Alvarado (eds.) Soil Management in Tropical America. North Carolina State University, Raleigh.

Adams, F. 1974. Soil solution. In E.W. Carson (ed.) The Plant Root and Its Environment. University Press of Virginia, Charlottesville. pp 441-481.

Adams, F., and Z.F. Lund. 1966. Effect of chemical activity of soil aluminum on cotton root penetration of acid subsoil. Soil Sci. 101:193-198.

Adams, F., and R.W. Pearson. 1970. Differential response of cotton and peanuts to subsoil acidity. Agron. J. 62:9-12.

Aimi, R., and T. Murakami. 1964. Cell physiological studies on the effect of aluminum on growth of crop plants. Bull. Nat. Inst. Agric. Sci. (Tokyo) 11:331-396.

Ali, M. E. 1973. Influence of cations on aluminum toxicity in wheat (Triticum aestivam (Vill.) Host). Ph.D. Thesis, Oregon State University, Corvallis.

Andrew, C.S. and P.J. Vanden-Berg. 1973. The influence of aluminum on phosphate adsorption by whole plants and excised roots of some pasture legumes. Aust. J. Agric. Res. 24:341-351.

Armiger, W.H., C.D. Foy, A.L. Fleming, and B.E. Caldwell. 1968. Differential tolerance of soybean varieties to an acid soil high in exchangeable aluminum. Agron. J. 60:67-70.

Bennema, J. 1961. Características químicas e físicas de latossolos sob vegetação de Cerrado. pp.137-143. Primeira Reunião Brasileira do Cerrado, Sête Lagoas, Minas Gerais, Brazil.

Bhumbla, D.R. and E.O. McLean. 1965. Aluminum in soils. VI. Changes in pH-dependent acidity, cation-exchange capacity, and extractable aluminum with additions of lime to acid surface soils. Soil Sci. Soc. Amer. Proc. 29:370-374.

Brams, E. A. 1971. Continuous cultivation of west African soils. Organic matter diminution and effects of applied lime and phosphorus. Plant Soil 35:401-414.

Brenes, E. and R.B. Pearson. 1973. Root responses of three gramineae species to soil acidity in an Oxisol and Ultisol. Soil Sci. 116: 295-302.

Cate, R.B,Jr. and A.P. Sukhai. 1964. A study of aluminum in rice soils. Soil Sci. 98:85-93.

Clark, R.B. 1975. Aluminum toxicity and mineral elements in corn inbreds (mimeographed). Journal article No.82-75, Ohio Agricultural Research and Development Center, Wooster. 26 pp.

Clarkson, D.T. 1965. The effect of aluminum in some other trivalent cations on cell division in root apices of allium cepa. Ann. Bot. (London) N.S. 28:309-315.

Clarkson, D.T. 1966. Effect of aluminum on the uptake and metabolism of phosphorus by barley seedlings. Plant Physiology 41:165-172.

Clarkson, D.T., 1969. Metabolic aspects of aluminum toxicity and some possible mechanisms for resitance. pp. 381-397. In I.H. Rorison (ed.) Ecological Aspects of the Mineral Nutrition of Plants. Brit.

Ecol. Soc. Symp. No.9. Blackwell Sci. Pub., Oxford.

Clarkson, D.T. 1971. Inhibition of uptake and long distance transport of calcium by aluminum and other polyvalent cations. J. Exp. Bot. 22:837-851.

Clarkson, D.T., and J. Sanderson. 1969. The uptake of a polyvalent cation and its distribution in the root apices of allium cepa: Tracer and autoradiographic studies. Planta 89:136-154.

Coleman, N.T. and G.W. Thomas. 1967. The basic chemistry of soil acidity. pp. 1-41. In R.W. Pearson and F. Adams (eds.), Soil Acidity and Liming. Series of Agronomy No.12, American Society of Agronomy, Madison.

CPAC. 1976. Relatorio Técnico Anual. Centro de Pesquisa Agropecuaria dos Cerrados. EMBRAPA. Brasilia, Brazil. 150 pp.

Devine, T.E., C.D. Foy, A.L. Fleming, C.H. Hanson, T.A. Campbell, J.E. McMurtrey III, and J.W. Schwartz. 1976. Development of alfalfa strains with differential tolerance to aluminum toxicity. Plant Soil 44:73-79.

DeWaard, P.W.F., and C.D. Sutton. 1960. Toxicity of aluminum to black pepper in Sarawak. Nature 188:1129-1130.

Evans, C.E. and E.J. Kamprath. 1970. Lime response as related to percent Al saturation, solution Al, and organic matter content. Soil Sci. Soc. Amer. Proc. 34:893-896.

Fleming, A.L., and C.D. Foy. 1968. Root structure reflects differential aluminum tolerance in wheat varieties. Agron. J. 60:172-176.

Fox, R.L., S.K. DeDatta, and G.D. Sherman. 1962. Phosphorus solubility and availability to plants and aluminum status of Hawaiian soils as influenced by liming. pp. 574-583. In Trans. Comm. IV and V, Int. Soc. Soil Sci, New Zeland.

Foy, C.D. 1974. Effects of aluminum on plant growth. pp.601-642. In E.W. Carson (ed.) The Plant Root and Its Environment. University Press of Virginia.

Foy, C.D. 1975. Plant adaptation to mineral stresses in problem soils (mimeographed). Paper presented at the Annual Northeastern Regional Grassland Council Meeting, Blackwater Falls. West Virginia. 15 p.

Foy, C.D. 1976. Differential aluminum and manganese tolerances of plant species and varieties in acid soils. Ciencia e Cultura 28(2):150-155.

Foy, C.D. 1977. General principles involved in screening plants for aluminum and manganese tolerance. pp. 255-267. In M.J. Wright (ed.) Plant Adaptation to Mineral Stress in Problem Soils. Cornell University, Ithaca, New York.

Foy, C.D., and J.C. Brown. 1963. Toxic factors on acid soils. I. Characterization of aluminum toxicity in cotton. Soil Sci. Soc. Amer. Proc. 27:403-407.

Foy, C.D., and J.C. Brown. 1964. Toxic Factors in acid soils. II. Differential aluminum tolerance of plant species. Soil Sci. Soc. Amer. Proc. 28:27-32.

Foy, C.D., G.R. Burns, J.C. Brown, and A.L. Fleming. 1965. Differential Al tolerance of two wheat varieties associated with plant induced pH changes around their roots. Soil. Sci. Soc. Am. Proc. 29:64-67.

Freitas, F.G. de, and C.O. da Silveira. 1977. Pricipais solos sob vegetação de cerrado e sua aptidão agrícola. pp. 155-209. In M.G. Ferri (Coord.) Simposio sobre o Cerrado. IV. Ed. Itatiaia, Lta. São Paulo, Brazil.

Gonzalez - Erico, E. 1976. Effect of depth of lime incorporation on the growth of corn in Oxisols of central Brazil. Ph.D. Thesis, North Carolina State University, Raleigh. 126 pp.

Hartwell, B.L., and F.R. Pember. 1918. The presence of aluminum as a reason for the difference in the effect of so-called acid soil on barley and rye. Soil Sci. 6:259-279.

Helyar, K.R. 1978. Effects of aluminum and manganese toxities on legume growth. pp. 207-231. In: Andrew, C.S. and E.J. Kamprath (ed.). Mineral Nutrition of Legumes in Tropical and Subtropical Soils. SCIRO, Melbourne, Australia.

Hewitt, E.J. 1963. The essential nutrient elements: Requirements and interactions in plants. pp. 137-360. In: Steward F.C. (ed.), Plant Physiology Vol.III, Inorganic Nutrition of Plants. Academic Press, London.

Howeler, R.H., and L.F. Cadavid. 1976. Screening rice cultivar for tolerance to Al- toxicity in nutrient solutions as compared with a field screening method. Agron. J. Vol. 68:551-555.

Jackson, W.A. 1967. Physiological effects of soil acidity. pp.43-124. In: R.W. Pearson and F. Adams (eds.), Soil Acidity and Liming. Series of Agronomy No.12, American Society of Agronomy, Madison.

Johnson, R.E., and W.A. Jackson. 1964. Calcium uptake and transport by wheat seedlings as affected by aluminum. Soil Sci. Proc. Amer. Proc. 28:381-386.

Jones, L.H. 1961. Aluminum uptake and toxicity in plants. Plant Soil 13:297-310.

Kamprath, E.J. 1970. Exchangeable aluminum as a criterion for liming leached mineral soils. Soil Sci. Soc. Amer. Proc. 34:252-254.

Kamprath, E.J. 1977. Phosphorus fixation and availability in highly weathered soils. In M.G. Ferri (coord.) Simposio sobre o cerrado. IV. Ed. Itatiaia. Lta. São Paulo, Brazil. pp.333-347.

Kamprath , E.J., and C.D. Foy. 1971. Lime- fertilizer-plant interactions in acid soils. pp.105-151. In R.A. Olsen et al., (eds.) Fertilizer technology and use. Second edition. Soil Sci. Soc. Am., Madison, Wisconsin.

Kellogg, C.E. and A.C. Orvedal. 1969. Potentially arable soils of the world and critical measures for their use. Adv. Agron. 21:109-170.

Kerridge, P.C. 1969. Aluminum toxicity in wheat (Triticum aestivum Vill., Host.). Ph.D. Thesis, Oregon State University, Corvallis.

Kerridge, P.C., and W.E. Kronstad. 1968. Evidence of genetic resistance to aluminum toxicity in wheat (Triticum aestivum Vill., Host). Agron. J. 60:710-711.

Kerridge, P.C., M.D. Dawson, and P.D. Moore. 1971. Separation of degrees of aluminum tolerance in wheat. Agron. J. 63:586-591.

Keser, M., F.B. Neubauer, F.E. Hutchinson, and D.B. Verrill. 1977. Differential aluminum tolerance of sugar beet cultivars as evidence by anatomical structure. Agron. J. 69:347-350.

Klimashevskii, E.L. and Bereyovskii, K.K. 1973. Genetic resistance to ionic toxicity in the root zone. Soviet plant Physiology. 20:51-54 (Eng. trans.)

Lafever, H.N., L.G. Campbell, and C.D. Foy. 1977. Differential response of wheat cultivars to aluminum. Agron. J. 69:563-568.

Lance, J.C. and R.W. Pearson. 1969. Effects of low concentration of aluminum on growth and water and nutrient uptake by cotton roots. Soil Sci. Soc. Amer. Proc. 33:95-98.

Lee, C.R. 1971. Influence of aluminum on plant growth and mineral nutrition of potatoes. Agron. J. 63:604-608.

Lin, C. and N.T. Coleman. 1960. The measurement of exchangeable aluminum in soils and clays. Soil Sci. Soc. Am. Proc. 24:444-446.

Lohnis, M.P. 1951. Manganese toxicity in field and market garden crops. Plant Soil 3:193-222.

Loneragan, J.F. and C.J. Asher. 1967. Response of plants to phosphate concentration in solution culture. II. Rate of phosphate absorption and its relation to growth. Soil Sci. 103:311-318.

Lopes, A.S. 1977. Available water, phosphorus fixation, and zinc levels in Brazilian Cerrado soils in relation to their physical, chemical, and mineralogical properties. Ph.D. Thesis, North Carolina State University, Raleigh.

Lopes, A.S., and F.R. Cox. 1977. A survey of the fertility status of surface soils under "Cerrado" vegetation in Brazil. Soil Sci. Soc. Amer. Proc. 41:742-747.

Magistad, O.C. 1925. The aluminum content of the soil solution and its relation to soil reaction and plant growth. Soil Sci. 20:181-226.

Martin, J.B. 1961. Interrelationships of calcium and aluminum in turf species used for highways. Ph.D. Thesis, Virgina Polytechnic Institute, Blackburg University.

McCormick, L.H. and F.Y. Borden. 1974. The occurrence of aluminum-phosphate precipitate in plant roots. Soil Sci. Soc. Amer. Proc. 38:931-934.

McCart, G.D., and E.J. Kamprath. 1965. Supplying Ca and Mg for cotton on sandy, low cation exchange capacity soils. Agron. J. 57:404-406.

McLean, E.D. 1976. Chemistry of soil aluminum. Commn. Soil Sci. Plant Anal. 7:619-636.

McLead, L.B. and L.P. Jackson. 1967. Aluminum tolerance of two barley varieties in nutrient soulution, pea, and soil culture. Agron. Jour. 59:359-363.

Moore, D.P. 1964. Absorption of nutrient ions by plants. Proc. fifth Ann. Fert. Conf. Pacific Northwest, Salem, Oregon.

Moore, D.P. 1973. Physiological effects of pH on roots. pp.135-151. In E.W. Carson (ed.) The plant root and its environment. Univ. Press of Virginia.

Moore, D.P., W.E. Kronstand and R.J. Metzger. 1977. Screening wheat for aluminum tolerance. pp.287-295. In M.J. Wright (ed.), Plant Adaptation to Mineral Stress in Problem Soils. Cornell University, Ithaca, New York.

Moore, D.P., L. Jacobson, and R. Overstrect. 1961. Uptake of calcium by excesing barley roots. Plant Physiol. 36:53-57.

Munns, D.N. 1965. Soil acidity and the growth of a legume. III. Interactions of lime and phosphate in growth of Medicago sativa L. in relation to aluminum toxicity and phosphate fixation. Aust. J. Agr. Res. 16:757-766.

Nye, P., D. Craig, N.T. Coleman and J.L. Ragland. 1961. Ion exchange equilibria involving aluminum. Soil Sci. Soc. Amer. Proc. 25:14-17.

Olmos, I.L.L. and M.N. Camargo. 1976. Ocorrencia de aluminio tóxico nos solos do Brasil, sua caracterização e distribução. Ciencia e Cultura 28(2):171-180.

Ouellete, G.J., and L. Dessureaux. 1958. Chemical composition of alfalfa as related to degree of tolerance to manganese and aluminum. Can. J. Plant Sci. 38:206-214.

Patterson, J.W. 1965. The effect of aluminum on the absorption and translocation of calcium and other elements in young corn. Ph.D. Thesis, Pensylvania State University.

Pearson, R.W. 1975. Soil acidity and liming in the humid tropics. Cornell Intr. Agric. Bull. No.30. Cornell University. 66 pp.

Popenoe, H. 1960. Some soil cation relationships in an area of shifting cultivation in the humid tropics. 7th Inter. Cong. Soil Sci. Proc. 11:303-311.

Ragland, J.L. 1959. Some reactions of aluminum in acid soils and their implications concerning root growth. Ph.D. Thesis, North Carolina State University, Raleigh. 140 pp.

Randall, P.J. and P.B. Vose. 1963. Effect of aluminum on uptake and translocation of phosphorus-32 by perennial ryegrass. Plant Physiology 38:403-409.

Raupach, M. 1963. Solubility of simple aluminum compounds expected in soils. II. Hydolysis and conductance of Al^{+3}. Aust. J. Soil Sci. 1:36-45.

Rees, W.J., and G.H. Sidrak. 1961. Plant nutrition on fly ash. Plant Soil 8:141-159.

Reid, D.A., A.L. Fleming, and C.D. Foy. 1971. A method for determining aluminum response of barley in nutrient solution in comparison to response in Al-toxic soil. Agron. J. 63:600-603.

Rodriguez, O. 1976. Consideraciones sobre el manejo de Ultisoles y Oxisoles en los Llanos Orientales. pp 87-128. En: Memorias IV Congreso Venezolano de la Ciencia del Suelo, Maturin, Venezuela.

Rhue, R.D., and C.O. Grogan. 1977. Screening corn for aluminum tolerance. In M.J. Wright (ed.) Plant Adaptation to Mineral Stress in Problem Soils. Cornell University, Ithaca, New York. pp 297-310.

Salinas, J.G. 1978. Differential response of some cereal and bean cultivars to Al and P stress in an Oxisol of central Brazil. Ph.D. Thesis. North Carolina State University, Raleigh. 326 pp.

Salinas, J.G., and P.A. Sanchez. 1976. Soil-plant relationships affecting varietal and species differences in tolerance to low available phosphorus. Ciencia e Cultura 28(2):156-168.

Sampson, M., D. Clarkson, and D.D. Davies. 1965. DNA synthesis in aluminum-treated roots of barley. Science 148:1.476-1.477.

Sanchez, P.A. and T.T. Cochrane. 1979. Soil constraints in relation to major farming systems of Tropical America. Paper to be presented at the Symposium on Soil Constraints to Food Production in the Tropics. IRRI, Los Baños, Philippines, 4-8 June, 1979. 37 pp.

Sanchez, P.A. and R.F. Isbell. 1979. A comparison of the soils of Tropical Latin America and Tropical Australia. pp 25-54. In: P.A. Sanchez and L.E. Tergas (ed.): Pasture Production in Acid Soils of the Tropics, Centro Internacional de Agricultura Tropical, Cali - Colombia.

Sanchez, P.A. 1977. Advances in the Management of Oxisols and Ultisols in Tropical South America. pp:535-566. In: Proceedings of the International Seminar on Soil Environment and Fertility Management in Intensive Agriculture. Society of Science Soil and Manure. Tokyo, Japan.

Sartain, J.B., and E.J. Kamprath. 1975. Effect of liming a highly Al-saturated soil on the top and root growth and soybean nodulation. Agron. J. 67:507-510

Siman, A., F.W. Cradock, and A.W. Hudson. 1974. The development of manganese toxicity in pasture legumes under extreme climatic conditions. Plant Soil 41:129-140.

Smyth, T.J. 1976. Comparison of the effects of phosphorus, lime, and silicate applications on phosphorus sorption ion exchange, and rice growth in an Oxisol from the Cerrado of Brazil. M.S. Thesis, North Carolina State University, Raleigh. 138 pp.

Seubert, C.E., P.A. Sanchez and C. Valverde. 1977. Effects of land clearing methods on soil properties and crop performance in an Ultisol of the Amazon Jungle of Peru. Trop. Agric. (Trin.) 54:307-321.

Soarez, W.V., E. Lobato, E. Gonzalez, e G. Naderman, Jr. 1975. Encalado de los suelos del Cerrado Brasilero. pp. 287-303. In: E. Bornemiza y A. Alvarado (eds.) Manejo de suelos en la América Tropical. North Carolina State University, Raleigh.

Spain, J.M. 1977. Field Studies on Tolerance of Plant Species and Cultivars to Soil Conditions. pp. 213-222. In: M. J. Wright (ed.) Plant adaptation to mineral stress in problem soils. Cornell University, Ithaca, New York.

Spain, J.M., C.A. Francis, R.H. Howeler, and F. Calvo. 1975. Differential species and varietal tolerance to soil acidity in tropical crops and pastures. pp. 308-329. In E. Bornemisza and A. Alvarado (ed.) Soil Management in Tropical America. North Carolina State University, Raleigh.

Tisdale , S.L. and W.L. Nelson. 1966. Soil Fertility and Fertilizers. The Macmillan Company, New York. pp. 427-428, 519-521.

Uehara, G., and J. Keng. 1975. Management implications of soil mineralogy in Latin America. pp. 351-363. In E. Bornemiza and A. Alvarado (eds.) Soil Management in Tropical America. North Carolina State University, Raleigh.

Veitch, F.D. 1904. Comparison of methods for the estimation of soil acidity. J. Amer. Chem. Soc. 10:637.

Villagarcia, Sven. 1973. Aluminum tolerance in the Irish potato (Solanum tuberosum) and the influence of substrate aluminum on growth and mineral nutrition of potatoes. Ph.D. Thesis, North Carolina State University, Raleigh. 200 pp.

Vose, P.B., and P.J. Randall. 1962. Resistance to aluminum and manganese toxicities in plant related to variety and cation exchange capacity. Nature 196: 85-86.

Weaver, R.M. 1974. Soils of the Central Plateau of Brazil. Chemical and mineralogical properties. Agronomy Mimeo 74-8, Cornell University, Ithaca, New York. 45 pp.

Wolf, J.R. 1975. Water constraints to corn production in Central Brazil. Ph.D. Thesis, Cornell University, Ithaca. 199 pp.

Yost, R.S. 1977. Effect of rate and placement on availability and residual value of P in an Oxisol of Central Brazil. Ph.D. Thesis, North Carolina State University, Raleigh. 160 pp.

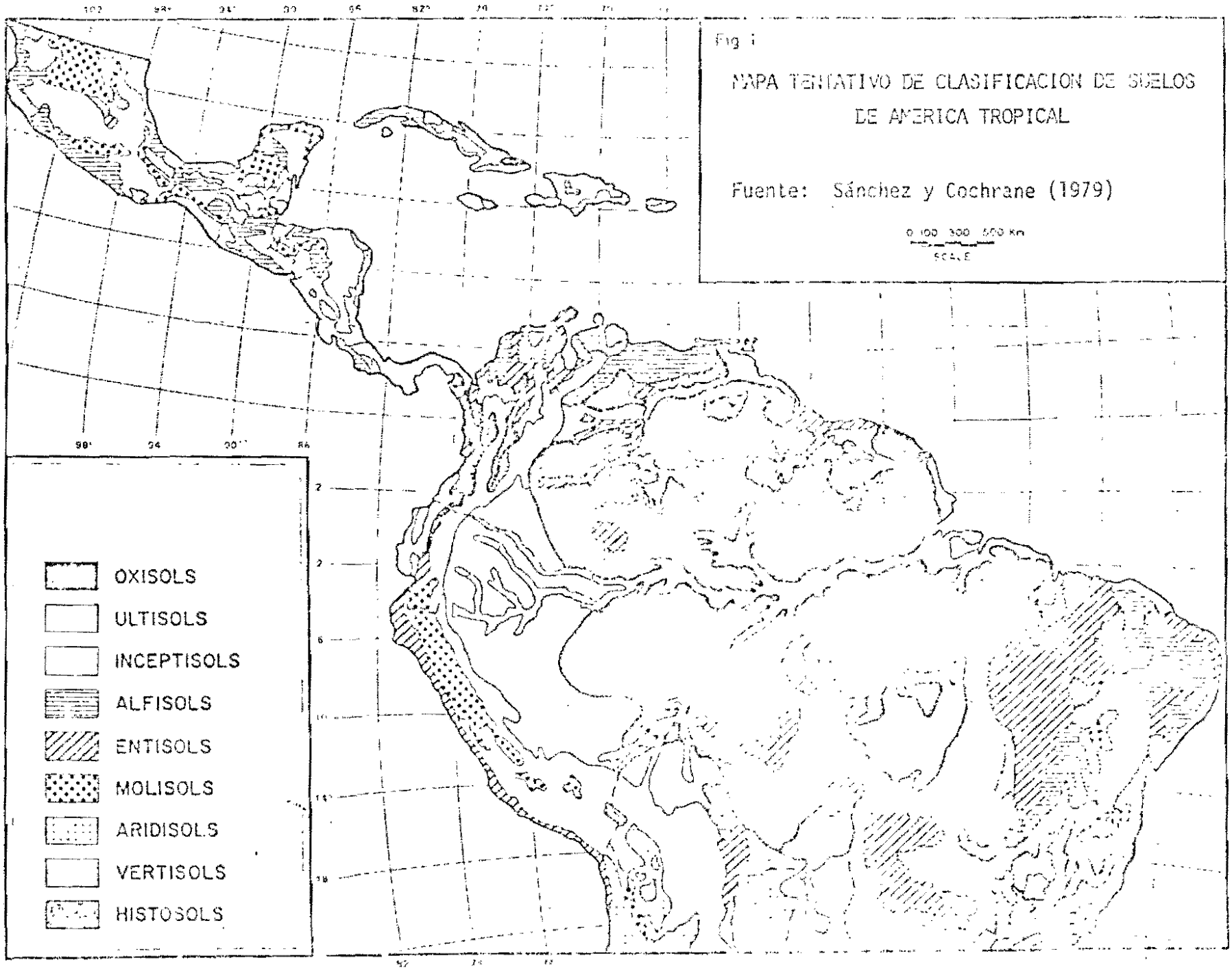


Fig. 1

MAPA TENTATIVO DE CLASIFICACION DE SUELOS DE AMERICA TROPICAL

Fuente: Sánchez y Cochrane (1979)

0 100 300 500 Km
SCALE

TABLA 1.- DISTRIBUCION APROXIMADA DE ORDENES DE SUELO POR FAJAS ALTITUDINALES Y TEMPERATURAS APROXIMADAS DEL SUELO EN AMERICA TROPICAL.

Orden de Suelo	Zona de Tierras bajas 0-900m. (isohipertémico)	Zona Intermedia 900-1800m. (isotérmico)	Zona Montañosa 1800-3000m. (isomésico)	Zona Altiplánica 3000-5000m. (isofrígido)	América Tropical	%
	millones ha					
Oxisoles	484	28	0	0	512	34
Ultisoles	310	10	0	0	320	22
Inceptisoles	134	56	41	4	235	16
Alfisoles	151	24	8	0	183	12
Entisoles	108	15	0	1	124	8
Mollisoles	55	3	7	0	65	4
Aridisoles	23	0	0	7	30	2
Vertisoles	20	0	0	0	30	1
Histisoles	4	0	0	0	4	-
Faja Total	1289	136	56	12	1493	
% América Tropical	86	9	4	1	100	

Fuente: Sánchez y Cochrane (1979)

Table 2. Profile analysis of selected Oxisols and Ultisols from experiment stations.

Horizon (cm)	Clay %	Sand %	pH (1:1 H_2O)	Org.C %	Exchangeable cations (meq/100 g) Al	Ca	Mg	K	CEC	Al satn. %
Oxisol, Brasilia, Cerrado of Brazil. Typic Haplustox, fine, kaolinitic isohyperthermic. Dark Red Latosol Profile 1, Centro de Pesquisa Agropecuaria dos Cerrados. (Source: EPFS, 1964).										
0–10	45	36	4.9	1.8	1.9	0.4		.10	2.4	79
10–35	48	33	4.8	1.2	2.0	0.2		.05	2.2	89
35–70	47	35	4.9	0.9	1.6	0.2		.03	1.8	88
70–150	47	35	5.0	0.7	1.5	0.2		.01	1.7	88
150–260	42	39	4.6	0.3	0.7	0.2		.02	0.9	76
Oxisol, Carimagua, Llanos Orientales of Colombia. Tropeptic Haplustox, fine clayey mixed, isohyperthermic. Profile Ca-4, Centro Nacional de Investigaciones Carimagua. (Source: Mejía 1975).										
0–20	37	6	4.9	3.1	2.8	0.2	0.2	.10	3.4	82
20–51	39	5	5.0	1.5	2.0	0.1	0.1	.10	2.3	85
51–82	40	5	4.8	0.8	1.9	0.1	0.1	.10	2.2	84
82–117	40	5	5.4	0.6	1.1	0.1	0.1	.10	1.6	69
117–132	48	5	5.8	0.4	–	0.2	0.2	.30	0.8	–
132–152	52	4	5.9	0.3	–	0.2	0.2	.30	0.7	–
Ultisol, Jusepín, Mesas Orientales de Venezuela. Oxic Paleustult, fine loamy, isohyperthermic. Maturín series Profile I. Universidad del Oriente (Source: Espinosa, 1970).										
0–28	24	69	4.7	0.9	0.5	0.5	0.1	.01	1.1	43
28–65	29	61	4.6	0.6	0.6	0.4	0.1	.01	1.1	54
65–95	37	53	4.7	0.3	0.6	0.4	0.1	.01	1.1	50
96–220	40	51	4.9	0.4	0.7	0.4	0.2	0.1	1.3	52
Ultisol, Yurimaguas, Amazon Jungle of Peru. Typic Paleudult, fine loamy, siliceous, isohyperthermic. Profile Yu-13, Estación Experimental de Yurimaguas (Source: Tyler 1975).										
0–5	6	80	3.8	1.3	2.0	.84	.37	.20	3.4	59
5–13	10	70	3.7	0.8	2.6	.05	.03	.04	2.7	96
13–43	15	61	3.9	0.4	3.1	.05	.03	.03	3.2	96
43–77	17	57	4.0	0.3	3.1	.03	.02	.02	3.2	97
77–140	25	51	4.1	0.2	4.5	.03	.01	.03	4.6	98
140–200	24	54	4.4	0.2	3.8	.06	.03	–	3.9	96
Ultisol, Pucallpa, Amazon Jungle of Peru. Aquic Paleudult, clayey, mixed, isohyperthermic. Profile Pu-2. Instituto Veterinario de Investigaciones del Trópico y Altura (Source: North Carolina State University 1973).										
0–3	27	35	5.2	6.3	0.2	4.2	2.1	.52	7.1	3
3–21	45	17	4.3	1.9	4.0	2.2	1.2	.40	7.9	51
21–62	59	15	4.2	1.0	8.7	0.8	0.9	.32	10.8	81
62 +	59	21	4.1	0.5	11.6	0.4	0.7	.24	13.1	89

TABLA 3.- Extensión aproximada de área con limitaciones edáficas en la región de suelos ácidos infértiles. Extensión total de cada Orden en paréntesis. Signos de interrogación indican información insuficiente.

Limitación Edáfica	Oxisoles (512)	Ultisoles (320)	Inceptisoles (119)	Entisoles (88)	Histosoles (4)	Area Total (1043)	% del Total
	---------- millones ha ----------						
FISICA:							
Baja capacidad retención agua	504	0	0	79	0	583	56
Stress de agua (3 meses)	170	35	15	79	0	299	29
Erosión	17	160	47	80	0	304	29
Compactación	0	160	0	9	0	169	16
Mal drenaje	0	72	47	0	4	123	12
Laterita	48	71	0	0	0	119	11
QUIMICA:							
Deficiencia P	512	320	83	83	4	1002	96
Deficiencia N	504	306	71	88	0	969	93
Deficiencia K	512	160	0	40	4	799	77
Toxicidad Al	409	256	18	73	0	756	72
Deficiencia S	512	160	0	73	0	745	71
Deficiencia Mg	496	224	0	7	4	731	70
Deficiencia Ca	504	224	0	0	4	732	70
Retención P	512	160	0	0	0	672	64
Deficiencia Zn	468	100	0	77	0	645	62
Baja CIC	504	224	0	73	0	801	77
Deficiencia Cu	256	50	0	?	4	310	30
Salinidad	0	0	0	0	0	0	0
Alcalinidad	0	0	0	0	0	0	0
Deficiencia Fe	0	0	0	0	0	0	0
Toxicidad Mn	?	?	?	0	0	?	?
Deficiencia B	?	?	?	?	?	?	?
Deficiencia Mo	?	?	?	?	?	?	?

Fuente: Sánchez y Cochrane (1979)

RELACIONES SUELO-PLANTA QUE AFECTAN LAS DIFERENCIAS ENTRE ESPECIES Y VARIEDADES PARA TOLERAR BAJA DISPONIBILIDAD DE FOSFORO EN EL SUELO

JOSE G. SALINAS

PEDRO A. SANCHEZ

1979

CENTRO INTERNACIONAL DE AGRICULTURA TROPICAL

RELACIONES SUELO-PLANTA QUE AFECTAN LAS DIFERENCIAS ENTRE ESPECIES Y VARIEDADES PARA TOLERAR BAJA DISPONIBILIDAD DE FOSFORO EN EL SUELO [1/]

José G. Salinas y Pedro A. Sánchez [2/]

Durante los últimos años tanto fitomejoradores, fitofisiólogos como especialistas en suelos, han reconocido la existencia de diferencias entre especies y variedades para tolerar factores adversos del suelo. Las más notables son las diferencias existentes entre variedades en cuanto a resistencia a la sequía y a elevados niveles de saturación de aluminio en el suelo. El hecho de que genes específicos hayan sido identificados como reguladores de algunos de estos factores, sugiere que la tolerancia varietal a condiciones adversas del suelo puede ser incorporada como objetivo específico en el mejoramiento de plantas. Un mejor entendimiento de las diferencias entre especies y variedades puede constituir un aporte significativo al adaptarlas en nuevas áreas, las cuales requirirán insumos más bajos en fertilizantes.

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

Teniendo en cuenta los altos costos actuales de fertilizantes, la solución de este problema consistiría en una triple estrategia:

1/ Trabajo originalmente publicado en inglés en la revista brasilera Ciencia y Cultura 28(2):156-168, 1976.

2/ Al presente, Jefe Sección Suelos-Nutrición Plantas, Programa Pastos Tropicales del CIAT, y Coordinador Programa de Suelos Tropicales, Universidad Estatal de Carolina del Norte, respectivamente.

1) Determinar los métodos más eficientes de aplicación de fósforo a través de investigaciones sobre fuentes, frecuencia, métodos de aplicación y evaluación de los efectos residuales.

2) Reducir la capacidad de fijación de fósforo de estos suelos por medio del uso de correctivos relativamente económicos, tales como cal y silicatos.

3) Seleccionar y usar especies y variedades más tolerantes y eficientes a baja disponibilidad de fósforo en el suelo.

A pesar de que las diferencias entre especies y variedades mejor estudiadas son relativas a la resistencia a sequía y a altos niveles de aluminio en el suelo, diferencias entre especies y variedades en cuanto a la utilización eficiente del fósforo, han sido reconocidas hace más de 40 años (Thomas, 1930, Lyness, 1936). Sin embargo, los autores desconocen los casos en que estos conceptos hayan sido aplicados a nivel de agricultor.

El presente trabajo constituye una revisión y actualización de conocimientos sobre la tolerancia de especies y variedades a una baja disponibilidad de fósforo en el suelo. El propósito principal es resumir el estado actual de conocimientos del tema en términos de:

1) La cuantificación de tales diferencias.

2) Los mecanismos considerados responsables por estas diferencias.

3) La influencia del aluminio en la tolerancia a bajos niveles de fósforo, y

4) La respuesta diferencial de cultivos a la fertilización fosforada.

EXISTENCIA DE RESPUESTA DIFERENCIAL ENTRE ESPECIES Y VARIEDADES A BAJOS NIVELES DE FOSFORO

Evidencias de Campo

Las diferencias entre especies cultivadas son bastante conocidas por los agricultores. En la sabana de "Campo Cerrado" del Brasil, así como también en otras regiones tropicales con suelos similares, se siembra más a menudo arroz de secano que maíz, a pesar de que el maíz tolera muchos más las sequías temporales (veránicos) que ocurren en la estación lluviosa.

Un trabajo reciente efectuado en los Llanos Orientales de Colombia en Oxisoles, muy semejantes a los de "Cerrado", nos proporciona una explicación a esta observación general. Especialistas de CIAT (1971) compararon la respuesta a aplicaciones de cal y fósforo en arroz de secano y maíz sembrados al mismo tiempo, y en parcelas adyacentes. La Figura 1, ilustra estos resultados y muestra dramáticamente que el arroz de secano no respondió al fósforo mientras que el maíz requirió 50 kg P_2O_5/ha para obtener rendimientos en grano comparables a los de arroz.

En una reciente revisión bibliográfica sobre investigaciones de suelos en la América Tropical, Kamprath (1973) observó que las recomendaciones generales para maíz son de 100 a 150 kg P_2O_5/ha, mientras que para el arroz de secano son de 0 a 60 kg P_2O_5/ha. Estos datos muestran la importancia práctica de las diferencias entre especies.

Existe también evidencia cuantitativa adicional que puede ser agrupada en dos clases: diferencias entre especies o variedades en relación a niveles críticos externos de fósforo (en el suelo) y niveles críticos internos (en la planta).

Niveles Críticos Externos

La única forma de fósforo absorbido por las plantas es el ión fosfato de la solución del suelo. Un informe reciente (Fox et al. 1974) ha demostrado la existencia de una concentración óptima de fósforo en la solución del suelo que correlaciona con una producción adecuada y que esta concentración varía entre especies. Los resultados ilustrados en la Figura 2 muestran que especies tales como batata (*Ipomoea batatas*) son más tolerantes a bajos niveles de fósforo en la solución del suelo que lechuga (*Lactuca sativa*) mientras que maíz (*Zea mays*) y repollo (*Brassica pekinensis*) ocupan posiciones intermedias.

Si la concentración de fósforo en la solución del suelo que produce 95% del rendimiento máximo, es considerado como el "requerimiento externo de fósforo", entonces existe diferencias significativas entre especies. La Tabla 1 indica una diferencia de 10 veces en este requerimiento externo de P entre dos hortalizas similares (lechuga y repollo). Esta tabla indica además que el requerimiento externo de P para una leguminosa forrajera del género *Desmodium* fué alto durante el período de establecimiento (0.20 ppm)

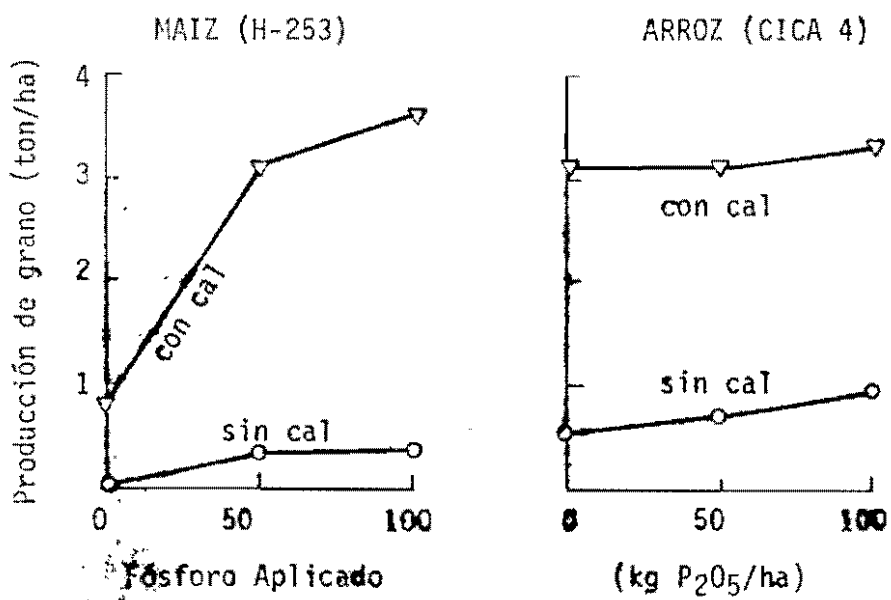


FIGURA 1. Diferencias entre maíz y arroz de secano en respuesta a aplicaciones de fósforo en un Oxisol de los Llanos Orientales de Colombia. (CIAT 1971).

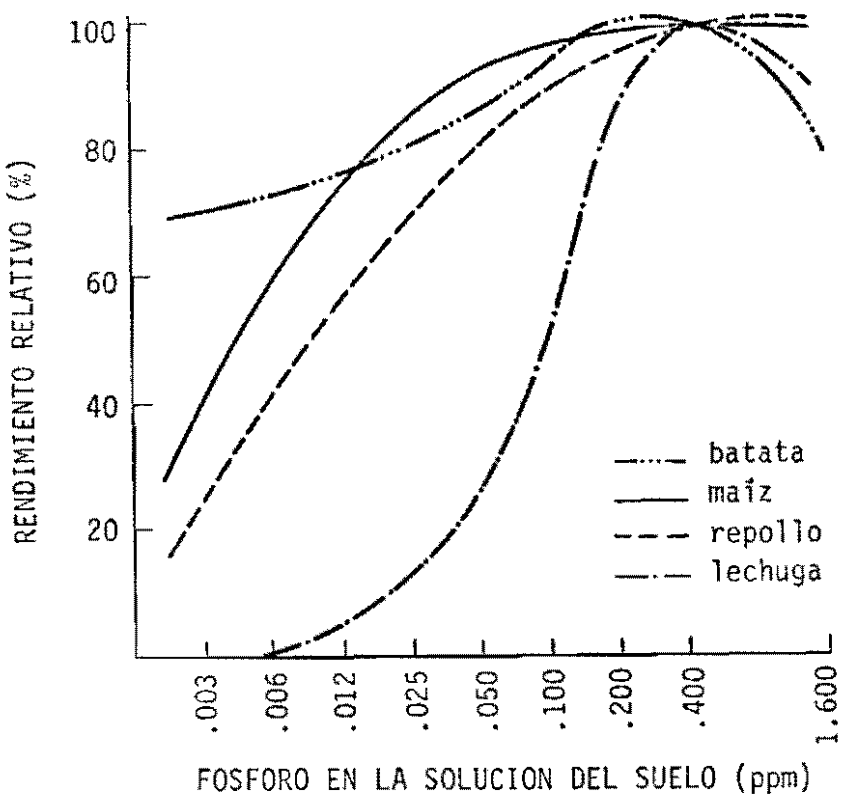


FIGURA 2. Curvas de respuesta para batata, maíz, repollo y lechuga cultivados en un suelo Latosol rojo (Eutrustox) de Hawaii. (Fox *et al.*, 1974).

TABLA 1 — Niveles críticos externos de fósforo de varios cultivos tropicales.

CULTIVO	FOSFORO EN LA SOLUCION DEL SUELO ASOCIADO CON UN 95% DE RENDIMIENTO MAXIMO
	ppm
Lechuga	0.40
Tomate	0.25
Pepino	0.20
Soya	0.20
Leguminosa forrajera	
(Desmodium aparines)	
establecimiento	0.20
segundo corte	0.01
Batata	0.10
75% rendimiento máximo	0.003
Maíz	0.60
Sorgo	0.50
Repollo	0.04

Fuente: Fox *et al* (1974) y Fox (datos no publicados).

pero disminuyó a 0.01 ppm P después del segundo corte. Esta última comparación sugiere que el suministro de fósforo a leguminosas tropicales es especialmente crítica durante el período de establecimiento en suelos bajos en este elemento.

El bajo rendimiento externo de fósforo en el caso de batata es de interés considerable. El hecho de que un 75% de su rendimiento máximo sea obtenido con niveles tan bajos como 0.003 ppm P en la solución del suelo, tiene una implicación económica importante. Desafortunadamente, existen pocos datos disponibles para otros importantes cultivos, tales como arroz, yuca, trigo, cowpea, o para muchas gramíneas y leguminosas forrajeras.

La cantidad de fertilizante fosforado necesaria para aumentar la concentración de P en la solución del suelo a niveles óptimos, varía drásticamente con el tipo de suelo debido a diferencias en su capacidad para "fijar" fósforo. La relación entre fósforo fijado y fósforo en la solución del

suelo puede ser evaluada por medio de curvas de fijación de P conocidas también como "isotermas de adsorción", desarrolladas por Fox y Kamprath (1970). Tales curvas muestran que las cantidades de P necesarias para obtener niveles óptimos en la solución del suelo alrededor de 0.2 ppm P varía considerablemente entre suelos considerados con una alta capacidad fijadora de P. Por ejemplo, un Ultisol arenoso (Podzol Vermelho Amarelo) de la selva amazónica del Perú requiere alrededor de 25 ppm de P para tener ese nivel en la solución del suelo; un Ultisol arcilloso de la misma región require 100 ppm P; un Oxisol arcilloso (Latosol Vermelho Amarelo) de los Llanos Orientales de Colombia require alrededor de 250 ppm P; un Oxisol limoso (Latosol Vermelho Amarelo) de Brasilia requiere 550 ppm P, y un Oxisol arcilloso (Latosol Vermelho Escuro) de Brasilia requiere 750 ppm P (North Carolina State University, 1973; Fox et al., 1974). Estas diferencias son debidas principalmente a diferencias en comparación mineralógica y textura. La textura por sí misma tiene una influencia directa en los niveles óptimos de P en la solución del suelo. Para maíz y fríjol cultivados en suelos arcillosos, el requerimiento externo de P en la solución del suelo es alrededor de 0.07 ppm P pero en suelos arenosos es alrededor de 0.2 ppm P (Baldovinos y Thomas, 1967; Fox y Kamprath, 1970). El mayor requerimiento en suelos arenosos es debido a la discontinuidad existente en la solución del suelo y a la menor difusión.

Niveles Críticos Internos

Los trabajos de Andrew y Robins (1969, 1971) en Australia, confirman la existencia de niveles críticos internos. Ellos determinaron las concentraciones críticas de fósforo en la parte aérea de varias especies de pastos tropicales, las cuales fueron correlacionadas con máximos rendimientos. Este porcentaje de fósforo en la parte aérea de la planta, sobre el cual no hubo respuesta posterior de crecimiento, fue considerado como nivel crítico interno de fósforo. Algunos de sus resultados (Tabla 2) muestran que especies leguminosas forrajeras tales como *Stylosanthes humilis* y *Centrosema pubescens* tienen un nivel crítico interno más bajo que especies tales como *Glycine weightii* y *Medicago sativa*. Las primeras dos especies son nativas de regiones con suelos bajos en fósforo disponible y otros nutrimentos.

La misma observación fue hecha con gramíneas forrajeras. Gramíneas tales como *Digitaria decumbens* y *Melinis minutiflora* tienen bajos niveles

TABLA 2 — Niveles Críticos Internos de Fósforo de especies forrajeras asociadas con rendimientos máximos en Queensland, Australia.

ESPECIE FORRAJERA	% P EN PARTE AEREA
Leguminosas:	
Stylosanthes humilis	0.17
Centrosema pubescens	0.16
Desmodium intortum	0.22
Glycine weightii	0.23
Medicago sativa	0.25
Gramíneas:	
Digitaria decumbens	0.16
Melinis minutiflora	0.18
Panicum maximum	0.19
Pennisetum clandistinum	0.22
Chloris gayana	0.23
Paspallum dilatatum	0.25

Fuente: Andrew y Robins (1969, 1971).

críticos y son muy comunes en suelos ácidos con baja disponibilidad de fósforo, mientras *Chloris gayana* y *Paspallum dilatatum* tienen un nivel crítico interno más alto.

Selección Directa

El Instituto Internacional de Investigación del Arroz en Filipinas (IRRI) está conduciendo un programa relativo a seleccionar variedades de arroz tolerantes a varias condiciones adversas del suelo, incluyendo baja disponibilidad de fósforo en el suelo. A través de experimentos preliminares en invernadero (IRRI, 1971; Ponnamperuma y Castro, 1972) seguidos de experimentos de campo con dos niveles de fósforo aplicados (IRRI, 1972) han clasificado un gran grupo de variedades de acuerdo a su tolerancia a bajos niveles de fósforo en el suelo. Algunos ejemplos están ilustrados en la Tabla 3. La clasificación por grado de tolerancia está basada en la respuesta

TABLA 3 . Clasificación de variedades de arroz de acuerdo a su tolerancia a baja disponibilidad de fósforo en un Ultisol de Louisiana, Filipinas.

TOLERANTE	MODERADAMENTE TOLERANTE	MODERADAMENTE SUSCEPTIBLE	SUSCEPTIBLE
IR 4-11	IR 5	IR 442-2-58	IR 579-48-1
Bahagia	IR 8	IR 1008-14-1	IR 747B-26-3
BG-79	IR 20	IR 1154-233-2	IR 878B-4-220
CAS-209	IR 22	Taichung (N) 1	Bala
Engkatok	IR 24	TKM6	C 22
Pelita I/1	IR 661-1-70		Colombia 1
Pelita I/2	IR 1154-68-2		CP231xSL017
RD 1	CICA 4		ICA 10
SR 26 B	Peta		M1-48
	T442-35		M1-273
			OS 4
			SML Acorni

Fuente: IRRI (1972)

relativa a las aplicaciones de fósforo en el campo. Desafortunadamente, datos que puedan ser usados para estimar los niveles críticos internos y/o externos no fueron incluídos. Sin embargo, los resultados de este estudio sugieren que puede ser posible la selección de variedades no solo para tolerancia a baja disponibilidad de fósforo sino también para tolerancia a otros problemas del suelo, tales como deficiencia o toxicidad a hierro y a concentraciones tóxicas de compuestos reducidos. Las variedades con un espectro más amplio de resistencia a condiciones adversas al suelo son: IR 24, CAS 209, y BG 79. Las variedades Pelita I/1 y Pelita I/2 son consideradas como fuentes genéticas para tolerancia a bajos niveles de fósforo.

Este tipo de trabajo con datos analíticos adicionales puede ser conducido con varios cultivos de una manera relativamente corta y directa para obtener la información necesaria.

POSIBLES MECANISMOS FISIOLOGICOS.

Existen cuatro mecanismos fisiológicos principales en la literatura que

intentan explicar la existencia de diferencias entre especies y variedades relativas a la tolerancia a bajos niveles de fósforo: 1) Extensión radicular, 2) Exudación radicular, 3) Presencia de *Micorriza* y 4) Tasas diferenciales de absorción y translocación de fósforo.

Extensión Radicular

A primera vista, la primera explicación es tal vez la más simple. Investigadores pioneros sugirieron que especies y variedades que tengan mayor superficie de absorción radicular pueden utilizar mejor el fósforo disponible en el suelo (Thomas, 1930, Lyness, 1936, Rabideau, et al, 1950). Sin embargo, varios años después, Freid (1953) afirmó que las diferencias entre especies o variedades con respecto a la utilización de fósforo es independiente del tamaño de las raíces o de la superficie radicular. Las ideas de Freid fueron posteriormente confirmadas por recientes resultados de Koyama y Snitwongse (1971), quienes observaron que las diferencias en la acumulación de fósforo entre dos variedades de arroz en Tailandia no fueron debido a diferencias en la extensión radicular sino debido a la eficiencia para absorber el fósforo del suelo relativo. En contraste, Singh y colaboradores (1970) observaron en la India que dos variedades de trigo con sistemas radiculares profundos y compactos, utilizaron más fósforo proveniente del superfosfato que la variedad Safed Lerma, la cual tiene un sistema radicular superficial y disperso.

La validez de la hipótesis de la extensión radicular es difícil de probar por la falta de técnicas apropiadas para medir con precisión el crecimiento de las raíces en condiciones de campo (Pearson, 1974). Sin embargo, estimaciones preliminares pueden ser obtenidas en condiciones de invernadero con una precisión aceptable.

Exudación Radicular

Comber (1922) consideró el óxido de carbono como un agente activo en la utilización de fósforo. El autor sostiene la teoría de que las raíces de algunas plantas excretan más óxido de carbono que otras, provocando diferencias de pH en la rizosfera. Una mayor acidez en la zona radicular incrementaría la concentración de fósforo en la solución del suelo y de este modo aumentar la absorción de este elemento. Sin embargo, Gerretsen (1948) observó que las raíces no tendrían un efecto tan marcado en la modificación

del pH del suelo, pero observó una mayor absorción de fósforo por plantas que crecieron en arena conteniendo fósforo en presencia de microorganismos que en ausencia de ellos. Estas observaciones implican que las raíces por sí mismas no tienen efecto en el incremento de la concentración de fósforo en el medio externo, pero las colonias de microorganismos que se desarrollan en la exudación de las raíces sí tienen efecto. Black (1968) concluyó que las observaciones de Gerretsen, representaban una sustancial modificación de la teoría original del óxido de carbono. La validez de esta hipótesis es cuestionable ya que fue estudiada solo en soluciones nutritivas y en arena. Rovira y Davey (1974) consideran tales tipos de estudios difíciles de extrapolar a las condiciones del suelo. Además, Kerr (1964) observó que es difícil determinar la contribución individual de la exudación de la raíz en la disponibilidad de nutrimentos en el suelo debido a que la exudación radicular se mezcla casi inmediatamente con otros componentes orgánicos resultantes de la actividad metabólica de los microorganismos del suelo. Esta mezcla de compuestos orgánicos puede entonces afectar la solubilidad del fósforo de una manera impredecible.

Presencia de Micorriza

McComb (1938) postuló que la presencia del hongo *Micorriza* facilita la absorción del fósforo por las plantas. Esta hipótesis fue basada en investigaciones realizadas con especies coníferas desarrolladas en suelos de baja fertilidad, donde los árboles más robustos fueron aquellos que mostraron una mayor proporción de raíces infectadas con *Micorriza*. Varios investigadores (Gerdemann, 1968, 1970; Daft y Nicolson, 1966, 1969; Holevas, 1966 y Baylis, 1967) han demostrado los efectos de la infección del hongo *Micorriza* en el crecimiento de las plantas bajo una amplia variedad de condiciones. Muchos de ellos observaron la estimulación del crecimiento de la planta, particularmente a niveles de baja disponibilidad de fósforo en el suelo. La infección de *Micorriza* aumenta la habilidad de la planta para absorber nutrimentos y acumular fósforo en las raíces (Gray y Gedermann 1969). Las plantas infectadas con *Micorriza* fueron capaces de utilizar más eficientemente las formas menos disponibles de fósforo (Daft y Nicolson, 1966; Murdock et al, 1967). Baylis (1970) mostró que especies forestales con sistemas de raíces pobremente desarrolladas son huespedes obligados del hongo *Micorriza* en suelos con baja disponibilidad de fósforo. Rovira y Davey (1974) indicaron que la presencia de ciertos tipos de micro-

organismos en la rizosfera entre ellos *Micorriza*, puede incrementar la cantidad de fósforo disponible para las plantas disolviendo las formas minerales menos solubles y mineralizando formas orgánicas de fósforo en el suelo. Gerdemann (1974) indicó que un mejor entendimiento del rol del hongo *Micorriza* en alterar la disponibilidad de fósforo para las plantas y su efecto en la producción de cultivos, sería de una importancia económica considerable.

Tasas de Absorción y Translocación de Fósforo

Una serie de recientes estudios ha enfocado el problema en una forma dinámica, i.e., la relación entre parámetros tales como tasas de absorción de fósforo, tasas de translocación de fósforo y tasas de crecimiento relativo (Asher y Loneragan, 1967; Clarkson, 1967; Nassery, 1970). Las tasas de absorción de fósforo (PAR) pueden ser definidas como la cantidad de fósforo tomado por la planta por unidad del peso de raíz por unidad de tiempo (e.g. ug P/g/día). Las tasas de translocación de fósforo (PTR) pueden ser definidas como la cantidad de fósforo translocado a la parte aérea por unidad de peso de raíz por unidad de tiempo. Las unidades están dadas también en ug P/g/día. Las tasas relativas de crecimiento (RGR) pueden ser definidas como el incremento en peso seco por unidad de material vegetal por unidad de tiempo (g/g/día).

Las diferencias de especies tales como aquellas dadas por Andrew y Robins (1969, 1971) pueden ser explicadas en términos de estos parámetros. Andrew y Vanden Berg (1973) encontraron que la mayor tolerancia de *Stylosanthes humilis* a baja disponibilidad de fósforo fue debida a una alta tasa de absorción de P por sus raíces en comparación con aquellas leguminosas de menor tolerancia a bajo fósforo. Dev y colaboradores (1970) usando cuatro variedades de arroz, encontraron que las diferencias varietales fueron debidas a diferentes tasas de absorción de fósforo entre variedades de arroz.

Loneragan (1968) provee una explicación a estas observaciones indicando que cuando la concentración de un nutrimento dado en la solución nutritiva es baja y constante, no se observa deficiencia del elemento, si las plantas pueden absorberlo a una tasa suficientemente rápida como para mantener un crecimiento continuo. Nye (1966) indica que la tasa de absorción de fósforo es directamente proporcional a la concentración de fósforo en la

solución del suelo cerca del sistema radicular. De este modo, es posible asumir que la tasa de absorción de P es influída no solo por el suministro externo de P sino también por la demanda interna de este elemento.

La tasa de absorción de fósforo parece ser un parámetro efectivo para identificar diferencias varietales o de especies para tolerar una baja disponibilidad de fósforo. Loneragan y Asher (1967) indicaron que una tasa de absorción de fósforo menor que 1 ug P por grama de raíces frescas por día limitaría el crecimiento al mínimo en cualquier especie o variedad. De esta manera, la tasa de absorción de fósforo puede ser considerada como parámetro crucial al estudiar diferencias entre especies o variedades en relación a baja disponibilidad de fósforo en el suelo.

Cuando la tasa de absorción de fósforo (PAR) es considerada junto con la tasa relativa de crecimiento (RGR), las relaciones vienen a ser más complejas. Clarkson (1967) y Rorison (1968) observaron una correlación negativa entre PAR y RGR, lo cual indica que una lenta tasa relativa de crecimiento de una especie o variedad puede facilitar la adaptación de tal especie o variedad a suelos con baja disponibilidad de fósforo. White (1972) encontró que la tasa relativa de crecimiento de *Phaseolus atropurpureus* fue menor que la de *Stylosanthes humilis* y *Desmodium intortum* mientras que la tasa de absorción de P fue mayor en las dos últimas dos especies que en la anterior. Nye (1966) indicó que una baja tasa relativa de crecimiento posiblemente da más tiempo para la retranslocación del fósforo de los tejidos viejos a tejidos meristemáticos, permitiendo así una utilización más eficiente del fósforo. Tales resultados sugieren que una menor demanda interna de fósforo, a medida que la planta desarrolla, puede resultar en una tasa de absorción de P reducida y estática. De este modo, la tasa de absorción de fósforo pueda que no sea constante para especies dadas. Las relaciones entre PAR y RGR, por lo tanto, podrían ser útiles para explicar las diferencias existentes entre especies o variedades en cuanto a tolerancia a baja disponibilidad de fósforo en el suelo.

Clarkson (1967) encontró que la gramínea forrajera *Agrostis setacea* creció más lentamente que *Agrostis stolonifera* a bajos niveles de fósforo. Sin embargo, *A. setacea*, fue capaz de mantener un incremento exponencial de producción de materia seca a bajos niveles de fósforo (Fig.3). Esta evidencia

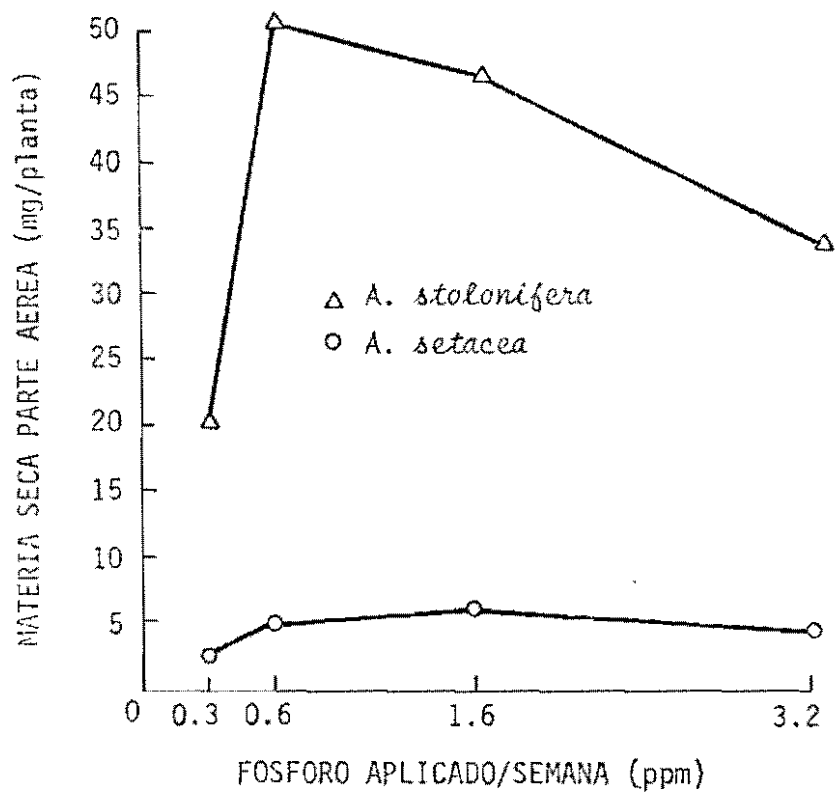


FIGURA 3. Producción de materia seca de dos especies del género *Agrostis* a diferentes niveles de fósforo (Clarkson, 1967).

sugiere que cuando el suministro de fósforo es bajo, el lento crecimiento inherente de una especie o variedad puede ser un mecanismo para tolerar bajos niveles de fósforo.

Una segunda explicación fue dada por Nassery (1970) indicando que las diferencias en crecimiento entre especies o variedades son a menudo debidas, no a diferencias en las tasas de absorción de fósforo (PAR), sino a diferencias en las tasas de translocación de fósforo (PIR); ésto es, la cantidad de fósforo transportado de las raíces a la parte aérea en relación al contenido total de fósforo de la planta (parte aérea y raíces).

Salinas (1974) trabajando con dos variedades de arroz (IR 5 y Bluebonnet 50), observó diferencias varietales en las tasas de absorción de fósforo, tal como ilustra la Fig. 4. Estos resultados sugieren que IR 5 tiene un sistema radicular más eficiente que Bluebonnet 50, desde que la máxima absorción de fósforo por Bluebonnet 50 ocurrió a una concentración de 0.2 ppm P, mientras IR 5 mostró la misma tasa de absorción de fósforo solo a una concentración de 0.05 ppm P.

Parece que las diferencias varietales son más pronunciadas durante las etapas de crecimiento inicial. Koyama y Chammek (1971) observaron grandes diferencias de crecimiento entre dos variedades de arroz durante la etapa de macollamiento pero diferencias leves durante la etapa de floración (Figura 5). También encontraron que una concentración interna de fósforo por debajo de 0.13% durante la etapa de macollamiento fue crítica para la variedad Muey Naung 62-M, la cual mostró deficiencia de fósforo pero no para la variedad Dawk Mali 3. Los autores concluyen que la diferencia varietal fue debida a la habilidad de las plantas para absorber y translocar fósforo bajo condiciones de baja disponibilidad de fósforo en el suelo.

Interacciones Aluminio - Fósforo

Los problemas de deficiencia de fósforo en suelos ácidos del trópico usualmente ocurren junto con la toxicidad de aluminio. Los dos problemas son difíciles de separar debido a la afinidad química entre ambos elementos. Consecuentemente, interacciones aluminio-fósforo tienen que ser consideradas al evaluar la tolerancia de variedades y especies a ambos problemas.

Diferencias entre especies y variedades para tolerar niveles tóxicos de aluminio, han sido relacionadas con diferencias en la habilidad de las

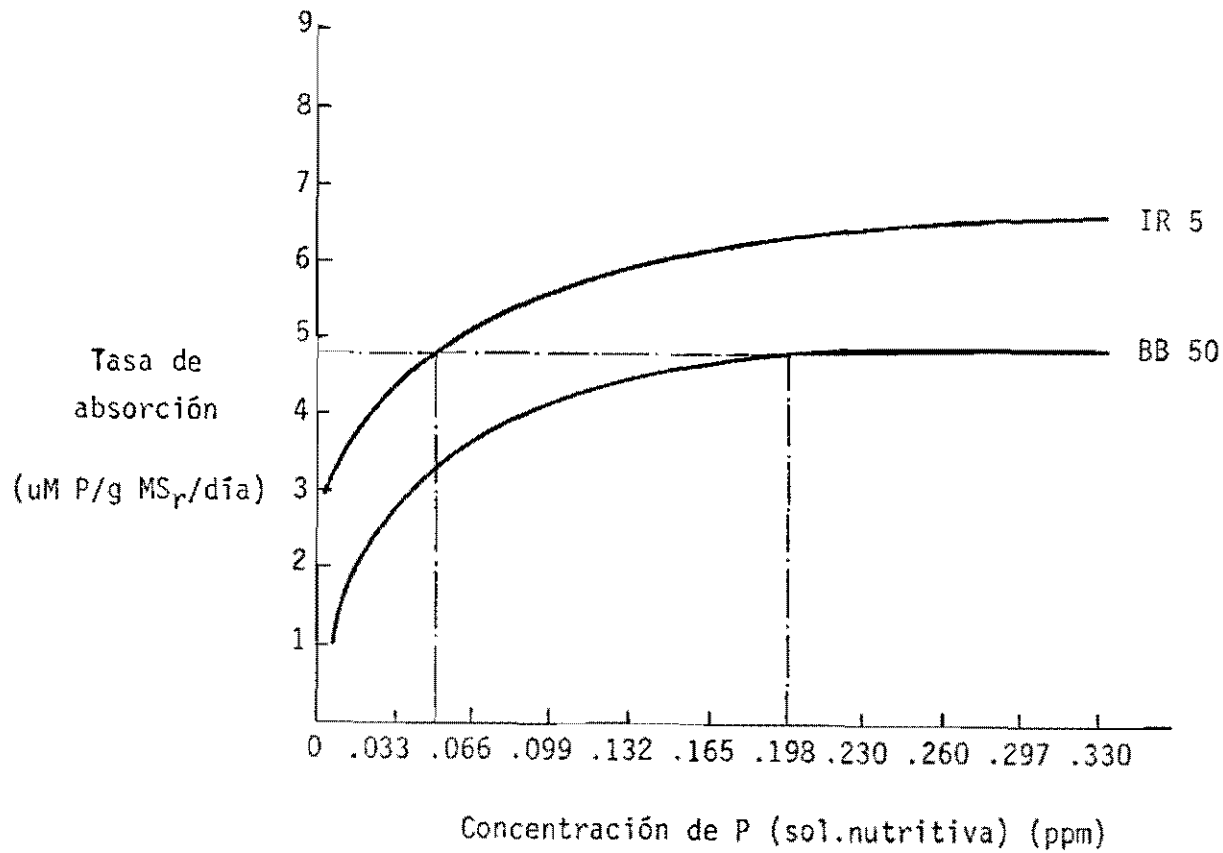


FIGURA 4. Relación entre el suministro externo de fósforo y la tasa de absorción de fósforo en dos variedades de arroz.
(Salinas, 1974. Datos no publicados).

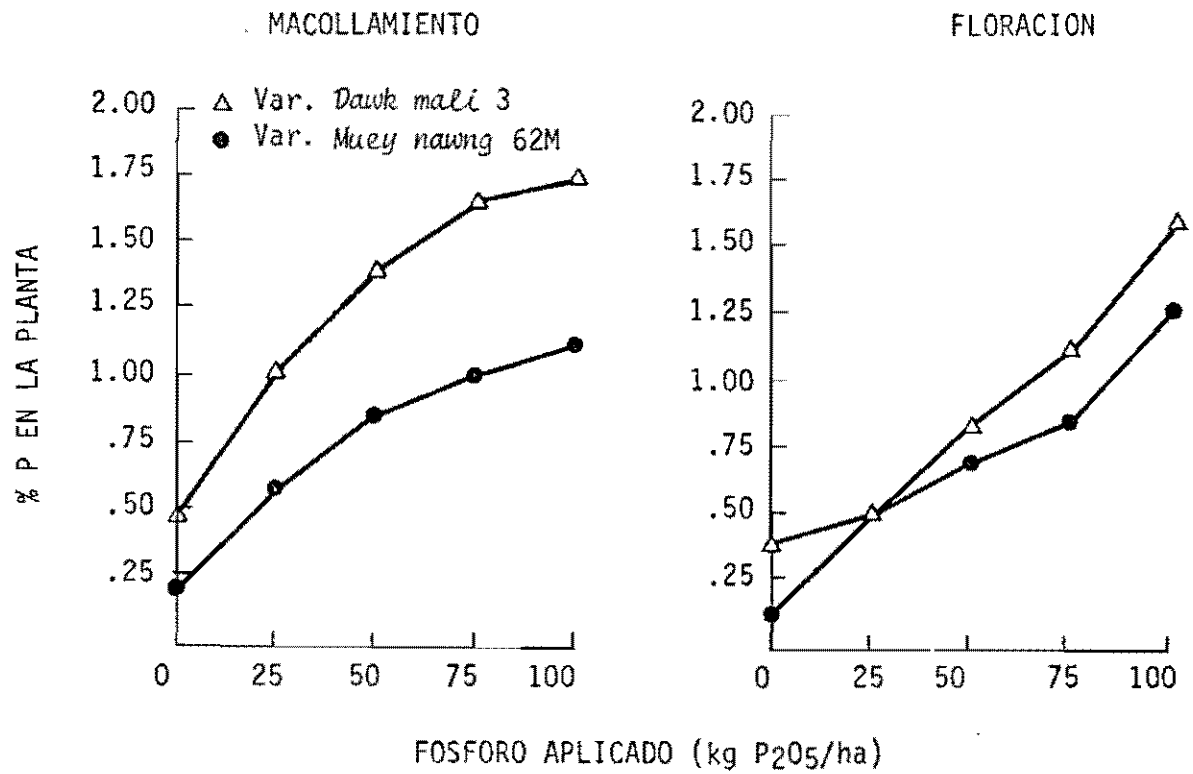


FIGURA 5. Variación del contenido de P durante el desarrollo de dos variedades de arroz a diferentes niveles de fósforo. (Koyama y Chammek, 1971).

plantas para absorber y utilizar fósforo en presencia de altos niveles de aluminio. Ikeda (citado por Foy, 1974) indica la existencia de una estrecha correlación entre tolerancia a aluminio y tolerancia a baja disponibilidad de fósforo en variedades de trigo. Clarkson (1967) encontró que la alta tolerancia a aluminio de *Agrostis setacea* en comparación con *Agrostis canina* y *Agrostis stolonifera* está asociada con una tolerancia a baja disponibilidad de fósforo. Otsuka (1968ab) indicó que la alta tolerancia a aluminio de *Datura* comparada con tomates fue relacionada a la gran habilidad de *Datura* para absorber fósforo en presencia de aluminio.

McClean y Chiasson (1966) encontraron que la adición de aluminio redujo la concentración de fósforo en las raíces de cebada. Ellos observaron que este efecto fue más pronunciado en las variedades más sensitivas al aluminio. Andrew y Vanden Berg (1973) hicieron observaciones similares cuando varias especies de leguminosas forrajeras fueron sometidas a varias concentraciones de aluminio en soluciones nutritivas. Algunos de sus resultados (Figura 6) muestran que *Desmodium uncinatum* y *Stylosanthes humilis* son tolerantes a niveles altos de aluminio mientras *Glycine weightii* y *Medicado sativa* son bastante sensitivas. Esto se demuestra en datos de producción de materia seca en la parte aérea de la planta. Las diferencias en materia seca de las raíces son menos espectaculares debido al engrosamiento que normalmente acompaña a la toxicidad de aluminio. Con excepción de la alfalfa, el incremento de aluminio resultó en un incremento de la tasa de adsorción de fósforo. Este efecto fue más pronunciado en las dos especies tolerantes a aluminio. La mayor parte del fósforo absorbido fue acumulado externa o internamente en la raíz. Solo 2 a 16% del fósforo fue translocado a la parte aérea durante el tiempo de experimentación. Si bien el incremento de los niveles de aluminio disminuyó la tasa de translocación de fósforo, las dos especies tolerantes a aluminio promediarion 11% de translocación, mientras que las dos variedades sensitivas a aluminio promediarion 6.5%. Resultados similares fueron obtenidos por Randall y Vose (1963) con plantas de *Lolium perenne* luego de ocho semanas de crecimiento.

Es conocido el hecho de que una absorción normal de fósforo pueda tener lugar a altos niveles de aluminio (Ragland y Coleman, 1962; Cruz et al., 1967; Weisel et al., 1970), consecuentemente, la medida de la tasa de adsorción de fósforo (PAR) no parece ser adecuada para evaluar las interacciones de fósforo-aluminio. El parámetro crítico parece ser la tasa de translocación de fósforo (PTR).

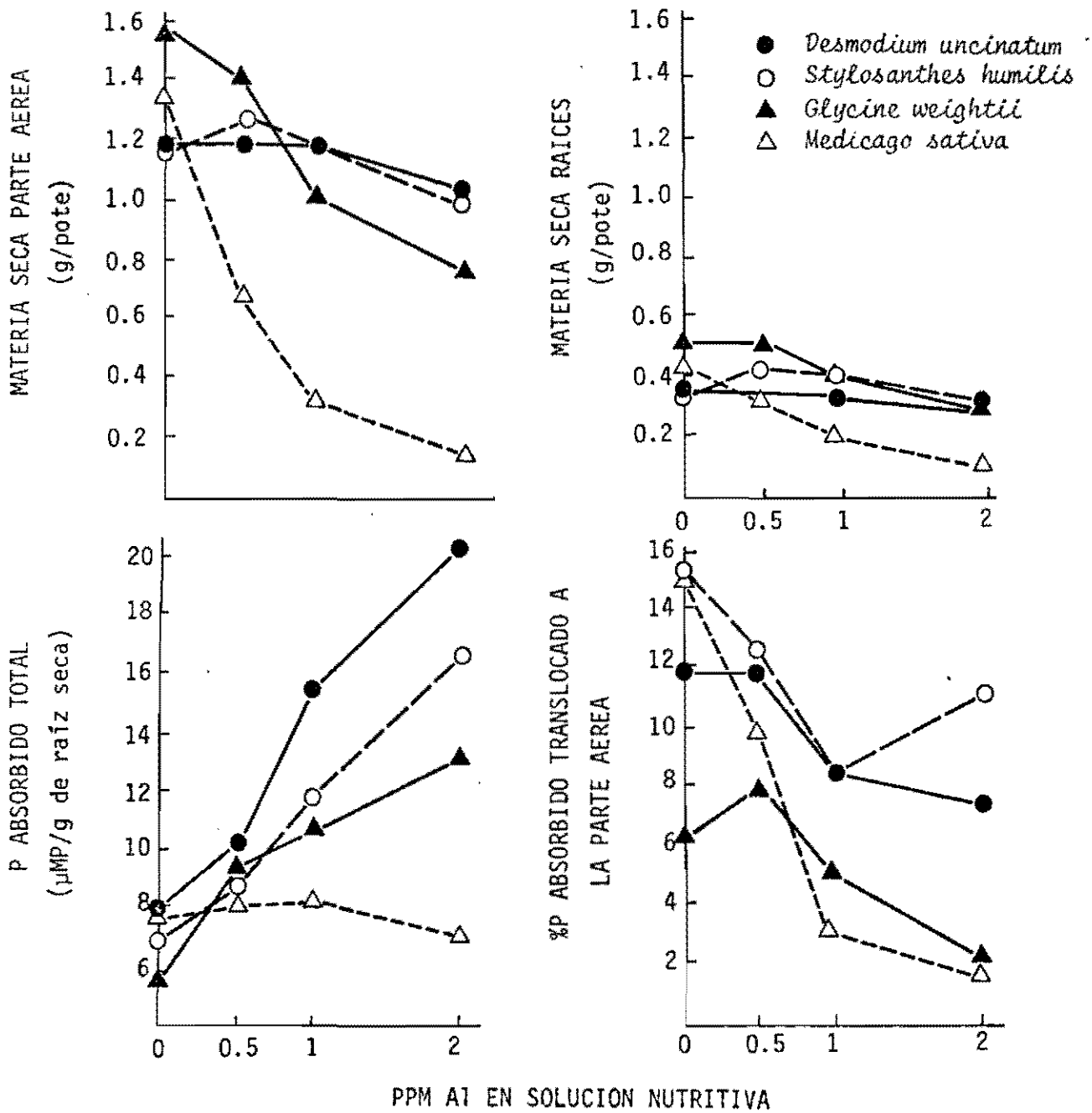


FIGURA 6. Efecto del aluminio en el crecimiento, tasa de absorción de P y tasa de translocación de P de 4 leguminosas forrajeras. Adaptado de Andrew y Vanden Berg (1973).

Wright y Donahue (1953) y McLeod y Jackson (1967) encontraron que el aluminio inactiva el fósforo primeramente dentro de las raíces, y de este modo interfiere con el metabolismo normal de fósforo en las plantas. Rasmussen (1968) usando análisis x-ray observó que el aluminio y fósforo fueron concentrados en las mismas áreas dentro las raíces y sugirieron como mecanismo la precipitación de Al y P como fosfatos de aluminio. McCormick y Borden (1972) usando técnicas fotomicrográficas mostraron que el fósforo es precipitado por altos niveles de aluminio en las paredes de las células y en la membrana citoplasmática de las células epidermiales y corticales al emplear cebada y poplar. Consecuentemente, diferencias entre especies en relación a aluminio puede depender de la tasa a la cual el fósforo puede escapar esta precipitación siendo translocado a la parte aérea.

Hay muchos otros factores además de la translocación de fósforo que afectan las diferencias entre especies y variedades para tolerar aluminio. El lector puede referirse a los artículos de Foy y Brown (1964) y Foy (1974) para una discusión comprensiva de este objetivo.

TOLERANCIA A BAJOS NIVELES DE FOSFORO Y RESPUESTA A FERTILIZANTES

El interés de seleccionar especies y variedades las cuales presenten tolerancia a bajos niveles de fósforo disponible es disminuir la cantidad de fertilizante fosforado necesario para rendimientos adecuados. Los datos de Andrew y Robin (1969) ilustrados en la Figura 7, muestran que ésto sucede bajo condiciones de campo. La especie con el más bajo requerimiento interno de fósforo de acuerdo a la Tabla 2 (*Stylosanthes humilis*), produjo los más altos rendimientos a los niveles más bajos de suministro de fósforo.

Bajo condiciones de campo en Tailandia, Koyama y Chammek (1971) encontraron que a niveles altos de fósforo aplicados no hubo diferencias en los rendimientos de dos variedades de arroz. A niveles bajos de fósforo el rendimiento en grano de la variedad de arroz Muey Naung fue significativamente menor que el rendimiento de la variedad Dawk Mail 3. Además, las diferencias varietales fueron más pronunciadas cuando el fósforo no fue aplicado (Figura 8).

Existen algunas evidencias preliminares que indican diferencias entre especies en cuanto a la utilización de diferentes formas de fertilizantes fosforados. Deist y colaboradores (1971) encontraron que especies dicotiledoneas utilizan la roca fosfórica mejor que las especies monocotiledoneas.

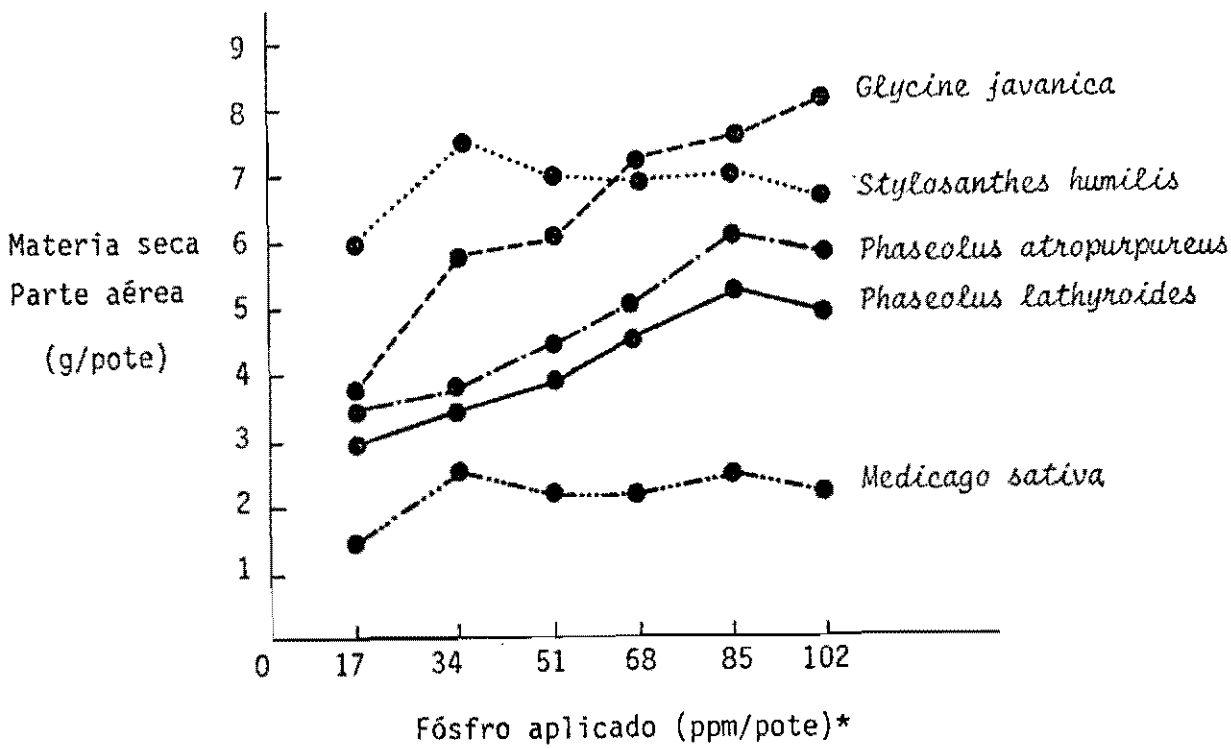


FIGURA 7. Respuesta a la aplicación de P por 5 leguminosas forrajeras (Adaptado de Andrew y Robins, 1969).

* Peso de suelo/pote = 1.8 kg.

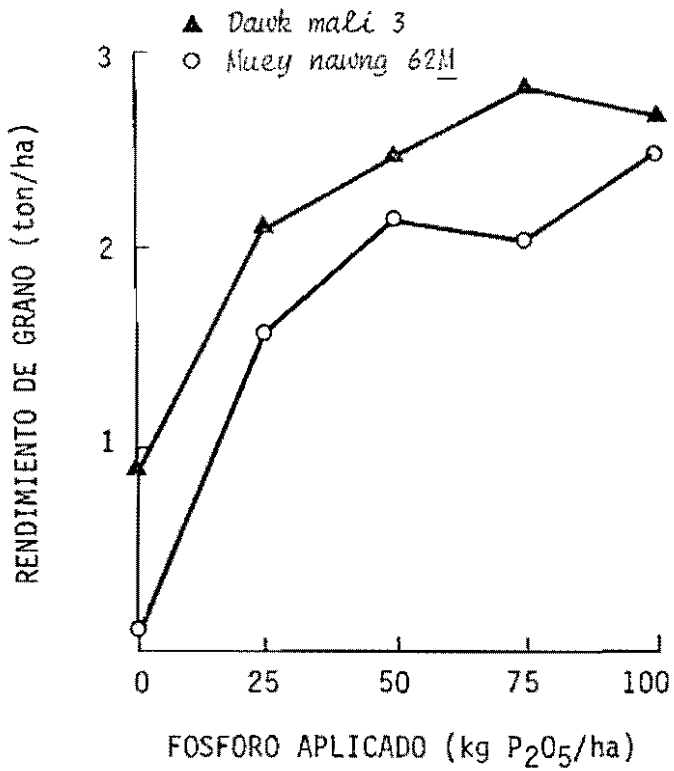


FIGURA 8. Respuesta diferencial entre dos variedades de arroz a la aplicación de fósforo en Tailandia.

(Koyana y Chammek, 1971)

Esto es probablemente debido a grandes cantidades de calcio absorbido por las dicotiledoneas. Una información disponible en la literatura sobre este tema deja mucho que desear. No hay duda de que es necesario seleccionar variedades tolerantes a bajos niveles de fósforo en el suelo y establecer bajo condiciones de campo, curvas de respuesta a aplicaciones de fósforo que puedan identificar estas diferencias en términos cuantitativos.

CONCLUSIONES

Esta revisión sugiere que el conocimiento actual del tema puede resumirse como sigue:

1. Existen diferencias entre especies y entre variedades de la misma especie para tolerar bajos niveles de fósforo disponible en el suelo.

2. La cuantificación de estas diferencias es muy limitada. En los trópicos, los datos se limitan a la investigación sobre niveles críticos externos por Fox y colaboradores (1974) en Hawaii y a niveles críticos internos de fósforo por Andrew y colaboradores en Australia. Trabajos similares deberían ser conducidos en los trópicos americanos con variedades de las más importantes especies tales como yuca, arroz, maíz, fríjol, papa, soya, trigo, caña de azúcar, café, forrajes, etc.

3. Los mecanismos fisiológicos responsables en la tolerancia a bajos niveles de fósforo pueden ser mejor entendidos luego de obtener un conocimiento adecuado de los niveles críticos internos y externos de fósforo, y además de las tasas de absorción y translocación de este elemento en relación a tasas de crecimiento de las plantas. La posible influencia de otros nutrimentos y el efecto del hongo *Micorriza* deberían ser considerados.

4. Bajo condiciones de suelos ácidos, donde es difícil separar los efectos detrimentales del aluminio de aquellos de baja disponibilidad de fósforo, las diferencias en tolerancia a aluminio entre especies o variedades parece estar positivamente correlacionada con diferencias en tasas de translocación de fósforo en presencia de aluminio. La literatura sugiere la posibilidad de una doble tolerancia a ambos, aluminio y bajo fósforo. Sin embargo, es necesario investigaciones adicionales con otros cultivos.

5. La información disponible limitada sugiere que especies y/o variedades más tolerantes a bajos niveles de fósforo disponible producen rendimientos más altos a bajos niveles de fósforo aplicado que las especies y/o

variedades más sensitivas. Estos estudios deben llevarse a cabo bajo condiciones de campo para cuantificar estas ventajas en términos agronómicos y económicos.

6. La solución económica de la fertilización fosfórica en Oxisoles y Ultisoles con alta capacidad de fijación de fósforo, puede basarse en una estrategia de tres puntos: a) Selección de fuentes más económicas, métodos y frecuencias de aplicación de fósforo, b) Disminución de la capacidad de fijación de fósforo de estos suelos ácidos a través de mejoras relativamente económicas, tales como el encalado o la aplicación de silicatos, y c) Disminución de las tasas de aplicación de fósforo con el uso de variedades tolerantes a bajos niveles de fósforo,seleccionadas por fitomejoradores.

7. Diferencias varietales en tolerar niveles bajos de fósforo en el suelo, hasta ahora son el resultado de una selección involuntaria, basada en las propiedades del suelo donde las nuevas variedades fueron desarrolladas. La incorporación de este criterio como un objetivo específico de fitomejoramiento puede producir resultados muy satisfactorios en un corto período de tiempo. Una estrecha colaboración entre fitomejoradores y especialistas en suelos es indispensables.

REFERENCIAS

Andrew, C. S., 1966. A kinetic study of phosphate absorption by excised roots of *Stylosanthes humilis*, *Phaseolus lathyroides*, *Desmodium uncinatum*, *Medicago sativa* y *Hordeum vulgare*. *Aust. Agric. Res.* 17:611-624.

Andrew, C. S. y Robins, M. F., 1969. The effect of phosphorus on the growth and chemical composition of some tropical pasture legumes. I. Growth and critical percentages of phosphorus. *Aust. J. Agric. Res.* *20*: 665-674; 1971. The effect of phosphorus on the growth, chemical composition and critical phosphorus percentages of some tropical pasture grasses. *Aust. J. Agric. Res.* *22*: 693-703.

Andrew, C. S. and Berg, P. J. Vanden, 1973. The influence of aluminum on phosphate adsorption by whole plants and excised roots of some pasture legumes. *Aust. J. Agric. Res.* *24*: 341-351.

Asher, C. J. and Loneragan, J. F., 1967. Response of plants to phosphate concentration in solution culture. I. Growth and phosphorus content. *Soil Sci.* *103*: 225-233.

Baylis, G.T., 1967. Experiments on the ecological significance of phycomycetous mycorrhizas. *New Phytol 66*: 231-243; 1970. Root hairs and phycomycetous mycorrhizas in phosphorus deficient soil. *Plant and soil 33*: 713-716.

Baldovinos, S.F. and Thomas, G.W., 1967. The effect of soil clay on phosphorus uptake. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc. 31*: 680-682.

Biddiscombe, E.F. and Ozanne, P.G., 1970. The comparative rates of phosphate adsorption by eight annual pasture species. *Austr. J. Agr. Res. 21*: 33-44.

Black, C.A., 1968. *Soil plant relationships*. pp. 597-599. John Wiley, New York.

CIAT, 1971. *Informe Anual. Centro Internacional de Agricultura Tropical, Cali, Colombia*. pp. 119-121.

Clarkson, D.T., 1966. Effect of aluminum on the uptake and metabolism of phosphorus by barley seedlings. *Plant physiology 41*: 165-172; 1967. Interaction between aluminum and phosphorus on root surface and cell wall material. *Plant and soil 27*: 347-356; 1967. Phosphorus supply and growth rate in species of *Agrostis L. Jour. ecology 55*: 111-118.

Comber, N.M., 1922. The availability of mineral plant food, a modification of the present hypothesis. *Jour. Agr. Sci. 12*: 363-369.

Cruz, A.D., Haag, H.P., Sarruge, J.R. and Malavolta, E., 1967. Aluminum phosphorus interaction in two varieties of wheat cultivated in nutrient solution. *An Esc. Super. Agr. Luis de Queiroz*, Univ. Sao Paulo *54*: 119-129.

Daft, M.J. and Nicolson, T.H., 1966. Effect of *Endogone mycorrhiza* on plant growth. *New Phytol 65*: 343-350; 1969. Effects of *Endogone mycorrhiza* on plant growth. II. Influence of soluble phosphate on endophyte and host in maize. *New Phytol 68*: 945-952.

Deist, J. *et al.*, 1971. Relative availability of rock phosphate to different plant species. *Agrochemophysica 3*: 35-40.

Dev., G., Singh, A., Bahl, G. and Randhawa, N., 1970. Efficiency of four high yielding varieties of paddy for absorption of fertilizer phosphorus. *Symp. Radiat. Radioisotop. Soil Stud. plant Nutr.* 369-376.

Foote, B.D. and Howell, R.W., 1964. Phosphorus tolerance and sensitivity of soybeans as related to uptake and translocation. *Plant physiology 39*: 610-613.

Fox, R.L. and Kazar, B., 1964. Phosphorus mobilization in a calcareous soil in relation to surface properties of roots and cation uptake. *Plant and soil 20*: 319-330.

Fox, R.L. and Kamphath, E.J., 1970. Phosphate sorption isotherms for evaluating the phosphate requirements of soils. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc. 34*: 902-906.

Fox, R.L., Nishimoto, R.K., Thompson, J.R. and de la Peña, R.S., 1974. Comparative external phosphorus requirements of plants growing in tropical soils. *Hawaii Agr. Exp. Sta. Tech. Bull. 1517*: 5 pp.

Foy, C.D. and Brown, J.C., 1964. Toxic factors in acid soils. II. Differential aluminum tolerance of plant species. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc. 28*: 27-32.

Foy, C.D., 1974. Effects of aluminum on plant growth. *In*: E.W. Carson (Ed.): *The plant root and its environment*. pp. 601-642. University Press of Virginia.

Freid, M., 1953. The feeding power of plants for phosphates. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc. 17*: 357-359.

Gerdemann, J.W., 1968. Vesicular-arbuscular mycorrhiza and plant growth. *Ann Rev. Phytopathol. 6*: 394-418.

Gerdemann, J.W., 1970. The significance of V.A. Mycorrhiza on plant nutrition. *In*: R.A. Toussoun, R.V. Bega, and P.E. Nelson (Eds.) *Root diseases and soil-borne pathogens*. pp. 125-129. Berkeley, University of California Press.

Gerdemann, J.W., 1974. Mycorrhizae. *In*: E.W. Carson (Ed.): *The plant root and its environment*. pp. 205-217. University Press of Virginia.

Gerretsen, F.C., 1948. The influence of microorganisms on the phosphate intake by the plant. *Plant and soil 1*: 51-81.

Gray, L.E. and Gerdemann, J.W. 1969. Uptake of phosphorus-32 by vesicular-arbuscular mycorrhiza. *Plant and soil 30*: 415-422.

Goodland, R., 1971. Oligotrofismo e alumínio no Cerrado. III. *Simpósio sobre o Cerrado*, Sao Paulo, Brasil. pp. 44-60.

Hackett, C., 1967. Ecological aspects of the nutrition of *Deschampsia flexuosa* (L.) III. Investigation of phosphorus requirements and response to aluminum in water culture and a study of growth in soil. *Jour. ecology 55*: 831-840.

Hagen, C.E. and Hopkins, H.T., 1955. Ionic species in orthophosphate absorption by barley roots. *Plant Physiol. 30*: 193-199.

Holevas, C.D., 1966. The effect of a *vesicular-arbuscular mycorrhiza* on the uptake of soil phosphorus by strawberry. *Jour. Hort. Sci. 41*: 57-64.

International Rice Research Institute. 1971. *Annual report*. Los Baños, Philippines.

International Rice Research Institute (IRRI). 1972. Varietal resistance to injurious soils, phosphorus deficiency. *Annual report 1972*. Los Baños, Philippines. pp. 198-200.

Kamprath, E.J., 1973. Fósforo. En: Sánchez (Ed.): Un resumen de las investigaciones edafológicas en la América Latina Tropical. pp. 151-176. (*North Carolina Experiment Station Technical Bulletin 219* (Versión en Español).

Khare, N.K., Rai, M. and Pal, A., 1973. Efficiency of some legumes in utilization of phosphorus. *JNKVV Res. J.* (India) 9-11.

Kerr, A., 1964. The influence of soil moisture on infection of peas by *Pythium ultimum*, *Aust. J. Biol. Sci. 17*: 676-685.

Koyama, T. and Chammek, C., 1971. Soil-plant nutrition studies on tropical rice. I. Studies on the varietal differences in absorbing phosphorus from soil low in available phosphorus. *Soil Sci. plant Nutr. 17*: 115-126.

Koyama, T. and Snitwongse, P., 1971. Soil-plant nutrition studies on tropical rice. II. Rice varietal differences in absorbing phosphorus from soil low in available phosphorus. *Soil Sci. plant Nutr. 17*: 186-194.

Leggett, J.E., Galloway, R.A. and Gauch, H.G., 1965. Calcium activation of orthophosphate absorption by barley roots. *Plant physiol. 40*: 897-902.

Loneragen, J.F. and Asher, C.J., 1967. Response of plants to phosphate concentration in solution culture. II. Rate of phosphate absorption and its relation to growth. *Soil Sci. 103*: 311-318.

Loneragan, J.F., 1968. Nutrient concentration, nutrient flux, and plant growth. *Trans. 9th Congr. Soil Sci.* (Adelaide, Australia). *2*: 173-182.

Lyness, A.S., 1936. Varietal differences in the phosphorus feeding capacity of plants. *Plant physiology 11*: 665-688.

McComb, A.L., 1938. The relation between mycorrhizae and the development and nutrient absorption of pine seedlings in a prairie nursery. *Jour. ecology 36*: 1148-1154.

McCormick, L.H. and Borden, F.Y., 1972. Phosphate fixation by aluminum in plant roots. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc. 36*: 799-802.

McLean, A.A. and Chiasson, T.C., 1966. Differential performance of two barley varieties to varying aluminum concentration. *Canada J. soil Sci. 46*: 147-153.

McLeod, L.B. and Jackson, L.P., 1967. Aluminum tolerance of two barley varieties in nutrient solution, pea, and soil culture. *Agron. Jour. 59*: 359-363.

Medappa, K.C. and Dana, M.N., 1968. Influence of pH, calcium, iron, and aluminum on the uptake of radiophosphorus by cranberry plants. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc. 32*: 381-383.

Medappa, K.C. and Dana, M.N. 1970. Tolerance of cranberry plants to manganese, iron, and aluminum. *Jour. Amer. Soc. Hort. Sci. 95*: 107-110.

Mengel, K., 1974. Plant ionic status. *In*: E.W. Carson (Ed.): *The plant root and its environment*. pp. 63-81. University Press of Virginia.

Murdoch, C.L., Jackobs, J.A. and Gerdemann, J.W., 1967. Utilization of phosphorus sources of different availability by mycorrhiza and non-mycorrhizal maize. *Plant and soil 27*: 329-334.

Nassery, H., 1970. Phosphate absorption by plants from habitats of different phosphate status. II. Absorption and incorporation of phosphate by intact plants. *New Phytol. 69*: 197-203.

Noggle, J.C. and Freid, M., 1960. A kinetic analysis of phosphate absorption by excised roots of millet, barley, and alfalfa. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.* *24*: 33-35.

North Carolina State University, 1973. Agronomic-economic research on tropical soils. *Annual report.* pp. 12-28. Soil Science Department, N.C. State University, Raleigh, North Carolina.

Nye, P.H., 1966. The effect on the nutrient intensity and buffering power of a soil and the absorbing power, size, and root hairs of a root on the nutrient absorption by diffusion. *Plant and soil* *25*: 81-105.

Otsuka, D.T., 1968a. Aluminum and manganese toxicities in plants. II. Effects of aluminum on growth of barley, wheat, oats, and rye seedlings. *Jour. Sci. soil manure* (Tokyo) *39*: 469-474.

Otsuka, D.T., 1968b. Aluminum and manganese toxicities in plants. III. Effects of aluminum-ion concentration and phosphorus uptake of grafted tomatoes. *Jour. Sci. soil manure* (Tokyo) *39*: 475-478. Abstr. *in Soil Sci. and plant Nutr.* *15*(3): 130.

Oza, A.A., Wakhaloo, S. and Subbiah, S., 1970. Relative efficiency of different rice varieties to take up soil and fertilizer phosphorus. Symp. Radiat. Radioisotop. *Soil Stud plant Nutr. Proc.*: 377-385.

Ozanne, P.G., Keay, J. and Biddiscombe, E.F., 1969. The comparative applied phosphate requirements of eight annual pasture species. *Aust. J. Agr. Res.* *20*: 809-818.

Pearson, R.W., 1974. Significance of rooting pattern to crop production and some problems of root research. *In*: E.W. Carson (Ed.): *The plant root ant its environment.* pp. 247-267. University Press of Virginia.

Ponnamperuma, F.N. and Castro, R.U., 1971. *Varietal difference in resistance to adverse soil conditions.* pp. 677-684. Rice Breeding, International Rice Research Institute, Los Baños, Philippines.

Rabideau, G.S., Gordon, W., and Heimsch, C., 1950. The adsorption and distribution of radioactive phosphorus in two maize inbreds and their hybrid. *Amer. J. Bot.* *37*: 93-99.

Ragland, J.L. and Coleman, N.T., 1962. Influence of aluminum on phosphorus uptake by snapbean roots. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc. 26*: 88-90.

Randall, P.J. and Vose, P.B., 1963. Effect of aluminum on uptake and translocation of phosphorus-32 by perennial ryegrass. *Plant physiology 38*:403-409.

Rasmussen, H.P., 1968. Entry and distribution of aluminum in *Zea mays*: Electron microprobe x-ray analysis. *Planta 81*: 28-37.

Rorison, I.H., 1968. The response to phosphate of some ecologically distinct plant species. I. Growth rates and phosphorus absorption. *New Phytol. 67*: 913-923.

Rovira, A.D. and Davey, C.B., 1974. Biology of the rhizosphere. *In*: E.W. Carson (Ed.): *The plant root and its environment*. pp. 153-204. University Press of Virginia.

Salinas, J.G., 1974. A study of varietal difference between IR-5 and Bluebonnet-50 rice varieties to low available phosphorus in nutrient solution. *Unpublished report*. Soil Science Department, North Carolina State University, Raleigh, 21 pp.

Singh, M., Oza, A. and Khanna, P., 1970. Effect of increasing plant densities of various high yielding wheat varieties having different rooting patterns on the yield and utilization of fertilizer phosphorus. *Symp. Radiat. Radioisotop. soil Stud. plant Nutr. Proc.*: 387-395.

Thomas, W., 1930. The feeding power of plants. *Plant physiology 5*: 443-489.

Truog, E., 1920. The utilization of phosphates by agricultural crops, including a new theory regarding the feeding power of plants. *Wisconsin Agr. Exp. St. Res. Bull. 41*: 50 pp.

Waisel, Y., Hoffen, A. and Eshel, A., 1970. The localization of aluminum in cortex cells of bean and barley roots by x-ray microanalysis. *Plant physiology 23*: 75-79.

Wiklander, L., 1950. Kinetics of phosphate exchange on soils. *K. Lantbrhogsk Annlr. 17*: 407-424.

Wild, A., 1964. Soluble phosphate in a soil and uptake by plants. *Nature. 203*: 326-327.

Wright, K.E. and Donahue, B.A., 1953. Aluminum toxicity studies with radioactive phosphorus. *Plant physiology 28*: 674-680.

White, R.E., 1972. Studies on mineral ion absorption by plants. I. The absorption and utilization of phosphate by *Stylosanthes humilis*, *Phaseolus atropurpureus*, and *Desmodium intortum*. *Plant and soil 36*: 427-447.

Tropical Grasslands Vol. 12, No. 3, November 1978

UNA RESEÑA DE LA NUTRICION DE ELEMENTOS MENORES EN LEGUMINOSAS FORRAJERAS TROPICALES EN EL NORTE DE AUSTRALIA

R.C. BRUCE *

R E S U M E N

Este trabajo reseña la incidencia de deficiencias de molibdeno (Mo), cobre (Cu), zinc (Zn), manganeso (Mn) y Cobalto (Co) en la nutrición de leguminosas tropicales en el Norte de Australia. Los resultados publicados de esos elementos en los suelos y las plantas se discuten particularmente desde el punto de vista de diagnosis de la deficiencia. Se presentan tasas de fertilización para la corrección de las deficiencias y las especies se agrupan en base a sus respuestas.

Se ha encontrado deficiencia de Mo en un amplio rango de suelos y materiales parentales donde crecen los pastos tropicales; las deficiencias de Cu y Zn se encuentran restringidas a los suelos muy arenosos; deficiencias de Mn no se han encontrado pero se han registrado algunos casos de toxicidad; no se ha encontrado una deficiencia de Co para el crecimiento de las plantas, pero han sido reportadas en ovejas y ganado bovino.

Se concluye que ninguna de las técnicas de diagnóstico en el suelo y en la planta en actual uso han sido correlacionadas satisfactoriamente con respuestas en el campo y se presentan varias sugerencias para futuras investigaciones.

INTRODUCCION

Las deficiencias agudas de nitrógeno (N) y fósforo (P) son casi universales en los suelos de Australia, pero también se ha demostrado que las deficiencias de elementos menores ocurren en muchas áreas. El papel importante

---

* Department of Primary Industries, Meiers Road, Indooroopilly, Qld. 4068

de la identificación y corrección de esas deficiencias que ha jugado en el éxito de pastos introducidos ha sido reseñado por Loneragan (1970). Sin embargo, ninguna de estas reseñas hace énfasis en las leguminosas tropicales o suelos tropicales probablemente por la falta de información disponible publicada hasta ese tiempo.

Este trabajo trata de la nutrición de Mo, Cu, Zn, Mn, y Co en leguminosas tropicales en los suelos de las regiones tropicales y subtropicales de Australia. Reseña la ocurrencia de deficiencias, la diagnosis y corrección de deficiencias y la respuesta relativa de las diferentes especies.

M O L I B D E N O

Ocurrencia de la deficiencia de Molibdeno

Las primeras indicaciones sobre deficiencia de Mo en el Norte de Australia se encontraron usando leguminosas de zonas templadas en los años de 1950, ya que la evaluación de leguminosas tropicales estaba entonces en su infancia. En el Norte de New South Wales se encontraron respuestas a Mo en ensayos de macetas con trébol creciendo en suelos "krasnozems" (alfisoles) derivados de basalto (Anderson y Arnott 1953, Mclachlan 1955, Swain 1959) y en suelos derivados de granito (McLachlan 1955). McLachlan (1953) evaluó cuatro suelos del territorio norte en ensayos de macetas y encontró que el trébol subterraneo respondió al Mo en dos de ellos, uno amarillo podzólico en granito y uno gravoso rojo limoso en material volcánico.

En la región subtropical de Queensland, Andrew y Bryan (1955, 1958) encontraron pequeñas respuestas a Mo con trébol en experimentos de campo en dos suelos (hidromórfico húmico y podzólico laterítico) de las tierras bajas costeras. Cassidy (1957) menciona una indicación de respuestas en el campo en el Distrito Gympie, pero la primera respuesta definitiva en el campo fue observada en 1959 con trébol blanco en el Distrito Cooran (Douglas 1962a). Esto fue confirmado por un ensayo de campo con tréboles blanco y rojo en los cuales se indicaron incrementos de cuatro veces en rendimientos (Douglas 1962b). La primera respuesta en una leguminosa tropical fue con soya perenne (Glycine wightii) en un suelo latosólico cerca de Pinbarren en 1961 (Luck y Douglas 1966). Registros subsecuentes de respuestas a Mo con leguminosas tropicales en ensayos de campo se presentan en el Cuadro 1.

CUADRO 1. Situaciones donde se han encontrado respuestas a Mo en experimentos de campo con leguminosas tropicales.

Suelo	pH*	Material Parental	Leguminosa	Referencia
Latosol	5.3	filita	soya perenne	Luck y Douglas (1966)
solodic	6.2	arenas consolidadas	siratro	Truong y col. (1967)
krasnozem	-	-	siratro	Ostrowski (1970)
			hoja de plata	
krasnozem	5.2	basalto	soya perenne	Mears y Barkus (1970)
deep sand	5.0	arenas marinas	siratro	Teitzel y Bruce (1973)
xanthozem	5.5	diorita granular	hoja verde	Kerridge y col. (1973)
xanthozem	4.9*	granito	hoja verde	Kerridge y Everett (1975)
			soya perenne	
xanthozem		filita	siratro	Johansen y col. (1977)
			soya perenne	
			hoja verde	
			lotononis	
red podzolic	5.1	filita	siratro	
prairie	5.4	andesita	siratro	
yellow podzolic	5.9	arenas consolidadas	soya perenne	
			siratro	
yellow podzolic	6.4	granito	siratro	
brown earth	6.0	-	siratro	Walker y col. (in press)

* Suelo-agua = 1:5
** Suelo-$CaCl_2$ = 1:5

Estos cubren una variación amplia de suelos de acidez y de materiales parentales pero existe una preponderancia de leguminosas entre las especies en la lista que responden más al Mo (ver Sección posterior).

La respuesta al molibdeno ha sido frecuentemente dada en estudios de experimentos de macetas (Mannetje y col, 1963, Shaw y col., 1966, Roe y Jones 1966, Havilah y Mears 1968, Mears y Barkus 1970, Hall 1970, Jones y Crack 1970, Crack 1971, Kerridge y col., 1972, Tietzel y Bruce 1972a, 1972b, 1973, Jones 1973, Walter y col., (en prensa). Estos extienden un poco el rango de pH, añaden Stylo Townsville (Stylosanthes humilis), Stylo Schofield (Stylosanthes guianensis cv, Schofield) y fríjol "phasey" (Macroptilium lathyroides) a la lista de especies e incluyen algunos suelos y materiales parentales adicionales.

En los mismos suelos donde fueron estudiados en ensayos de macetas y en el campo, las respuestas en el invernadero no fueron siempre confirmadas en el campo (e.g. Roe y Jones 1966, Jones 1973, Johansen y Col., 1977) y las razones para esto no son aparentemente fáciles. El volumen restringido de suelos en las macetas junto con las condiciones óptimas para el crecimiento de las plantas y en algunos casos el uso de especies sensitivas son explicaciones posibles para la mayor sensibilidad de ensayos en macetas. La liberación de N a través del cultivo actuaría como para reducir la dependencia de la leguminosa al N simbiótico y por lo tanto reduce la manifestación de deficiencias de Mo en el campo, por lo menos durante el primer año. El uso de productos químicos puros en el invernadero y el de materiales de grado fertilizante en el campo podría ser también un factor contribuyente, aunque Anderson (1956a) no apoya esta posibilidad. Johansen y colaboradores (1977) también sugieren que la tendencia del aumento de pH hacia abajo en el perfil del suelo tendría que ser considerado para las especies perennes de sistema radicular profundo, de modo que el Mo podría estar más disponible en el fondo si el pH aumenta.

No hay situaciones de respuesta a Mo que ocurran en el campo después de no haber sido detectada en experimentos de macetas, excepto por una declaración de Teitzel y colaboradores (1978) que en algunos suelos derivados de granito, se han obtenido respuestas a Mo en pastizales establecidos por varios años.

Molibdeno en Plantas

El Mo tiene un doble papel en la nutrición de las plantas leguminosas. Se requiere para el metabolismo de la proteína ya que está involucrado en las reacciones de reducción del nitrato con la enzima nitrato-reductasa. Además, el Mo se requiere para la fijación simbiótica de N por las bacterias Rhizobium en los nódulos de las raíces.

Las respuestas de las leguminosas en el campo a aplicaciones de Mo en Australia han sido invariablemente debidas al efecto del Mo en la fijación simbiótica de N. Se necesita más Mo para la fijación simbiótica de N que para el metabolismo general de la planta huesped (Anderson 1956a). En esta situación una deficiencia de N es inducida y los síntomas visuales no son distinguibles de aquellos asociados con deficiencia de N. Los nódulos de las plantas deficientes en Mo son a menudo blancos o verdes comparados con el color rosado o rojo de aquellos de las plantas no deficientes. Además usualmente hay muchos nódulos pequeños en una planta deficiente pero menos nódulos grandes en una planta normal (Anderson 1956b, Mannetje y col. 1963, Mears y Barkus 1970).

Las concentraciones de Mo en las partes superiores de las plantas han sido dadas para soya perenne (Luck y Douglas 1966, Mears y Barkus 1970), Siratro (Ostowasky y col. 1978) y varias especies de Stylosanthes (Jones 1974). Las concentraciones de Mo son generalmente menores a 1 ppm y usualmente menos de 0.5 ppm. Las concentraciones de Mo no siempre aumentan con tasas crecientes de aplicación.

Es improbable que las concentraciones de Mo en las partes superiores de las leguminosas sean una ayuda útil de diagnóstico. Vinogradova (1943) encontró que la concentración promedio de Mo de 41 análisis de semilla de leguminosas eran 5.5 ppm Mo. La concentración en la semilla depende de las condiciones bajo las cuales la planta ha crecido. Meagher y colaboradores (1952) encontraron que la deficiencia de Mo fue facilmente demostrada en plantas crecidas de semillas, las cuales fueron producidas por plantas crecidas en soluciones nutritivas deficientes en Mo y contenían 0.05 a 0.1 ppm Mo. Por otro lado, las semillas producidas comercialmente contienen 0.5 a 5 ppm Mo y las deficiencias de este elemento no podrían siempre ser demostradas. Ellos afirman que el Mo es único entre los elementos esenciales en que las semillas

normales de algunas plantas pueden almacenar, en forma disponible, muchas veces la necesidad total de la planta para crecer a partir de esa semilla.

El análisis de la semilla de leguminosa no parece que haya sido usado como ayuda de diagnóstico. Con la amplia fluctuación en tamaño de semillas de leguminosas, la cantidad de Mo por semilla más que la concentración en la semilla, podría ser de mayor uso. Warrell (comunicación personal) encontró que la semilla de soya perenne producida en áreas deficientes en Mo en Atherton Tableland contenía 0.06 ppm Mo mientras que la semilla producida en áreas no deficientes contenían 1.5 ppm Mo.

Los nódulos de las raíces contienen concentraciones de Mo mayores que las raíces o las partes superiores (Jensen y Betty 1943). Jensen (1948) sugirió que los nódulos deberían contener una cierta concentración de Mo para una máxima eficiencia de fijación de N y propuso 4 a 8 ppm Mo para trébol subterráneo y 10 a 25 ppm Mo para alfalfa. No hay información disponible para la concentración óptima de Mo en el nódulo de las leguminosas tropicales.

Molibdeno en el Suelo

Stephen y Donald (1958) hicieron una lista de los contenidos totales de Mo de algunos Grandes Grupos de Suelos de Australia. La escala de promedios para los Grupos fueron de 2 ppm a 11 ppm Mo pero parece haber poco valor de predicción de estas cifras. Barrow y Spencer (1971) sugirieron que el contenido de Mo del material parental fue importante en determinar el estado del Mo en el suelo. Los datos de Oertel y Giles (1963) para el contenido de Mo en muestras superficiales de suelos de Queensland muestran que la mayoría de los suelos tienen valores menores que 5 ppm Mo.

El molibdato es absorbido específicamente en superficies de óxidos de hierro y aluminio y los bordes meteorizados de las partículas de arcillas. El grado de adsorción disminuye según el pH es aumentado sobre 4, el pH que corresponde al pKque es la constante de disociación del ácido molibdénico (Barrow 1978). Los suelos varían en su habilidad de adsorber molibdato de acuerdo con su pH y de la ocurrencia de sitios de adsorción. El material parental de donde los suelos se han formado y las lluvias son dos factores importantes que determinan la mineralogía de un suelo y la acidez, y por lo

tanto sus propiedades de adsorción (Barrow y Spencer 1971). La adsorción de molibdato tiene dos consecuencias en nutrición de plantas. Los iones adsorbidos están protegidos contra la lixiviación, pero por otro lado, ellos están menos disponibles para las plantas. Los suelos con propiedades fuertes de adsorción deberían ser más capaces de responder y también requerir aplicaciones más fuertes para obtener máximos rendimientos.

Barrow y Spencer (1971) usaron la cantidad de Mo adsorbido a una concentración supernadante final de 0.1 ppm, como un índice de la habilidad de adsorción de Mo por un suelo y mostraron que el estado de Mo del suelo (evaluado en ensayos de macetas) disminuyó con el incremento en la habilidad del suelo de adsorber Mo. Little y Kerridge (1978) encontraron que el mismo índice fue el método de laboratorio más promisorio en una comparación con cuatro métodos de evaluación del estado del Mo en nueve suelos de Queensland. Este índice fué mejor correlacionado con la cantidad de Mo requerido para rendimientos máximos de materia seca de leguminosas tropicales sobre un período de 5 años en experimentos de campo que el Mo en la solución del suelo, Mo total o Mo extraído con oxalato.

Una solución ácida de oxalato de amonio (Grigg 1953) ha sido el extractante más ampliamente usado en análisis de suelos para Mo. El oxalato es adsorbido específicamente y parece ser un desplazador efectivo de Mo (Barrow 1978). Barrow y Spencer (1971) y Spencer y Govaars (1974) han usado este extractante en experimentos con trébol pero la única información publicada en Australia para leguminosas tropicales o suelos tropicales es la de Little y Kerridge (1978). En su trabajo no hubo correlación entre el Mo extractable y los requerimientos de Mo. Como no se dieron datos para suelos no deficientes en Mo ningún juicio se puede hacer de la capacidad del extractante para distinguir entre deficiencia y suficiencia, lo cual es el papel usual de las pruebas de suelos.

El efecto del pH del suelo, modificando la disponibilidad de Mo está bien documentado en ambos suelos de zonas templadas o tropicales. Las condiciones ácidas conducen a baja disponibilidad y el encalamiento puede aumentar la disponibilidad hasta cierto punto que se supere la deficiencia. Sin embargo, hay algunos suelos en los cuales el Mo aparece inadecuado, a pesar de existir cambio de pH. (Kerridge y colaboradores 1972).

Formas de Fertilizante

Molibdato de sodio, molibdato de amonio, molibdato de calcio y trióxido de Mo todos han probado ser fuentes efectivas de Mo en experimentos de fertilizantes en Australia. En prácticas comerciales el Mo es aplicado como superfosfato molibdenizado, lo cual es una mezcla de superfosfato simple y trióxido de Mo. Este producto está disponible en Queensland en cuatro concentraciones de Mo: 0.02, 0.04, 0.08 Mo respectivamente, y junto con Cu y Zn al 0.03% Mo.

Han surgido algunas dudas acerca de la homogeneidad de las mezclas trióxido de Mo y superfosfato. No hay información publicada disponible en la distribución de Mo en volumen, pero Lipsett y David (1977) estudiaron la distribución de Mo en una bolsa de superfosfato molibdenizado. Encontraron que mientras la bolsa entera contenía un poco más que la cantidad garantizada, casi cerca de la mitad estaba contenida en solamente una décima parte del material, las partículas medianas y finas del fertilizante. También mostraron que el material fino se había asentado en la capa inferior de la bolsa. Esto conduciría a una distribución no uniforme en cultivos y pastizales. En parte debido a esto, Teitzel y colaboradores (1978) recomendaron asperjar una solución de molibdato de sodio (junto con sulfatos de cobre y zinc si se requería) en los pastizales.

La incorporación de Mo en la semilla recubierta ha sido sugerida como un medio para obtener una distribución aún mejor de este elemento y también por tener ventajas en suelos con altos requerimientos del elemento. En experimentos de campo 100 g Mo/ha en forma de trióxido en semillas recubiertas con roca fosfórica fue tan efectivo como una aplicación similar en el suelo para corregir deficiencias del elemento en un período de cinco años (Johansen y colaboradores 1977). Al final del primer año la nodulación, los rendimientos y la concentración de Mo en cuatro leguminosas tropicales fue similar, indiferente del método de aplicación (Kerridge y colaboradores 1973). El molibdeno de sodio no es apropiado para recubrir semillas.

Tasas de Aplicaciones

Al reseñar la experiencia con leguminosas herbáceas en el Sur de Australia, Anderson (1956a) concluyó que 90 g Mo/ha (1,3 onzas/acre) fue una tasa de aplicación completamente efectiva. Tasas más altas de 280 a 700 g Mo/ha fueron usadas en experimentos anteriores en Queensland (Andrew y Bryan 1955, 1958) pero la primera recomendación para pastos tropicales (Andrew y Bryan 1958) fue de 100 g Mo/ha (1,6 onzas/acre),lo cual estaba de acuerdo con la conclusión de Anderson. Subsecuentes recomendaciones generales para pastos han citado tasas de 100 a 200 g Mo/ha (Douglas y Luck 1964, Ostrowski 1969, Teitzel y Bruce 1972c, Cook 1978a). Una tasa de 100 g Mo/ha es ahora ampliamente aceptable; esta se suministra convenientemente con 500 kg/ha de superfosfato con 0.02% Mo o por 250 kg/ha de superfosfato con 0.04% Mo. La justificación para estas tasas puede encontrarse en los resultados citados por Luck y Douglas (1966), Kerridge (1972), Kerridge y White (1977) y Johansen y colaboradores (1977).

Una excepción a las recomendaciones anteriores fue hecha para soya perenne (Douglas y Luck 1964, Ostrowski 1969, Cook 1978a) donde tasas de 200 a 300 g Mo/ha fueron recomendadas. Estas recomendaciones parecen estar basadas en el trabajo de Luck y Douglas (1966) quienes encontraron que 230 g Mo/ha dieron rendimientos máximos de soya perenne en un suelo latosólico y Mears y Barkus (1970) quienes encontraron que 112 g Mo/ha no fueron suficientes para rendimientos máximos de soya en un suelo krasnozen. En ambos experimentos, hubo poco crecimiento en el primer año después de la siembra, de modo que las respuestas fueron para crecimiento en el segundo año después de la aplicación del fertilizante. Esto junto con el hecho que se esperaría que ambos tipos de suelos adsorbieran Mo, podría ser responsable de los requerimientos aparentemente mayores de la soya perenne. Los resultados de Johansen y colaboradores (1977) permiten una limitada comparación de la soya perenne con otras leguminosas y tienden a sostener la controversia de que la soya perenne requiere tasas mayores de Mo que otras leguminosas, pero aún muestran que 100 g Mo/ha es adecuado para soya perenne por lo menos durante dos años en un suelo que según Little y Kerridge mostró ser un fuerte adsorbedor de Mo.

- - - - -

Frecuencia de Aplicación

El interrogante sobre frecuencia de aplicación de Mo no ha sido satisfactoriamente resuelto. Al reseñar trabajos en condiciones templadas en Australia (Anderson 1956a) concluyó que "una simple aplicación de 2 onzas/acre permanece efectiva por muchos años". No está claro si él quiso decir 2 onzas de trióxido de Mo o Mo elemental. Tradicionalmente se ha tenido cuidado con las recomendaciones para la aplicación de Mo para evitar cantidades excesivas por los efectos conocidos del Mo en el metabolismo del Cu y el sulfato en los animales (Dick 1956). Las recomendaciones generales son volver a aplicar Mo a intervalos de 3 a 5 años (Douglas 1962b, Cassidy 1967, Ostrowski 1969, Teitzel y colaboradores 1978, Cook 1978b).

Swain (1959) trabajó en la región subtropical norte de New South Wales con un suelo rojo basáltico y encontró una respuesta a Mo en el campo, tres años después de una aplicación inicial de 70 g Mo/ha. De igual manera, Mannetje y colaboradores (1963) encontraron que en un suelo parecido a sabana natural fertilizado con 110 g Mo/ha previamente por 3 a 4 años, el fríjol "phasey" (Macroptilium lathyroides) y alfalfa respondieron a Mo en experimentos de macetas. Bryan y Evans (1971) fracasaron en encontrar una respuesta a Mo en pastizales tropicales pastoreados 6 a 11 años después de una aplicación inicial de 280 g Mo/ha pero como los suelos no tenían una deficiencia aguda al iniciar el experimento (Bryan 1973) este hallazgo es de una importancia dudosa.

Kerridge (1972) encontró que una aplicación inicial de 100 g Mo/ha aplicado al Desmodium intortum cv hoja verde fue completamente efectiva por 2 años en suelos derivados de material parental volcánico ácido, por 3 años en suelos derivados de basalto y por lo menos 3 años en suelos derivados de esquisto y granodiorita. Trabajos más recientes por Johansen y colaboradores (1977) han mostrado que el valor residual del Mo depende del tipo de suelo y las especies de leguminosas. En sus suelos más sensibles 100 g Mo/ha aseguraron máximos rendimientos para soya perenne por 2 años, para Desmodium intortum por 3 años y para Lotononis bainesii por lo menos 5 años. Sus datos sugieren que 100 g Mo/ha permanecen efectivos por lo menos 3 años y a menudo 5 años, excepto para las especies más sensitivas o los suelos con propiedades de adsorción elevada.

- - - - -

Diferencias en especies

Las diferencias entre leguminosas tropicales y su susceptibilidad a deficiencia de Mo ha sido registrada por varios investigadores (Luck y Douglas 1966, Crack 1971, Kerridge y colaboradores, 1973, Johansen y colaboradores, 1977). Basados en estos informes las especies están agrupadas a continuación como las que más responden, intermedias y las que menos responden.

Las que más responden:	Soya perenne, Desmodium intortum
Intermedias:	Siratro fríjol "phasey" (Macroptilium spp)
Las que menos responden:	Lotononis, Stylo Townsville, Stylo Schofield, Stylo Cook (Stylosanthes guianensis cv Cook)

C O B R E

Ocurrencia de deficiencias de Cu

En el norte de Australia la primera incidencia reportada de deficiencias de Cu en pastizales establecidos, fue en leguminosas templadas en suelos de las tierras bajas costeras de Queenland (Andrew y Bryan 1955, 1958). A continuación en el Cuadro 2 se dan las respuestas con leguminosas tropicales como plantas indicadoras. Estas deficiencias han sido encontradas en suelos arenosos (arenas, pastizales arenosos y tierras amarillas) usando Siratro, Lotononis y especies del género Stylosanthes. Las respuestas a Cu en ensayos de macetas han sido reportadas por Andrew y Bryan (1955), Andrew y Thorne (1962), Russell (1966), Jones y Crack (1970), Teitzel y Bruce (1971, 1973), Jones (1973), Isbell y colaboradores (1976, y Walter y colaboradores (en prensa). El fríjol "phasey" fue usado frecuentemente como planta indicadora. La respuesta en macetas fue encontrada en algunos suelos con un alto contenido de materia orgánica (Gley humicos) y suelos solódicos pero no fue confirmado por estudios en el campo. No se han encontrado respuestas en tierras estructuradas. El acuerdo o concordancia entre respuestas en macetas y en el campo parece haber sido bueno.

CUADRO 2. Situaciónes donde se han encontrado respuestas a Cu y Zn en experimentos de campo con leguminosas tropicales.

Suelo	Material Parental	Leguminosa *	Referencia
COBRE			
podzolic	granito	Siratro Stylo Schofield	Teitzel (1969)
podzolic	granito	Siratro	Teitzel y Bruce (1971)
deep sand	arena marina	Siratro	Teitzel y Bruce (1973)
deep sand	granito	Stylo Townsville	Jones (1973)
ground water podzol	arenas marinas y de erosión sodica	Lotononis	Wentholt (unpubl.)
yellow earth	arenas consolidadas	Stylo Cook Stylo Oxley	Winter y Jones (1977)
ZINC			
podzolic	granito	Kudzu	Teitzel y Bruce (1971)
deep sand	granito	Stylo Townsville	Jones (1973)
yellow earth	arenas fluviales	Stylo Townsville	Bishop (1974)
yellow earth	arenas consolidadas	Stylo Cook Stylo Oxley	Winter y Jones (1977)
red earth	arenas consolidadas	Stylo Cook	Anning (1977)
mottled grey earth	arenas fluviales	Stylo Verano	Hall (pers. comm.)
sandy duplex soil	arenas fluviales	Stylo Verano	Hall (pers. comm.)

* Ver el Cuadro 1 para los nombres botánicos.

Cobre en plantas

Los síntomas de deficiencias de Cu en leguminosas tropicales han sido descritos por Andrew (1963), por Andrew y Pieters (1972a, 1972b, 1976a, 1976b) y por Jones y Clay (1976). Generalmente, el efecto inicial de la deficiencia de Cu es marchitamiento parcial del crecimiento joven, a veces con una pérdida de clorofila y necrosis de las hojas y partes aéreas jóvenes. Las hojuelas se encrespan hacia dentro bilateralmente según ocurre la necrosis. Teitzel (1969) encontró un número grande de vainas reducidas en parcelas de Siratro deficientes en Cu.

Andrew y Thorne (1962) compararon las respuestas a Cu de 5 leguminosas forrajeras tropicales y 5 de zonas templadas y también presentaron los contenidos de Cu de la parte aérea de la planta, las raíces y la semilla. Las concentraciones de Cu en el material seco de la planta de varias especies no varió significativamente a cualquier nivel de aplicación y la fluctuación de los niveles sobre todos los tratamientos fueron de 1.7 a 11.3 ppm Cu. Ellos concluyeron que para las leguminosas estudiadas, una concentración superior a 5 ppm fue satisfactoria, 4 a 5 ppm fue marginal y menos de 4 ppm indicó deficiencia de Cu.

Estas normas han sido encontradas útiles en la interpretación de las respuestas a rendimientos en ensayos de fertilización por un número de investigadores en Queensland (Cuadro 3).

Bajos niveles de Cu en las plantas han resultado en concentraciones bajas de Cu en el hígado y síntomas visuales de deficiencias de Cu en los animales (Gartner y colaboradores, 1968).

Cobre en el suelo

Oertel y Giles (1963) analizaron 118 suelos superficiales de Queensland y mostraron que los contenidos totales de Cu estaban mayormente por debajo de 60 ppm y frecuentemente eran 20 ppm. Esto está de acuerdo con la escala de 3 a 60 ppm Cu para promedios de algunos Grandes Grupos de Suelos, presentados por Stephens y Donald (1958). McKenzie (1966) encontró que algunos suelos de Victoria con más de 8 ppm de Cu total no eran deficientes.

- - - - - -

CUADRO 3. Concentraciones de Cu y Zn con varias leguminosas tropicales cuando crecen bajo condiciones de deficiencia y/o suficiencia de nutrimentos.

Especie de Pasto	Zn		Cu		Referencia
	Deficiente	Suficiente	Deficiente	Suficiente	
	ppm				
Fríjol "phasey"	20-15	-	-	11-17	Russell (1966)
	-	45-63	-	11-17	Jones y Crack (1970)
	15-18	19-24	-	-	Crack (1971)
	9-25	20-35	1-2	3-8	Verrall (unpubl.)
Stylo Townsville	28	45	-	-	Jones y Crack (1970)
	19	23	-	3-6	Crack (1971)
	20	43	-	-	Jones (1973)
	-	45-64	-	5-6	Isbell y col. (1976)
	-	-	-	3-5	Webb (1975a)
	12-16	35-100	5	5-9	Webb (1975b)
	9	17-22	-	5	Day (pers. comm.)
Desmodium Hoja verde	-	22-38	-	3-7	Kerridge y col. (1972)
Siratro	-	21-24	-	-	Truong y col. (1967)
Stylo Cook	10	30	3-4	7	Winter y Jones (1977)
Stylo Verano	7	10-21	-	8	Hall (pers. comm.)
Lotononis	-	25	-	5	Wentholt (unpubl.)

Varios autores han dado los contenidos totales de Cu en los suelos del Norte de Queensland y estos se presentan en el Cuadro 4. Con la excepción de los suelos rojos neutros duplex, los cuales no fueron deficientes en Cu, todos los valores son bajos y sugieren que el Cu total podría ser de uso como diagnóstico en estudios adicionales.

CUADRO 4. Concentraciones totales de Cu y Zn en algunos suelos del Norte de Australia.

Suelos	Escala de Valores (ppm) Cu	Zn	Referencias
Yellow earths	3-5	3-5	Isbell et al (1976)
Red earths	4-6	3-6	
Sands	4-5	2-5	
Yellow earths	6-13	3-10	Isbell and Smith (1976)
Red earths	4-22	5-21	
Grey earths	6-11	3-7	
Deep sands	2-5	5-14	Jone (1973)
Solodic	9	7	Russell (1966)
Neutral red duplex	33-54	22-58	Crack (1971)
Sandy red earth	5	10	Day (pers.comm)
Lateritic yellow earth	5	10	
Lateritic red earth	5	8	
Humic gley	5	10	

El análisis de suelo DTPA de Lindsay y Norvell (Follett y Lindsay 1971) ha sido usado en Queensland por laboratorios comerciales de análisis de suelo y por el Departamento de "Primary Industries" del Estado por un gran número de años. El extractante es una solución 0.005M DTPA, 0.01M $CaCl_2$ y 0.1M trietanolamina, amortiguada a pH 7.3. No ha habido una calibración del método para pastos. Las experiencias sugieren que el nivel crítico es bajo, posiblemente 0.1 ppm Cu, pero esto está pobremente definido. Verrall (datos sin publicar) no encontró respuesta en rendimiento con fríjol "phasey" arriba de 0.1 ppm Cu en un estudio de 15 suelos en el invernadero. Webb (1975b) creció Stylo Townsville en 9 suelos cuyos contenidos de Cu extractable con DTPA varía de 0.1 a 0.4 ppm, pero se obtuvo respuesta solamente en un suelo. Se requiere más investigación para comparar una escala de análisis de suelos como indicadores

de deficiencia de Cu para leguminosas forrajeras particularmente en suelos arenosos ácidos.

Fertilizantes de Cobre

El sulfato de Cu ha sido la fuente más comúnmente usada en experimentos de fertilizantes o en pastizales comerciales. El Cloruro de Cu ha sido usado en experimentos donde el sulfato es también un tratamiento. Las tasas recomendadas son 2 kg Cu/ha (Teitzel y Bruce 1972c, Cook 1978a). Esto puede ser suplido con 8 kg/ha de sulfato de cobre. La forma más conveniente de aplicar Cu a los pastizales es con una aplicación al voleo de superfosfato fortificado con Cu. Esto está disponible comercialmente como una mezcla de superfosfato y sulfato de cobre conteniendo 0,9% Cu. Gilkes y Sadlier (1978) mostró que ésta era una fuente disponible de Cu a pesar de la reacción que ocurre entre el sulfato de cobre y el superfosfato después de la mezcla.

Wentholt (datos sin publicar) experimentó con tasas de sulfato de cobre en lotononis y encontró mayores rendimientos con 2.2 y 0.55 kg Cu/ha que con 0.14 kg Cu/ha. En la mayoría de las cosechas, 2.2 kg fue mejor que 0.55 kg. Teitzel (1969) encontró que tasas por encima de 2,8 kg Cu/ha no fueron requeridas para Stylo Schofield. Winter y Jones (1977) encontraron que una mezcla de 1.25 kg Cu/ha y 1.13 kg Zn/ha dieron máximos rendimientos de Stylo Cook en cada uno de los dos años en un suelo deficiente en ambos, Cu y Zn. El uso de mezclas de sulfato de cobre y zinc significa que los resultados de Winter y Jones no son concluyentes respecto a la tasa de Cu, pero tomadas juntas, las tres referencias citadas anteriormente soportan la recomendación general de 2 kg Cu/ha.

El valor residual del Cu en el suelo no se entiende completamente pero parece que es considerable. Nuevas aplicaciones de Cu por Bryan y Evans (1971) seis y 11 años después de una aplicación inicial de 2 kg Cu/ha no dieron una respuesta en rendimientos en suelo deficiente en Cu. Sin embargo, Teitzel y Bruce (1973), midieron una respuesta en el invernadero con un suelo arenoso que había sido fertilizado previamente con 14 kg Cu/ha para caña de azúcar cinco años.

Las recomendaciones prevalecientes en Queensland son volver a aplicar

Cu después de 4 a 8 años (Bruce 1973, Teitzel y colaboradores 1978).

Diferencias entre especies

Andrew y Thorne (1962) mostraron que las leguminosas tropicales difieren en su tolerancia a deficiencia de Cu. Considerando sus resultados, junto con aquellos de Andrew y Bryan (1955, 1958), Walker y colaboradores (en prensa) y Wentholt (sin publicar) se han hecho los grupos siguientes;

Las que más responden:	especies de Stylosantes, lotononis
Intermedias :	Siratro, Centro, Indigofera spicata
Las que menos responden:	Desmodium Hoja de Plata (Desmodium uncinatum)

Z I N C

Ocurrencia de deficiencia de Zn

Así como para Mo y Cu, el primer caso de deficiencia en pastizales en el norte de Australia se obtuvo con leguminosas templadas (Andrew y Bryan 1955, 1958). Respuestas subsecuentes a Zn con leguminosas tropicales en experimentos de campo se presentan en el Cuadro 2. Todos los suelos en el Cuadro 2 son arenosos y ácidos. Esto probablemente explica porque las especies de Stylosanthes son plantas indicadoras en todos menos en un caso. Considerando las respuestas en ensayos de macetas (Andrew y Bryan 1971, 1973, Jones 1973, Webb 1975b, Isbell y colaboradores 1976) añaden fríjol "phasey" a la lista de especies y un suelo gley húmico y rojo neutral duplex a la lista de suelos. Ninguna tierra estructurada ha sido encontrada deficiente.

La mayoría de los experimentos de campo en la lista fueron terminados después de un año. Hall (comunicación personal) encontró que en dos experimentos (Cuadro 2) una fuerte respuesta a Zn ocurrió en la primera estación (o primera estación efectiva) después de la siembra, pero no en la segunda o tercera estación. El único otro ensayo en el Cuadro 2 que fue conducido por más de un año fue el de Winter y Jones (1977). Ellos midieron respuestas en cada uno de los dos años a una mezcla de sulfatos de Cu y Zn, pero el análisis de plantas sugiere que ambos elementos estaban aún deficientes durante el segundo año.

Mientras todos los suelos en el Cuadro 2 son ácidos, hay grandes regiones de suelos arcillosos alcalinos en el norte de Australia algunos de los cuales han mostrado ser bajos en Zn (Duncan 1967, Webb 1977). A falta de pastizales de leguminosas bien adaptadas a estos suelos (Cameron 1975), se ha realizado muy poco trabajo sobre nutrición de leguminosas en estos suelos. Se conocen algunas respuestas con soya perenne (Glycine max).

Zinc en plantas

Los síntomas de deficiencia de Zn en Desmodium intortum (cv, Hoja verde), Siratro, lotononis y soya perenne han sido descritos por Andrew y Pieters (1972a, 1972b, 1976a, 1976b) mientras que Jones y Clay (1976) describieron los síntomas para Stylo townsville. Andres y Pieters también enfatizaron la complejidad de la nutrición del Zn y advirtieron que el uso de análisis de plantas en el diagnóstico de deficiencia de Zn requiere una interpretación cuidadosa. Ciertos autores han registrado concentraciones de Zn en las leguminosas en sus experimentos y estas cifras se presentan en el Cuadro 3. Los datos no son suficientes para alcanzar conclusiones firmes pero sí sugieren que menos de 20 ppm Zn es un indicador razonable de deficiencia en las plantas enumeradas.

Zinc en suelos

En los suelos superficiales de Queensland analizados por Oertel y Giles (1963) la mayoría tienen contenidos totales de Zn de menos de 100 ppm pero hubo una distribución uniforme de suelos en la escala 0 a 100 ppm. Esto en contraste con sus resultados de Cu, los cuales mostraron una ocurrencia más frecuente en suelos con contenidos menores de 20 ppm. Las tierras rojas y varios suelos podzólicos tuvieron los mas bajos contenidos. Esto está de acuerdo con los datos presentados por Stephens y Donald (1958) para el sur de Australia donde los podzoles y suelos podzólicos tuvieron los promedios menores del grupo.

Los contenidos totales de Zn del suelo tomados de varios autores se presentan en el Cuadro 4. En cuanto a los datos de Cu la mayoría de los valores son bajos y este análisis puede ser de valor diagnóstico. McKenzie (1966) usó una combinación de Zn total en el suelo y pH para separar suelos deficientes y suficientes e.j. para suelos de pH 6,5, 5 ppm Zn aproximadamente fue un valor crítico.

Un análisis de suelo con DPTA está siendo utilizado para Zn (sección en Cu) pero no hay interpretaciones basadas en el campo. Cox y Kamprath (1972) sugieren 0.5 ppm Zn como una guía general para este análisis. Verall (datos sin publicar) estudió 15 suelos ácidos en el invernadero y no encontró respuesta significativa con el fríjol "phasey" al Zn cuando este elemento extraído con DPTA excedió 2 ppm. Webb (1975b) midió respuesta del Stylo townsville al Zn en 6 de 9 suelos arenosos ácidos que fluctuaban en niveles extraídos con DPTA de 0.1 a 0.4 ppm Zn, pero el extractante no distinguió entre los suelos que respondían y los que no lo hacían.

Fertilizantes de Zn

La fuente más ampliamente usada de Zn ha sido el sulfato de zinc en experimentos de fertilizantes pero el óxido de zinc y el cloruro de zinc han sido usados algunas veces. La tasa de aplicación recomendada para pastizales es aproximadamente 1.8 kg Zn/ha, lo cual es convenientemente suministrada con 8 kg de sulfato de zinc/ha (Teitzel y Bruce 1972c, Cook 1978a). Winter y Jones (1977) encontraron que una mezcla de 1.13 kg Zn/ha y 1.25 kg Cu/ha dieron máximos rendimientos de Stylo Cook en un suelo deficiente en ambos Zn y Cu. Comercialmente el Zn es aplicado en general como una mezcla de superfosfato con sulfato de zinc. En Queensland una mezcla de superfosfato y elementos menores que contiene 0.8% Zn, 1.2% Cu y 0.03% Mo es vendida comercialmente.

Muy poca experimentación ha sido realizada sobre el valor residual del Zn en el suelo pero como en el caso del Cu, se piensa que dura un tiempo considerable y las nuevas aplicaciones se recomiendan después de 4 a 8 años (Bruce 1973, Teitzel y colaboradores 1978). Bryan y Evans (1971) no encontraron respuesta a aplicaciones adicionales de Zn 6 y 11 años después de una aplicación inicial de 1.8 kg Zn/ha en Beerwah al sur de Queensland.

Diferencia entre especies

No se ha realizado una comparación directa de la capacidad de respuesta de las leguminosas tropicales al Zn. Considerando los resultados de Andrew y Bryan (1958), Rusell (1966) y Crack (1971) los dos grupos siguientes se han formado:

Los que más responden : especies de Stylosanthes, fríjol "phasey", (Pueraria phaseoloides)

Los que menos responden : Desmodium intortum cv. Hoja verde

C O B A L T O

No se ha registrado ninguna respuesta a Co en leguminosas tropicales en Australia aunque el trébol subterráneo se conoce que responde en algunos suelos del sur de Australia (Powrie 1960). Concentraciones totales bajas en el suelo fueron encontradas por Bryan y colaboradores (1960) en un suelo laterítico podzólico (0.03 a 0.05 ppm Co) y en un suelo bajo gley húmico (0.09 a 0.10 ppm Co) en las tierras bajas costeras del sur de Queensland pero no se conoce si el contenido total de Co en el suelo es o no es un índice de la disponibilidad de Co para las plantas. El Desmodium Hoja de Plata que crece en estos suelos contiene 0.06 a 0.09 ppm Co, pero no ha habido evidencia de deficiencias de este elemento en animales en pastoreo y no ha habido respuesta a terapia de Co con carneros pastoreando en estos suelos (Bryan y colaboradores 1960, Bryan y Evans 1971). En otros lugares de las tierras costeras bajas de Queensland, Norton y Hales (1976) han registrado deficiencias en ovejas lactantes y sus crias pastoreando en Pangola (Digitaria decumbens).

La única respuesta a terapia de Co en ganado bovino es la registrada para novillos de 2 años pastoreando un pastizal de Stylo Schofield en un suelo amarillo en el norte de Queensland (Winter y colaboradores 1977). Isbell y colaboradores (1976) llamaron la atención sobre la baja concentración de Co en esos suelos amarillos (4 a 5 ppm Co) mientras que Winter y Jones (1977) registraron concentraciones muy bajas de Co en Stylo Cook sin fertilizar (0.015 a 0.003 ppm en años sucesivos) que crecía en esos suelos. Cambios estacionales en la concentración de Co en Stylo Schofield son presentados por Winter y colaboradores (1977).

Poco se conoce acerca del estado de Co en otros suelos del norte de Australia o de la capacidad de las leguminosas tropicales para acumular Co en sus tejidos. En los experimentos de Winter y Jones (1977) las concentraciones de Co en Stylo Cook aumentaron con tasas de Co aplicadas pero las concentraciones fueron aún bajas desde el punto de vista de nutrición animal. La recolección de información de este tipo está en desventaja por la dificultad en

analizar Co pero sería relevante para la nutrición animal.

M A N G A N E S O

Aunque Mn ha sido incluido como un tratamiento en evaluar el estado de nutrimentos de los suelos en las regiones tropicales y subtropicales de Australia no se han encontrado deficiencias. Isbell y colaboradores (1976) llamaron la atención sobre el bajo contenido total de Mn del suelo (12 a 20 ppm Mn) en algunos suelos amarillos y rojos en el norte de Queensland pero una deficiencia no fue confirmada por Winter y Jones (1977) en experimentos subsecuentes de campo. Sin embargo, ellos si encontraron que el Stylo Cook que crece en ausencia de Mn contenía bajas concentraciones (12 a 21 ppm Mn).

La toxicidad de Mn es conocida en algunos suelos del norte de Australia (Fergus 1954) particularmente donde se han usado altas tasas de fertilizantes acidificadores (Siman y colaboradores 1971). Andrew y Hegarty (1969) encontraron que las leguminosas tropicales como un grupo fueron mucho más afectadas por el exceso de Mn que las leguminosas de zonas templadas. Ellos encontraron que centro, Stylo townsville y lotononis fueron relativamente tolerantes a altos niveles de Mn; fríjol "phasey", leucaena (Leucaena leucocephala) y Desmodium Hoja de Plata fueron intermedios en cuanto a tolerancia y soya perenne y siratro muchos menos tolerantes. También se presentan las concentraciones límites de toxicidad de Mn en las partes aéreas de las plantas. En su trabajo Andrew y Pieters (1970) describen los síntomas de deficiencia de Mn en todas las especies de leguminosas tropicales mencionadas arriba, excepto leucaena.

Ejemplos de toxicidad de Mn en el campo han sido dados por Diatloff y Luck (1972) con soya perenne y desmodium Hoja verde y por Philpotts (1975) con soya perenne y siratro. No hay información publicada relacionando toxicidad de Mn en leguminosas tropicales con análisis de suelos para manganeso.

FUTURAS INVESTIGACIONES

Técnicas

El número de ensayos en macetas que han sido conducidos excede en mucho al número de experimentos de campo. Las técnicas de cultivo en macetas parecen

ser mas sensitivas que la experimentación de campo en detectar deficiencia de Mo pero da resultados similares para Cu y Zn. Como la confirmación de las respuestas en macetas es requerida en el campo, el mejor uso de los ensayos en macetas parece ser en las investigaciones regionales de caracterización de fertilidad de suelos donde un gran número de suelos pueden ser evaluados en el invernadero y sus respuestas pueden ser seguidas con experimentos de campo en unos pocos sitios representativos. Otra aplicación en áreas de desarrollo de pastos podría ser re-evaluar suelos previamente caracterizados y seleccionados (o en comparar con suelos vírgenes y desarrollados) para comprobar la aparición de nuevas deficiencias previamente corregidas. Cualquier respuesta necesita confirmación en el campo pero la técnica de macetas tiene la ventaja de permitir que un gran número de sitios sean evaluados bajo condiciones comparables con nutrición como el único factor limitante. Para estos experimentos el suelo debería ser recolectado de tantos sitios como fuese práctico en área fertilizada para disminuir una distribución desigual de nutrientes en el campo y entonces tamizados y puestos en las macetas con un mínimo de secado y almacenamiento para prevenir liberación de nutrimentos particularmente N, en vista de su efecto en los requerimientos de Mo de las leguminosas.

En los experimentos de campo hay ventajas en seguir las respuestas más allá de la primera estación de crecimiento. Los datos recolectados deberían incluir: descripción y clasificación completas de suelos; análisis de fertilidad, incluyendo algunas determinaciones en el perfil (pH, conductividad) y análisis de nitrato cuando se evalue el Mo; análisis de plantas; y alguna indicación de la profundidad de las raíces.

Mientras que la distribución de elementos menores en mezclas de fertilizantes queda por resolver por parte de los fabricantes, parece deseable evitar el uso de mezclas en experimentación, o al menos, solamente deben usarse muestras bien mezcladas cuya composición haya sido comprobada por análisis.

Diagnóstico

Para cada uno de los elementos menores hay necesidad de mayor investigación básica en cuanto a la química de suelos del Norte de Australia. Esto

es necesario para un mejor entendimiento de la disponibilidad y valor residual y también para proveer un principio unificador entre los suelos deficientes. Sin duda tal investigación ha sido restringida por la dificultad en analizar estos elementos, particularmente Mo y Co, pero algunas técnicas analíticas mejoradas están ahora disponibles (Little y Kerridge 1978).

Las interpretaciones basadas en experimentos de campo se requieren para análisis de elementos menores extraibles. Ninguno de los análisis comunmente usados puede ser propiamente interpretado, ni han sido evaluados procedimientos alternativos. La adsorción de Mo por los suelos merece más estudio, probablemente junto con el Mo extraible. El uso de diagnóstico de análisis de Cu total y Zn también necesita ser evaluado.

Al presente, el análisis de planta es solamente una guía general para deficiencia y se requiere algún nuevo enfoque. El análisis de semillas podría ser recompensable así como el análisis de nódulos para el Mo.

Una filosofía expresada a veces con respecto a la aplicación de elementos menores es que el diagnóstico preciso de los requerimientos nutricionales no es necesario, ya que los costos adicionales son pequeños y el uso puede ser considerado como una "medida de seguridad". El precio actual de los fertilizantes no apoya esta filosofía.

El superfosfato molibdenizado cuesta aproximadamente 7 a 20% más que el superfosfato ordinario, dependiendo del contenido de Mo. Una aplicación de 100 g Mo/ha añade aproximadamente 10% al costo del fertilizante aplicado en 250 kg/ha de superfosfato. Otra consideración es que el uso excesivo de Mo causa problemas de salud animal. El superfosfato fortificado con Cu cuesta 50% más que el superfosfato ordinario, mientras que la adición de Cu, Zn y Mo casi duplica el costo. La filosofía de "seguridad" podría ser aceptable para fertilización de establecimiento pero es extravagante y potencialmente dañina para aplicaciones regulares de fertilizantes.

REFERENCES

ANDERSON, A. J. (1956a)—Molybdenum as a fertilizer. *Advances in Agronomy* 8: 167-202.

ANDERSON, A. J. (1956b)—Molybdenum deficiencies in legumes in Australia. *Soil Science*. 81: 173-258.

ANDERSON, A. J., and ARNOTT, K. H. (1933)—Fertilizer studies on basaltic red loam soil from the Lismore district, New South Wales. *Australian Journal of Agricultural Research*. 4: 29-43.

ANDREW, C. S. (1964)—Copper deficiency symptoms of some tropical and temperate pasture legumes. *Australian Journal of Agricultural Research*. 14: 654-59.

ANDREW, C. S., and BRYAN, W. W. (1965)—Pasture studies on the coastal lowlands of subtropical Queensland. I. Introduction and initial plant nutrient studies. *Australian Journal of Agricultural Research*. 16: 265-80.

ANDREW, C. S., and BRYAN, W. W. (1968)—Pasture studies on the coastal lowlands of subtropical Queensland III. The nutrient requirements and responsiveness of *Desmodium uncinatum* and white clover on a lateritic podzolic soil. *Australian Journal of Agricultural Research*. 9: 267-85.

ANDREW, C. S., and HEGARTY, M. P. (1969)—Comparative responses to manganese excess of eight tropical and four temperate pasture legume species. *Australian Journal of Agricultural Research*. 20: 687-96.

ANDREW, C. S., and PIETERS, W. H. J. (1970)—Manganese toxicity symptoms of one temperate and seven tropical pasture legumes. C.S.I.R.O., Australia, Division of Tropical Pastures, Technical Paper No. 4.

ANDREW, C. S., and PIETERS, W. H. J. (1972a)—Foliar symptoms of mineral disorders in *Desmodium intortum*. C.S.I.R.O. Australia, Division of Tropical Pastures, Technical Paper No. 10.

ANDREW, C. S., and PIETERS, W. H. J. (1972b)—Foliar symptoms of mineral disorders in *Phaseolus atropurpureus*. C.S.I.R.O., Australia, Division of Tropical Pastures, Technical Paper No. 11.

ANDREW, C. S., and PIETERS, W. H. J. (1976a)—Foliar symptoms of mineral disorders in *Lotonomis bainesii*. C.S.I.R.O., Australia, Division of Tropical Agronomy, Technical Paper No. 17.

ANDREW, C. S., and PIETERS, W. H. J. (1976b)—Foliar symptoms of mineral disorders in *Glycine wightii*. C.S.I.R.O., Australia, Division of Tropical Agronomy, Technical Paper No. 18.

ANNING, P. (1977)—A preliminary soil assessment of the nutrient status of a red earth on Kalinga Station, Cape York Peninsula. Queensland Department of Primary Industries, Agriculture Branch Project Report No. P 7.77.

BARROW, N. J. (1978)—Inorganic reactions of phosphorus, sulphur, and molybdenum in soil. Proceeding of Workshop on Mineral Nutrition of Tropical Legumes on Acid Tropical Soils. Brisbane, 1978 (in press).

BARROW, N. J., and SPOSITO, K. (1974)—Factors in the molybdenum and phosphorus status of soils on the Dorrigo Plateau of New South Wales. *Australian Journal of Experimental Agriculture and Animal Husbandry*. 14: 670-76.

BISHOP, H. G. (1974)—Pasture investigations in the sandy forest country of north-west Queensland. 1. Nutritional Requirements. *Queensland Journal of Agricultural and Animal Sciences*. 31: 329-36.

BRUCE, R. C. (1973)—Fertilizer recommendations for pasture establishment and maintenance. *In* "Developing a property in the southern Wallum", Department of Primary Industries, Queensland, mimeographed report.

BRYAN, W. W. (1972)—A review of research findings concerned with pastoral development on the Wallum of south-eastern Queensland. *Tropical Grassland*. 7: 175-94.

BRYAN, W. W., and EVANS, T. R. (1971)—Grazing trials on the Wallum of south-eastern Queensland. 3. A nursery grazed by sheep. *Australian Journal of Experimental Agriculture and Animal Husbandry*. 11: 633-39.

BRYAN, W. W., THORNE, Peggy M., and ANDREW, C. S. (1960)—Cobalt status of the Wallum. *Journal of the Australian Institute of Agricultural Science*. 26: 273-75.

CAMERON, D. G. (1975)—Regional pasture development and associated problems. III Queensland. *Tropical Grasslands*. 9: 93-100.

CASSIDY, G. J. (1967)—Pasture improvement on the Mary Valley alluvial and coastal hillside soils. *Queensland Agricultural Journal*. 93: 207-211.

CASSIDY, G. J. (1967)—Pastures that help dairymen to succeed. *Queensland Agricultural Journal*. 93: 650-60.

COOK, B. G. (1978a)—Pastures for the Gympie district. Part 2. Pasture species. *Queensland Agricultural Journal*. 104: 162-73.

COOK, B. G. (1978b)—Pastures for the Gympie district. Part 3. *Queensland Agricultural Journal*. 104: 226-31.

COX, F. R., and KAMPRATH, E. J. (1972)—Micronutrient soil tests. *In* "Micronutrients in Agriculture". Proceedings of a symposium held at Muscle Shoals, Alabama, April 20-22, 1971. (Soil Science Society of America, Madison, Wisconsin).

CRACK, B. J. (1971)—Studies on some neutral red duplex soils (red 2.12) in north-east Queensland. 2. Glasshouse assessment of plant nutrient status. *Australian Journal of Experimental Agriculture and Animal Husbandry*. 11: 340-42.

DIATLOFF, A., and LUCK, P. E. (1972)—The effects of the interactions between seed inoculation, pelleting, and fertilizer on growth and nodulation of desmodium and glycine on lateritic soils in S.E. Queensland. *Tropical Grasslands*. 6: 35-38.

DICK, A. T. (1956)—Molybdenum in animal nutrition. *Soil Science*. 81: 229-36.

DOUGLAS, N. J. (1962a)—Fertilizers promote legume growth at Cooran, Queensland. *Agricultural Journal*. 88: 133-35.

DOUGLAS, N. J. (1962b)—Molybdenum and super improve Narrabour clover. *Queensland Agricultural Journal*. 88: 83-85.

DOUGLAS, N. J., and LUCK, P. E. (1961)—Farmer's guide to tropical pastures in S.E. Queensland. *Queensland Agricultural Journal*. 90: 583-94.

DUNCAN, O. W. (1967)—Correction of zinc deficiency in maize on the Darling Downs, Queensland. *Queensland Journal of Agricultural and Animal Sciences*. 24: 293-99.

FOLETTI, R. H., and LISHAY, W. L. (1971)—Changes in DTPA extractable zinc, iron, manganese, copper in soils following fertilization. *Soil Science Society of America Proceedings*. 35: 600-02.

FERGUS, I. F. (1971)—Manganese toxicity in an acid soil. *Queensland Journal of Agricultural Science*. 11: 15-27.

GARTNER, R. J. W., YOUNG, I. G., and PEPPER, Patricia M. (1968)—Hepatic copper concentration of steers grazing pastures on developed wet heath land in south-eastern Queensland. *Australian Journal of Experimental Agriculture and Animal Husbandry*. 8: 679-82.

GILKES, R. J., and SOUTHER, S. B. (1978)—The availability to wheat of copper from various sources including copper superphosphate. *Australian Journal of Soil Research*. 16: 113-20.

GRIGG, J. L. (1959)—Determination of available molybdenum in soils. *New Zealand Journal of Science and Technology*. 34A: 407-14.

HALL, R. L. (1970)—Pasture development in the spear grass region at Westwood in the Fitzroy Basin. *Tropical Grasslands*. 4: 77-84.

HAVILAH, E. J., and MEARS, P. T. (1968)—Plant nutrition research—beef cattle pastures of coastal northern N.S.W. *Tropical Grasslands*. 2: 84-91.

IBBELL, R. F., JONES, R. K., and GILMAN, G. P. (1976)—Plant nutrition studies on some yellow and red earth soils in northern Cape York peninsula. 1. Soils and their nutrient status. *Australian Journal of Experimental Agriculture and Animal Husbandry*. 16: 54-11.

ISBELL, R. F., and SMITH, G. McL. (1970)—Some properties of red, yellow, and grey massive earths in north Queensland. C.S.I.R.O., Australia, Division of Soils, Technical Paper No. 30.

JENSEN, H. L. (1948)—Nitrogen fixation in leguminous plants. VII. The nitrogen fixing activity of root nodule tissue in *Medicago* and *Trifolium*. *Proceedings of the Linnean Society of New South Wales*. 72: 265-83.

JENSEN, H. L., and BETTY, R. C. (1953)—Nitrogen fixation in leguminous plants. III. Importance of molybdenum in symbiotic nitrogen fixation. *Proceedings of the Linnean Society of New South Wales*. 68: 1-8.

JOHANSEN, C., KERRIDGE, P. C., LUCK, P. E., [illegible], B. G., [illegible], K. F., and OTTOWAY, H. (1977)—The residual effect of molybdenum fertilizer on growth of tropical pasture legumes in a sub-tropical environment. *Australian Journal of Experimental Agriculture and Animal Husbandry*. 17: 964-68.

JONES, R. K. (1973)—Studies on some deep sandy soils in Cape York Peninsula, North Queensland. 2. Plant nutrient status. *Australian Journal of Experimental Agriculture and Animal Husbandry*. 13: [illegible]

JONES, R. K. (1974)—A study of the phosphorus responses of a wide range of accessions from the genus Stylosanthes. *Australian Journal of Agricultural Research*. 25: 847-62.

JONES, R. K., and CLAY, H. L. (1976)—Foliar symptoms of nutrient disorders in Townsville stylo (*Stylosanthes humilis*). C.S.I.R.O. Australia, Division of Tropical Agronomy, Technical Paper No. 19.

JONES, R. K., and CRACK, B. J. (1970)—Studies on some solodic soils in north-eastern Queensland. 2. Glasshouse assessment of plant nutrient status. *Australian Journal of Experimental Agriculture and Animal Husbandry*. 10: 342-48.

KERRIDGE, P. C. (1972)—Nutrition of dairy pastures in north Queensland. C.S.I.R.O., Australia, Division of Tropical Pastures, Annual Report 1971-72, 41.

KERRIDGE, P. C., ANDREW, C. S., and MEARS, G. G. (1972)—Plant nutrient status of soils of the Atherton Tableland, North Queensland. *Australian Journal of Experimental Agriculture and Animal Husbandry*. 12: 615-27.

KERRIDGE, P. C., COOK, B. G., and EVERETT, M. L. (1973)—Application of molybdenum trioxide in the seed pellet for subtropical pasture legumes. *Tropical Grasslands*. 7: 229-32.

KERRIDGE, P. C., and EVERETT, M. L. (1975)—Nutrient studies on some soils from Eungella and East Funnel Creek, Mackay hinterland, Queensland. *Tropical Grasslands*. 9: 219-28.

KERRIDGE, P. C., and WHITE, R. E. (1977)—The residual effect of molybdenum fertilizer on a krasnozem on basalt at Maleny, south east Queensland. *Australian Journal of Experimental Agriculture and Animal Husbandry*. 17: 669-73.

LITTLE, I. P., and KERRIDGE, P. C. (1978)—A laboratory assessment of the molybdenum status of nine Queensland soils. *Soil Science*. 125: 102-6.

LONERAGAN, J. F. (1970)—The contribution of research in plant nutrition to the development of Australian pastures. Proceedings of the XI International Grassland Congress, Surfers Paradise, Australia: 419-422.

LUCK, P. E., and DOUGLAS, N. J. (1966)—Dairy pasture research and development in the near North Coast centred on Cooroy, Queensland. The Tropical Grassland Society of Australia, Proceedings No. 6, 45-50.

MCKENZIE, R. M. (1968)—The relation of laboratory analyses for copper, zinc, and molybdenum in some Victorian soils to the results of field trials. *Australian Journal of Experimental Agriculture and Animal Husbandry*. 6: 170-74.

MCLACHLAN, K. D. (1953)—Phosphorus, sulphur and molybdenum deficiencies on some soils of the Northern Territory. *Journal of the Australian Institute of Agricultural Science*. 19: 197-99.

MCLACHLAN, K. D. (1955)—Phosphorus, sulphur, and molybdenum deficiencies in soils from eastern Australia in relation to nutrient supply and some characteristics of soil and climate. *Australian Journal of Agricultural Research*. 6: 653-84.

MANNETJE, L. 'T., SHAW, N. H., and LEECH, T. W. (1963)—The residual effect of molybdenum fertilizer on improved pastures on a prairie-like soil in subtropical Queensland. *Australian Journal of Experimental Agriculture and Animal Husbandry*. 3: 20-25.

MEAGHER, W. R., JOHNSON, C. M., and STOUT, P. R. (1952)—Molybdenum requirement of leguminous plants supplied with fixed nitrogen. *Plant Physiology*. 27: 225-30.

MEARS, P. T., and BARRETT, B. (1970)—Response of *Glycine wightii* to molybdenized superphosphate on a krasnozem. *Australian Journal of Experimental Agriculture and Animal Husbandry*. 10: 415-25.

NORTON, B. W., and HALES, J. W. (1976)—A response of sheep to rebait supplementation in south-eastern Queensland. *Proceedings of the Australian Society of Animal Production*. 11: 394-96.

OERTEL, A. C., and GILES, J. B. (1963)—Trace element contents of some Queensland soils. *Australian Journal of Soil Research*. 1: 215-23.

OSTROWSKI, H. (1966)—Tropical pastures for south-east Queensland. *Queensland Agricultural Journal*. 95: 508-16.

OSTROWSKI, H. (1970)—Molybdenized superphosphate requirement for pasture establishment on red forest soils in subtropical Queensland. Proceedings of the XI International Grassland Congress, Surfers Paradise, Australia. 121-26.

OSTROWSKI, R., DUTTOFF, A., and WILLIAMS, H. R. (1978)—Molybdenum responses of Siratro (*Macroptilium atropurpureum*) on a red volcanic soil in coastal south east Queensland. *Tropical Grasslands*. 12: 75-79.

PHILPOTTS, Helen (1973)—The effect of lime and *Rhizobium* strain on the nodulation of *Glycine wightii* and *Macroptilium atropurpureum* on acid soils. *Tropical Grasslands*. 9: 37-41.

POWELL, J. K. (1969)—A field response to substrate and lower to cobalt fertilizer. *Australian Journal of Science*. 23: 198-99.

ROE, R., and JONES, R. J. (1969)—Soil fertility and pasture species investigations on soils derived from phyllites in the North Deep Creek and Kin Kin areas. The Tropical Grassland Society of Australia, Proceedings No. 6, 18-22.

RUSSELL, J. S. (1966)—Plant growth on a low calcium status solodic soil in a subtropical environment. I. Legume species calcium carbonate, zinc, and other minor element interactions. *Australian Journal of Agricultural Research*. 17: 67-80.

SHAW, N. H., GATES, C. T., and WILSON, J. R. (1966)—Growth and chemical composition of Townsville lucerne (*Stylosanthes humilis*). 1. Dry matter yield and nitrogen content in response to superphosphate. *Australian Journal of Experimental Agriculture and Animal Husbandry*. 6: 150-56.

SIMAN, A., CRADOCK, F. W., NICHOLLS, P. J., and KIRTON, H. C. (1971)—Effects of calcium carbonate and ammonium sulphate on manganese toxicity in an acid soil. *Australian Journal of Agricultural Research*. 22: 201-11.

SPENCER, K., and GOVARES, A. G. (1974)—An assessment of the nutrient status of soil in northern East Gippsland. *Australian Journal of Experimental Agriculture and Animal Husbandry*. 14: 85-92.

STEPHENS, C. G., and DONALD, C. M. (1958)—Australian soils and their responses to fertilizers. *Advances in Agronomy*. 10: 167-256.

SWAIN, F. G. (1958)—Responses to molybdenum three years after previous application on red basaltic soils on the Far North Coast of N.S.W. *Journal of the Australian Institute of Agricultural Science*. 25: 53-54.

TEITZEL, J. K. (1969)—Responses to phosphorus, copper and potassium on a granite loam of the wet tropical coast of Queensland. *Tropical Grasslands*. 3: 43-8.

TEITZEL, J. K. and BRUCE, R. C. (1971)—Fertility studies of pasture soils in the wet tropical coast of Queensland. 2. Granitic soils. *Australian Journal of Experimental Agriculture and Animal Husbandry*. 11: 77-84.

TEITZEL, J. K., and BRUCE, R. C. (1972a)—Fertility studies of pasture soils in the wet tropical coast of Queensland. 3. Basaltic soils. *Australian Journal of Experimental Agriculture and Animal Husbandry*. 12: 49-54.

TEITZEL, J. K., and BRUCE, R. C. (1972b)—Fertility studies of pasture soils in the wet tropical coast of Queensland. 4. Soils derived from metamorphic rocks. *Australian Journal of Experimental Agriculture and Animal Husbandry*. 12: 281-87.

TEITZEL, J. K., and BRUCE, R. C. (1972c)—Pasture fertilizers for the wet tropics. *Queensland Agricultural Journal*. 98: 15-23.

TEITZEL, J. K., and BRUCE, R. C. (1973)—Fertility studies of pasture soils in the wet tropical coast of Queensland. 6. Soils derived from beach sand. *Australian Journal of Experimental Agriculture and Animal Husbandry*. 13: 512-18.

TEITZEL, J. K., STANDLEY, J., and WILSON, R. J. (1978)—Maintenance fertilizer strategies for wet tropics pastures. *Queensland Agricultural Journal*. 104: 129-30.

TRUONG, N. V., ANDREW, C. S., and SEYMAN, P. I. (1967)—Responses by Siratro (*Phaseolus atropurpureus*) and white clover (*Trifolium repens*) to nutrients on solodic soils at Beaudesert, Queensland. *Australian Journal of Experimental Agriculture and Animal Husbandry*. 7: 232-36.

VINOGRADOVA, KB., G. (1943)—Presence of molybdenum in Leguminosae. *Doklady Akademii Nauk S.S.S.R.* 40: 26-9.

WALKER, B., KERRIDGE, P. C., and WEBB, A. A. (in press)—Soil fertility studies for pastures in the Mackay wet tropical coast of central Queensland. *Tropical Grasslands* (in press).

WEBB, A. A. (1975a)—Studies on major soils of the Forsayth Granite. 2. Glasshouse nutrient assessment. *Queensland Journal of Agricultural and Animal Sciences*. 32: 37-46.

WEBB, A. A. (1975b)—Plant nutrient status of soils of the Mayvale Land System, north Queensland. *Queensland Journal of Agricultural and Animal Sciences*. 32: 19-26.

WEBB, A. A. (1977)—Studies on the gilgaied clay soils (Ug 5.2) of the Highworth Land System in central Queensland. 2. Glasshouse assessment of plant nutrient status. *Queensland Journal of Agricultural and Animal Sciences*. 34: 67-74.

WILLIAMS, C. H., and ANDREW, C. S. (1970)—Mineral nutrition of pastures. *In* "Australian Grasslands". (Ed. R. M. Moore). Australian National University Press: Canberra.

WINTER, W. H., and JONES, R. K. (1977)—Nutrient responses on a yellow earth soil in northern Cape York Peninsula. *Tropical Grasslands*. 11: 247-55.

WINTER, W. H., SIEBERT, B. D., and KUCHEL, R. E. (1977)—Cobalt, phosphorus and copper deficiency in cattle on improved pastures in northern Cape York Peninsula. *Australian Journal of Experimental Agriculture and Animal Husbandry*. 17: 10-15.

(Accepted for publication September 8, 1978)

RESPUESTA DIFERENCIAL DE OCHO GRAMINEAS FORRAJERAS A ESTRES DE AL Y P EN UN OXISOL DE CARIMAGUA, COLOMBIA

JOSE G. SALINAS
GUIDO DELGADILLO

CENTRO INTERNACIONAL DE AGRICULTURA TROPICAL
1980

RESPUESTA DIFERENCIAL DE OCHO GRAMINEAS FORRAJERAS A ESTRES DE AL Y P EN UN OXISOL DE CARIMAGUA, COLOMBIA*

José G. Salinas y Guido Delgadillo**

RESUMEN

La toxicidad de Al y la deficiencia de P ocurren frecuentemente en los Oxisoles del trópico, limitando la productividad de especies forrajeras. La selección de especies tolerantes a dichas condiciones adversas debe considerarse como una alternativa para utilizar estas extensas áreas con mínimo uso de insumos. Se estudió la respuesta diferencial de ocho gramíneas forrajeras al estrés de Al y/o P en el suelo. El experimento fue establecido en 1977 en un Oxisol de Carimagua (Haplustox Típico, arcilloso, caolinítico, isohipertérmico). Para obtener una saturación de Al equivalente a 90, 85, 75 y menos de 20%, se aplicaron 0, 0,5, 1,0 y 5,0 ton cal/ha y para obtener 1,5, 3, 9 y >30 ppm de P disponible (Bray II) en el suelo, se aplicaron 0, 17, 117 y 277 kg de P/ha, como superfosfato triple. Los resultados indican que varias gramíneas forrajeras bajo condiciones minerales limitantes pueden sobrevivir y/o producir. Se consideró que solamente la habilidad de una gramínea forrajera para sobrevivir en suelos ácidos no tiene valor si la producción es baja y que la producción absoluta indica el potencial de una especie forrajera para producir en condiciones adversas. De aquí que rendimientos relativos y rendimientos absolutos fueron considerados como criterios

---

* Trabajo a presentarse en el VII Congreso Latinoamericano de la Ciencia del Suelo, Heredia, Costa Rica, Junio 30-Julio 4, 1980

** CIAT, Programa de Pastos Tropicales, Apartado Aéreo 6713, Cali, Colombia.

útiles en la respuesta diferencial de estas gramíneas. Se estimó que una producción de materia seca que no excedió al 50% de su rendimiento máximo, es determinante de la condición de "supervivencia" o "producción relativa baja" (PRB). Cuando el rendimiento relativo estuvo entre 50 y 80% de ese máximo, se consideró a la planta en condición de "producción relativa media" (PRM) y finalmente, por encima del 80% del rendimiento máximo, en condición de "producción relativa alta" (PRA) bajo estrés de Al y/o P. El límite superior se fijó en 80%, debido a que en la mayoría de los casos por encima de este porcentaje, la tasa de incremento en producción de materia seca por unidad de insumo aplicado (cal y/o fósforo) fue relativamente baja y no significativa. Los resultados, con este criterio, muestran una respuesta diferencial de *Andropogon gayanus*, *Brachiaria humidicola*, *Brachiaria decumbens*, *Hyparrhenia rufa*, *Melinis minutiflora*, *Digitaria decumbens*, *Panicum maximum* y *Pennisetum purpureum*, a estrés de Al y/o P. La respuesta de varias gramíneas al encalado fue al primer incremento de cal (0,5 ton/ha), de donde se dedujo que la respuesta fue relativa a nutrición de calcio y que junto con el primer incremento de la fertilización fosforada (17 kg de P/ha) determinaron que varias gramíneas pasen a una condición de "producción relativa media" y "producción relativa alta".

INTRODUCCION

Una estrategia para la producción de ganado de carne en América tropical, es el desarrollo de una tecnología de producción de forrajes en suelos ácidos y de baja fertilidad natural (CIAT, 1978). De aquí, dos componentes de esta estrategia resaltan en la producción de pasturas y son, el factor suelo (suelo ácido e infértil) y el factor planta (germoplasma forrajero). El principio de esta estrategia es incorporar el factor planta como participante directo en el complejo de infertilidad de los suelos ácidos de América tropical. En muchos casos, la selección de especies forrajeras para suelos ácidos de baja fertilidad natural puede resultar más económica que modifi-

car la fertilidad del suelo ácido para establecer pasturas.

Respecto al factor suelo, durante los últimos años se ha enfatizado el estudio de la distribución geográfica y propiedades de los suelos en America tropical y un resultado de estos estudios es el mapa tentativo presentado por Sánchez y Cochrane (1979). Los Oxisoles y Ultisoles representan los órdenes más extensos, cubriendo el 56% de la superficie de América tropical en las zonas de tierras bajas (0-900 m) y zonas intermedias (900-1800 m). De esta manera, estas áreas constituyen un bloque extenso de tierra, siendo la mayoría potencialmente arable. A pesar de la favorable extensión, localización y topografía de estos suelos, el desarrollo agropecuario en estas áreas presenta ciertas limitaciones. Uno de los principales obstáculos para la producción de cultivos y/o pasturas es la baja fertilidad natural del suelo. La mayoría de los suelos del trópico americano presenta un "complejo de infertilidad", el cual identifica una deficiencia general de varios macro y micronutrimentos, alta acidez y toxicidades de Al y/o Mn (Spain, 1976; Salinas, 1979a).

La toxicidad de Al es uno de los factores prominentes que limita el desarrollo agrícola en la mayoría de estos suelos. Altos niveles de saturación de Al reducen el crecimiento radicular inhibiendo su elongación y penetración en el suelo y consecuentemente, reduciendo los sitios de absorción de agua y nutrimentos, así como también la utilización de éstos en el subsuelo (Salinas, 1979a; Gualdrón y Spain, 1979). En una segunda fase, el Al obstaculiza la translocación de varios nutrimentos a la parte aérea, los cuales se manifiestan como deficiencias nutricionales principalmente de P, Ca y Mg (Heylar, 1978; Andrew y Vanden Berg, 1973; Salinas, 1978). Todos estos efectos de Al se reflejan en un descenso de la productividad de los cultivos. Otra importante limitación en Oxisoles y Ultisoles de América tropical, es la baja disponibilidad del P nativo para el establecimiento de pastos mejorados, de manera que cantidades considerables de P deben ser añadidas para satisfacer los requerimientos de las plantas (Fenster y León, 1979). Consecuentemente, esta situación causa se-

serias limitaciones agroeconómicas debido a los altos costos de fertilizantes fosforados.

Una alternativa para la producción de forrajes en los suelos ácidos e infértiles de América tropical es adaptar la planta a estas limitaciones. En efecto, a medida que progresa la investigación sobre gramíneas y leguminosas forrajeras tropicales, es posible evaluar el grado de tolerancia de diferentes especies o ecotipos, con respecto a la toxicidad de Al y la baja disponibilidad de P en el suelo (CIAT, 1977; Spain, 1979).

Con referencia al factor planta, la evolución de las plantas forrajeras en el trópico ha sido en la mayoría de los casos el resultado de una adaptación natural al ecosistema y a la migración de especies a nuevos ambientes, en los cuales han sido sometidas a otro tipo de presiones, dando lugar a nuevas combinaciones de caracteres (Mott y Hutton, 1979). Las presiones de selección han sido aquellas impuestas principalmente por el clima, disponibilidad de nutrimentos en el suelo y competencia de otras especies vegetales y consecuentemente, creando una variabilidad considerable en el recursos genético forrajero del trópico. Schultze-Kraft y Giacometti (1979) señalan que, debido a la amplia variabilidad del material genético existente en el trópico, no se justifica en la actualidad un esfuerzo en la hibridización del material vegetal y por el contrario, debería aumentarse la variabilidad genética en aquellos géneros promisorios mediante la recolección de germoplasma nativo en regiones con suelos ácidos e infértiles, que *per se* estaría adaptado a esas condiciones adversas. Sin embargo, bajo condiciones externas adversas, el criterio de adaptación tiene la implicación importante en cuanto se refiere a la supervivencia del material vegetal por una parte, y al potencial de producción como forraje por otra. Además, la capacidad de subsistencia de la planta forrajera al pastoreo y al corte, así como también la calidad del forraje son aspectos muy importantes, ya que al final el producto a desarrollar es una planta para pastoreo. Una vez realizada la recolección del germoplasma forrajero, la caracterización y evalua

ción cuantitativa del potencial de producción bajo un rango de condiciones de elevada acidez (toxicidad de Al) y/o disponibilidad de nutrimentos en el suelo, constituyen una etapa importante en el proceso de selección de especies forrajeras promisorias. De esta manera, un mejor conocimiento sobre la respuesta diferencial de especies forrajeras a las limitaciones de suelo mencionadas, puede proporcionar un significativo aporte en la utilización de extensas áreas de América tropical, lo cual puede determinar una menor inversión en fertilizantes y cal. Esto no implicaría necesariamente la eliminación total de fertilizantes y cal, pero si puede disminuír las tasas de aplicación necesarias para obtener un establecimiento adecuado de la pastura.

Los objetivos específicos de este trabajo fueron determinar la respuesta diferencial de gramíneas forrajeras tropicales a estrés de Al y P en el Oxisol de Carimagua, Colombia y evaluar un criterio para identificar la tolerancia a estrés de Al y/o P como una parte integral de un sistema de selección de especies forrajeras a condiciones adversas del suelo.

MATERIALES Y METODOS

El sitio experimental estuvo localizado en el Centro Nacional de Investigaciones Agropecuarias ICA-CIAT en Carimagua, Colombia. Este Centro se halla situado a 4°37' latitud Norte y 71,5° longitud Oeste, a una elevación de 175 m sobre el nivel del mar. El clima predominante caracteriza a una sabana hipertérmica estacional con una temperatura media de 26°C y una precipitación anual promedio de 2000 mm, correspondiendo el régimen lluvioso entre Abril y Noviembre, con una época seca de aproximadamente 4-5 meses (ICA-CIAT, 1979; Spain, 1979).

El suelo fue clasificado como un Haplustox Típico, arcilloso, caolinítico, isohipertérmico (CIAT, 1978). Muestras de este suelo fueron tomadas del área experimental previamente a su utilización

con los propósitos de una caracterización inicial, estudios de incubación de suelo-cal, y determinación de isotermas de fijación de P. Los análisis iniciales de suelo (Cuadro 1), indicaron una alta acidez, baja capacidad de cationes cambiables, alto porcentaje de saturación de Al y deficiencia en P disponible. Se consideró las condiciones edáficas de acidez e infertilidad adecuadas para evaluar la respuesta de especies forrajeras a la toxicidad de Al y baja disponibilidad de P.

El estudio de incubación del suelo con diferentes dosis de cal fue conducido siguiendo el procedimiento general desarrollado por Kamprath (1970). El propósito fue medir la neutralización de Al cambiable para obtener una saturación de Al equivalente a 90, 85, 75 y menos de 20%, respectivamente. Las dosis de cal dolomítica empleadas fueron de 0, 0,5, 1,0 y 5,0 ton/ha, respectivamente; y que fueron seleccionadas por extrapolación directa de los estudios de incubación del suelo. La isoterma de fijación de P se determinó según el método de Fox y Kamprath (1970). De esta isoterma de fijación de P fueron seleccionadas las dosis de 0, 17, 117 y 277 kg de P/ha aplicadas como superfosfato triple, para obtener una concentración de <0,01, 0,02, 0,04 y 0,08 ppm de P en la solución del suelo, respectivamente.

El diseño experimental consistió en parcelas divididas en bloques al azar con tres repeticiones, teniendo como parcela principal a la interacción de cuatro niveles de cal (0, 0,5, 1,0 y 5,0 ton de cal/ha) y cuatro niveles de P (0, 17, 117 y 277 kg de P/ha), las subparcelas consistieron de 40 especies entre gramíneas y leguminosas forrajeras del trópico. El presente trabajo muestra sólo los resultados de las gramíneas que incluyeron a: *Panicum maximum* (Guinea común), *Digitaria decumbens* (Pangola), *Melinis minutiflora* (Gordura), *Hyparrhenia rufa* (Puntero), *Andropogon gayanus* (CIAT-621), *Brachiaria humidicola* (CIAT-682), *Brachiaria decumbens* (CIAT-606), y *Pennisetum purpureum* (pasto Elefante). El tamaño de la parcela principal fue de 20 x 30 m y el de la subparcela de 2,5 x 5 m.

El área experimental cubierta con vegetación natural de sabana fue inicialmente arada a 20 cm de profundidad y la cal, de acuerdo

con los tratamientos, fue aplicada al voleo e incorporada a la profundidad de 20 cm, un mes antes de la siembra. El fertilizante fosforado fue aplicado al voleo días antes de la siembra y con el propósito de evitar desorden nutricional no atribuíble a cal y P, se aplicó al voleo una fertilización básica general de N, K, S, Zn, Cu, B y Mo. Luego de la aplicación de los fertilizantes, las subparcelas fueron surcadas a 0,50 m de distancia, correspondiendo cuatro surcos por subparcela. Las especies forrajeras fueron sembradas por semilla y vegetativamente en Agosto-Septiembre de 1977, con un período de establecimiento al primer corte de aproximadamente tres meses. Se realizaron un total de cuatro cortes hasta Febrero 1979 y los resultados presentados de producción de materia seca se refieren al promedio de cuatro cortes y que corresponde a un año del establecimiento de las gramíneas.

Los dos surcos centrales de las subparcelas menos dos metros de ambos extremos fueron cosechados a una altura de corte de acuerdo al tipo de crecimiento de las especies forrajeras, gramíneas erectas a 15 cm y gramíneas rastreras a 5 cm. La producción de materia seca fue basada en el peso seco obtenido del secado de submuestras a 65°C.

Muestras de suelo fueron tomadas en el área experimental después del cuarto corte en cada subparcela. Tres submuestras por subparcela fueron tomadas a la profundidad de 0-20 cm y mezcladas para una muestra compuesta. Las muestras fueron secadas al aire y preparadas para su análisis. Se determinó el pH en una suspensión suelo-agua de 1:1. La acidez intercambiable, Ca y Mg fueron extraídos con KCl 1N y la acidez intercambiable fue determinada por titulación, la cual fue considerada como Al intercambiable (Lin y Coleman, 1960). Calcio y Mg fueron determinados por absorción atómica (Salinas, 1979b). Fósforo disponible fue extraído con la solución Bray-II y potasio fue determinado en este extracto por absorción atómica (Salinas, 1979b).

RESULTADOS Y DISCUSION

Propiedades químicas del suelo

El Cuadro 1 resume las características edáficas del perfil del suelo de Carimagua. En términos de pH se observa que en los primeros 80 cm de profundidad, los valores de pH fluctúan entre 4,1 y 5,0, que es una condición ideal para una elevada solubilidad del Al (McLean, 1976) y por ende, llegar a niveles tóxicos para el crecimiento y desarollo de muchas especies (Salinas, 1978). En efecto, el Al intercambiable se encuentra entre 1,0 y 3,6 meq/100g y que con el bajo contenido de bases intercambiables (Ca, Mg y K), la capacidad de intercambio catiónico efectiva es baja, fluctuando entre 1,4 y 4,2 meq/100g en los primeros 80 cm de profundidad. Estas características de acidez, se reflejan en la elevada saturación de Al que está por encima del 80%. Varios investigadores han mostrado una correlación significativa entre la saturación de Al y la respuesta de las plantas (Evans y Kamprath, 1970; Sartain y Kamprath, 1975; Salinas, 1978). En general, estos investigadores señalan que por encima del 60% saturación de Al, la mayoría de las especies presentan susceptibilidad a la toxicidad del elemento. Esto significa que, el Oxisol de Carimagua virtualmente tipifica a un suelo mineral ácido con nivel tóxico de Al en los primeros 80 cm de profundidad. Entre 80 y 160 cm existe una baja de la saturación de Al debido principalmente al aumento de Ca y Mg, cationes que llegan a neutralizar el aluminio intercambiable (Fig. 1). Esta situación sugiere un movimiento de Ca y Mg hacia los horizontes inferiores.

En relación a la disponibilidad de P se observa que la capa arable (0-20 cm) presenta un valor de 1,5 ppm de P Bray-II considerado como muy bajo. Prácticamente, por debajo de los 20 cm la cantidad de P presente puede ser considerada como trazas.

El Cuadro 2 resume los cambios de P disponible, pH, Al, Ca, Mg y K intercambiables, así como también los porcentajes de saturación de Al, Ca y Mg, en función de los tratamientos aplicados luego del cuarto

corte de las gramíneas forrajeras. Esta caracterización del suelo corresponde aproximadamente a 18 meses después de las aplicaciones de los tratamientos. Los niveles de cal dolomítica aplicados a los primeros 20 cm de profundidad, resultaron en diferencias significativas en pH, porcentajes de saturación de Al, Ca y Mg. La neutralización del Al estuvo en los rangos requeridos para observar la respuesta diferencial de las especies forrajeras. Sin embargo, es importante resaltar que la adición de fósforo por medio del superfosfato triple causó un aumento considerable en el calcio, debido al contenido de este elemento en el superfosfato triple. Este fertilizante con 45% de P_2O_5 contiene en promedio 31% de $CaCO_3$ equivalente (Mehring, 1961), lo que significa un aporte de 0,63 kg de Ca/kg de P. Teniendo en cuenta esta cantidad, los niveles de P aplicados en el experimento (0, 17, 117 y 277 kg de P/ha) aportaron 0, 11, 74 y 175 kg de Ca/ha, respectivamente. Estas cantidades equivalen a 0, 28, 185 y 428 kg de $CaCO_3$ eq/ha, lo cual influyó en la neutralización del Al cambiable y consecuentemente, en los porcentajes de saturación de Al y Ca a medida que aumentó el nivel de P (Cuadro 3). El porcentaje de saturación de Mg no fue afectado por el superfosfato triple al tener éste bajos contenidos del elemento y el cambio en Mg a cada nivel de cal no es sino un reflejo de la cal dolomítica empleada.

La Figura 2 muestra la relación entre el porcentaje de saturación de Al y los valores de pH del suelo obtenidos luego de 18 meses de aplicados los tratamientos de cal y P. La pendiente de la línea indica que los incrementos del porcentaje de saturación de Al afectan los cambios de pH en una forma bastante similar (disminución en 0,01 unidades de pH por cada unidad de aumento en saturación de Al). Además, la Figura 2 también ilustra el hecho de que alrededor de pH 5,5, la saturación del Al es prácticamente nula. Pearson (1975) concluye que, en general, los suelos ácidos minerales presentan una alta resistencia a los cambios de pH por encima de 5,5 y cualquier intento para encalar estos suelos a los valores convencionales de pH 6,5 a 7,0 no es aconsejable. Además, Kamprath (1972) indica que el encala-

miento de estos suelos para elevar el pH por encima de 6,0, neutralizaría mayormente el hidrógeno, grupos carboxílicos, hidróxidos de Al y Fe, los cuales esencialmente no corresponden a la acidez cambiable de estos suelos. Consecuentemente, los requerimientos de cal que consideren efectos directos y residuales deben ser basados en la neutralización del Al cambiable y no en el cambio del pH *per se*. Por supuesto, existen excepciones para condiciones específicas en la relación suelo-planta, debido a diferencias importantes en los requerimientos de cal entre especies y variedades (Salinas, 1978; Spain, 1976). El grado de tolerancia de especies y variedades puede ser expresado en términos del porcentaje de saturación de Al de la capacidad efectiva de cationes cambiables. Consecuentemente, viene a ser necesaria sólo la aplicación de cal en una cantidad suficiente como para reducir el porcentaje de saturación de Al a niveles que no afecten la producción. Con este criterio, fue desarrollada una ecuación para estimar los requerimientos de cal para compensar la tolerancia a Al de especies y variedades (Cochrane y colaboradores, 1980).

Los niveles de P aplicados al voleo mostraron diferencias significativas entre ellos, pero no al aumentar los niveles de cal, aunque se observa un ligero aumento en los niveles de 17 y 117 kg de P/ha al aumentar la aplicación de cal. Estos resultados concuerdan en cierta manera con los obtenidos por Woodruff y Kamprath (1965) y los publicados por Lathwell (1979), en el sentido de que el encalado aumenta la eficiencia del fertilizante fosforado a causa de una mayor disponibilidad de P. Sin embargo, el encalado sin la aplicación de P no aumentó la disponibilidad del P nativo tal como indica Lathwell (1979). Probablemente, esto se deba a una baja mineralización del P orgánico en este suelo, aun con las aplicaciones altas de cal.

Producción de materia seca

Dos medios externos, suelos ácidos y soluciones nutritivas, han sido empleados para determinar la respuesta diferencial de especies y

variedades a la toxicidad de Al y/o baja disponibilidad de P (Moore *et al.*, 1976; Rhue y Grogan, 1976; Salinas,1978). Por otra parte, varios parámetros han sido utilizados para interpretar la respuesta diferencial de especies y variedades sometidas a condiciones de estrés de Al y/o P. Entre ellos se citan, la producción de grano y/o materia seca, longitud y/o peso radicular, tasas de crecimiento relativo de parte aérea y raíces, tasas de absorción y translocación de Al, P y otros nutrimentos. Todos estos parámetros utilizados en términos absolutos, relativos o sometidos a análisis de regresiones y correlaciones, así como también comparados con especies o variedades controles, han servido para identificar germoplasma tolerante a diversas condiciones adversas para el desarrollo vegetal (Tanaka y Hayakawa, 1974, 1975; Foy, 1974; Andrew *et al.*, 1973; Salinas, 1978). Sin embargo, de lo mencionado anteriormente, la definición del término "tolerante" presenta algunas limitaciones, debido principalmente a que en la actualidad no se sabe con exactitud lo que constituye la tolerancia a toxicidad de Al y/o baja disponibilidad de P en el medio externo.

Es reconocido el hecho de que algunas especies o variedades son más tolerantes que otras, pero no se conoce qué característica vegetal diferencia entre plantas tolerantes y susceptibles bajo las condiciones que se denominan "adversas". Por esta razón, en la actualidad se considera al grado de productividad de una especie o variedad como un indicador de esa "tolerancia" (Nieman y Shannon, 1976). En base a este criterio, durante la evaluación e interpretación de los resultados de este trabajo, se dió importancia particular al hecho de que especies forrajeras bajo estrés mineral pueden únicamente sobrevivir o producir. Consecuentemente, se visualiza que por lo menos existen cuatro maneras para explicar la tolerancia de estas especies forrajeras a estrés de Al y/o P: 1) La habilidad de una planta para sobrevivir en suelos ácidos infértiles; 2) La producción absoluta de la planta obtenida en el suelo ácido infértil; 3) La producción relativa de la planta obtenida a diferentes grados de acidez y fertilidad del suelo, comparado con la producción obtenida bajo condiciones de

acidez nula (ausencia de Al) y alta fertilidad (alta dosis de P); y 4) La producción relativa de la planta, obtenida a diferentes grados de acidez y fertilidad del suelo en relación a la producción máxima obtenida. Este último criterio difiere del tercero en el sentido de que no todas las especies o variedades desarrollan su máxima productividad bajo condiciones de acidez nula y alta fertilidad.

Por otra parte, se consideró que solamente la habilidad de una gramínea forrajera para sobrevivir en suelos ácidos infértiles no tendría valor si la producción es baja, por tanto, la producción absoluta indicaría el potencial de una especie forrajera para producir en condiciones adversas del suelo. De aquí, rendimientos relativos y absolutos fueron considerados como criterios útiles para interpretar la respuesta diferencial de las gramíneas a estrés de Al y/o P en el Oxisol de Carimagua.

Considerando el rendimiento relativo, se estimó que una producción de materia seca que no excedió al 50% de su rendimiento máximo, es determinante de la condición de "supervivencia" o "producción relativa baja". Cuando el rendimiento relativo estuvo entre 50 y 80% de ese máximo, se consideró a la gramínea en condición de "producción relativa media" y finalmente, por encima del 80% del rendimiento máximo, en condición de "producción relativa alta" bajo estrés de Al y/o P. El límite inferior se fijó en un 50%, con el criterio de que la reducción del potencial de producción de una especie a un 50% o menos tiene una implicación de supervivencia y no de productividad. Criterio bastante empleado en toxicología biológica (Matsumura, 1976; Liener, 1969; Lal, 1979). Finalmente, el límite superior se fijó en 80%, debido a que en la mayoría de los casos por encima de este porcentaje, la tasa de incremento en producción de materia seca por unidad de insumo aplicado (cal y/o fósforo) fue relativamente baja.

El Cuadro 3 presenta la producción de materia seca de las ocho gramíneas forrajeras estudiadas en relación a los diferentes niveles de cal y P aplicados. Estos resultados expresados en têrminos absolutos, mostraron que las producciones máximas de estas gramíneas fueron

obtenidas a diferentes combinaciones de cal y P, lo cual confirma el criterio 4 indicado anteriormente, en el sentido de que no todas las especies desarrollan su máxima productividad bajo condiciones de no toxicidad de Al y ausencia de estrés nutricional. En la mayoría de los casos, las gramíneas respondieron positivamente al primer incremento de cal y/o P (0,5 ton cal/ha y/o 17 kg P/ha), pero mostraron diferencias marcadas entre ellas bajo condiciones de máximo estrés de Al y P (tratamiento control). Teniendo en cuenta la producción absoluta (ton materia seca/ha) se observa que *Andropogon gayanus* tuvo el mayor potencial de producción bajo cualquier efecto de las interacciones cal-P que el resto de las gramíneas, seguido por *Brachiaria humidicola*. En efecto, *Andropogon gayanus* tiene poco vigor durante la etapa de plántula, pero luego de su establecimiento, las tasas de crecimiento y producción de materia seca supera a varias gramíneas forrajeras (CIAT, 1979). Es importante notar que bajo condiciones de un encalado elevado (5 ton/ha) y dosis altas de P (117 y 277 kg P/ha), todas las gramíneas, con excepción de *Pennisetum purpureum*, manifestaron una reducción en la producción de materia seca, lo cual probablemente esté relacionado con un desbalance nutricional debido a las altas dosis de cal y P aplicadas. *Pennisetum purpureum* fue la única gramínea que mostró una respuesta positiva a cada incremento de cal y P, con un rendimiento máximo en los niveles más altos de cal y P aplicados al suelo (5 ton cal y 277 kg P/ha).

La respuesta diferencial de las ocho gramíneas forrajeras tropicales en términos de rendimiento relativo es ilustrada en las Figuras 3, 4, 5 y 6, respectivamente. Sin la aplicación de cal y P (93% saturación de Al y 1,7 ppm de P), las gramíneas mostraron diferencias marcadas bajo estrés de Al y P. *Brachiaria humidicola* y *Andropogon gayanus* produjeron más del 50% de su rendimiento máximo, mientras que el resto de las gramíneas mostraron un 40% o menos de su producción máxima. El primer histograma de la Figura 3 muestra *per se* la amplia respuesta diferencial a ambas condiciones adversas del suelo, toxicidad de Al y baja disponibilidad de P. Las gramíneas que no alcanzaron un 50% de su rendimiento máximo son consideradas en un estado de

"supervivencia" o "producción relativa baja", bajo los efectos del Al tóxico y baja disponibilidad de P. Sin embargo, la producción de materia seca (producción absoluta) es considerada importante, por el hecho de que esta producción aunque no sobrepase el límite de 50% del rendimiento máximo, la cantidad de forraje producido puede satisfacer el criterio de tener una pastura aceptable y persistente. Esto sucede con *Brachiaria decumbens* al compararla con *Brachiaria humidicola*. El potencial de máxima producción de materia seca de *Brachiaria decumbens* fue de 7,1 ton/ha, mientras que el de *Brachiaria humidicola* fue de 3,3 ton/ha. Este potencial de producción determina una diferencia considerable entre ambas gramíneas al expresarla en términos relativos, pero que en términos absolutos y bajo condiciones de estrés de Al y P no existen diferencias considerables. Por esta razón, además de la producción relativa, debería considerarse la producción absoluta, por lo menos en el caso de especies forrajeras.

Con el primer incremento de P (17 kg P/ha) y manteniendo el estrés de Al (90% saturación de Al), la mayoría de las gramíneas aumentaron su rendimiento relativo. *Hyparrhenia rufa* y *Melinis minutiflora* sobrepasaron el límite de "supervivencia" o "producción relativa baja" pasando a una "producción relativa media". *Brachiaria humidicola* con este incremento bajo de P pasó el límite de "producción relativa media" (>80% producción relativa); *Andropogon gayanus* mantuvo su producción relativa, lo que significa que esta gramínea requiere de una mayor neutralización del Al o un suministro nutricional de Ca y Mg para una alta producción. Esta situación se explica al observar las Figuras 4 y 5, donde *Andropogon gayanus* pasó a una "producción relativa media" con 0,5 ton cal/ha y "producción relativa alta" con 1 ton cal/ha. En ambos casos, sin la aplicación de P o con el primer incremento de P (17 kg P/ha).

Se observa que con la adición de 0,5 ton de cal, cantidad que en promedio sólo neutralizó el Al en un 6%. la mayoría de las especies mostraron un incremento en producción de materia seca (Fig. 4). Resultados similares fueron observados cuando se aplicó 1 ton cal/ha (Fig.5).

Estos resultados indican que la respuesta de las gramíneas tolerantes a Al fue principalmente relativa a requerimientos nutricionales de Ca y Mg más que a un efecto de encalado. En general, con las aplicaciones de dosis altas de P (117 kg P y 277 kg/ha), las gramíneas mostraron un aumento en la producción de materia seca (absoluta y relativa); pero sin la aplicación de cal, *Brachiaria decumbens*, *Digitaria decumbens* y *Panicum maximum* no sobrepasaron el límite del 50% de rendimiento relativo. Estas gramíneas entraron a una "producción relativa media" al aplicarse 0,5 ton cal/ha (Fig. 4).

Cuando el aluminio se neutralizó (22% Sat.Al) con la aplicación de 5 ton cal dolomítica/ha (Fig. 6), las ocho gramíneas forrajeras mostraron más del 50% de producción relativa en los dos niveles bajos de P (1,5 y 2,9 ppm P). Sin embargo y como se dijo anteriormente, el incremento de la dosis de P causó en la mayoría de las gramíneas una reducción de la producción. Este comportamiento fue atribuído a un desbalance nutricional debido a las dosis altas de cal y P aplicadas. Varios investigadores indican que un encalado excesivo y/o una elevada dosis de P pueden tener efectos nocivos sobre el desarrollo de las plantas, principalmente debido a una deficiencia de Zn (Kamprath, 1972; Spain, 1976; Salinas, 1978; Cochrane *et al.*, 1980).

De los resultados de este experimento se puede concluír que los criterios de "producción relativa baja" o "supervivencia", "producción relativa media" y "producción relativa alta" obtenidos en base a la producción máxima absoluta, explican la respuesta diferencial de ecotipos forrajeros bajo condiciones de estrés de Al y/o P en suelos ácidos e infértiles. Este criterio relacionado al de rendimientos absolutos, permite comparar la tolerancia diferencial entre ecotipos forrajeros a estrés de Al y/o P aunque cada uno de ellos tenga diferente potencial genético para la producción de materia seca. Entre las gramíneas forrajeras tolerantes a la toxicidad de Al y baja disponibilidad de P se destacan, *Brachiaria humidicola* y *Andropogon gayanus*. En general, la mayoría de las gramíneas respondieron positivamente a las aplicaciones de Ca, Mg y P, incrementando su producción relativa hasta alcanzar más del 50% o aún más del 80% de su producción máxima, con aplicaciones bajas de cal y P.

LITERATURA CITADA

Andrew, C.S., A.D. Johnson and R.L. Sandland. 1973. Effect of aluminum on the growth and chemical composition of some tropical and temperate pasture legumes. Australian Journal Agriculture. Res.24:325-339.

Andrew, C.S. and P.J. Vanden-Berg. 1973. The influence of aluminum on phosphate absorption by whole plants and excised roots of some pasture legumes. Australian Journal Agriculture. Res. 24:341-351.

Centro Internacional de Agricultura Tropical. 1978. Informe Anual 1977. Programa de Ganado de Carne. CIAT, Cali, Colombia.

Centro Internacional de Agricultura Tropical. 1979. Informe Anual 1978. Programa de Ganado de Carne. CIAT, Cali, Colombia.

Cochrane, T.T., J.G. Salinas and P.A.Sánchez. 1980. An equation for liming acid mineral soils to compensate Al tolerance. Tropical Agriculture. 59:133-140.

Evans, C.E. and E.J. Kamprath. 1970. Lime response as related to percent Al saturation, solution Al, and organic matter content. Soil Science Society of America Proceedings. 34:893-896.

Fenster, W.E. y L.A.León. 1979. Manejo de la fertilización con fósforo para el establecimiento y mantenimiento de pastos mejorados en suelos ácidos e infértiles de América Tropical. p.119-133. *In* L.E.Tergas y P.A.Sánchez (eds.), Producción de Pastos en Suelos Acidos de los Trópicos. Centro Internacional de Agricultura Tropical, Cali, Colombia.

Fox R.L. and E.J. Kamprath. 1979. Phosphate sorption isotherms for evaluating the phosphate requirements of soils. Soil Science Society of America Proceedings. 34:902-907.

Foy, C.D. 1974. Effects of aluminum on plant growth. p.601-642. *In* E.W. Carson (ed.), The Plant Root and Its Environment. University Press of Virginia, Charlottesville.

Gualdrón, R. y J.M.Spain. 1979. Calcio y magnesio: Ocurrencia y magnitud de los problemas en suelos ácidos. VI Coloquio de Suelos, Sociedad Colombiana de la Ciencia del Suelo. Palmira, Colombia. 23 p.

Heylar, K.R. 1978. Effects of aluminum and manganese toxicities on legume growth. p.207-231. *In* C.S. Andrew and E.J. Kamprath (eds.), Mineral Nutrition of Legumes in Tropical and Subtropical Soils. Commonwealth Scientific and Industrial Research Organization, Melbourne, Australia.

Instituto Colombiano Agropecuario-Centro Internacional de Agricultura Tropical. 1979. Informe Anual Carimagua 1978. CIAT, Cali, Colombia. 138 p.

Kamprath, E.J. 1970. Exchangeable aluminum as a criterion for liming leached mineral soils. Soil Science Society of America Proceedings. 34:252-254.

Kamprath, E.J. 1972. Soil acidity and liming. p.136-149. *In* M. Drosdoff (Chairman), Soils of the Humid Tropics. National Academy Science, Washington, D.C.

Lal, R. 1979. Erosion as a constraint to food production in the tropics. Soil Constraints Conference, IRRI, Los Baños, Filipinas (En prensa).

Lathwell, D.J. (ed.). 1979. Crop response to liming of Ultisols and Oxisols. Cornell International Agriculture Bulletin 35, Cornell University, Ithaca, New York. 36 p.

Liener, I.E. 1969. Introduction. p.1-5. *In* I.E.Liener (ed.), Toxic Constituents of plant food stuffs. Academic Press, New York.

Lin, C. and N.T. Coleman. 1960. The measurement of exchangeable aluminum in soils and clays. Soil Science Society of America Proceedings. 24:444-446.

Matsumura, F. 1976. Toxicilogy of insecticides. Plenum Press, New York. 503 p.

Mehring, A.L. 1961. Dictionary of plant food - A guide to fertilizer materials and terms. Farm Chemicals, Meister Publishing, Co., Willoughby, Ohio. 26 p.

McLean, E.O. 1976. Chemistry of soil aluminum. Community Soil Science Plant Analysis. 7:619-636.

Moore, D.P., W.E. Kronstand and R.J. Metzger. 1976. Screening wheat for aluminum tolerance. p. 287-295. *In* M.J. Wright (ed.), Plant Adaptation to Mineral Stress in Problem Soils. Cornell University, Ithaca, New York.

Mott, G.O. and E.M. Hutton. 1979. Estrategias para la colección y el mejoramiento de plantas forrajeras. p.1-4. *In* G.O.Mott y A. Jiménez (eds.), Manual para la Colección, Preservación y Caracterización de Recursos Forrajeros Tropicales. Centro Internacional de Agricultura Tropical, Cali, Colombia.

Nieman, R.H. and M.C. Shannon. 1976. Screening plants for salinity tolerance. p.359-367. *In* M.J. Wright (ed.), Plant Adaptation to Mineral Stress in Problem Soils. Cornell University, Ithaca, New York.

Rhue, R.D. and C.O. Grogan. 1976. Screening corn for aluminum tolerance p.297-310. *In* M.J. Wright (ed.), Plant Adaptation to Mineral Stress in Problem Soils. Cornell University, Ithaca, New York.

Salinas, J.G. 1978. Differential response of some cereal and bean cultivars to Al and P stress in an Oxisol of central Brazil. Ph.D. Thesis. North Carolina State University, Raleigh. 326 p.

Salinas, J.G. 1979a. Adaptación de plantas a toxicidades de aluminio y manganeso en suelos ácidos. Sociedad Colombiana de la Ciencia del Suelo. Bogotá, Colombia. 31 p.

Salinas, J.G. 1979b. Métodos Analíticos para Suelos Acidos y Plantas. Centro Internacional de Agricultura Tropical, Cali, Colombia. 53 p.

Sánchez, P.A. and T.T.Cochrane. 1979. Soil constraints in relation to major farming systems of tropical America. Soil constraints Conference, IRRI, Los Baños, Filipinas (In press).

Sartain, J.B. and E.J. Kamprath. 1975. Effect of liming a highly Al-saturated soil on the top and root growth and soybean nodulation. Agronomy Journal. 67:507-510.

Schultze-Kraft, R. y D.C. Giacometti. 1979. Recursos genéticos de leguminosas forrajeras para las sabanas de suelos ácidos e infértiles en América tropical. p.59-69. *In* L.E.Tergas y P.A.Sánchez (eds.), Producción de Pastos en Suelos Acidos de los Trópicos. Centro Internacional de Agricultura Tropical, Cali, Colombia.

Spain, J.M. 1976. Field studies on tolerance of plant species and cultivars to acid soil conditions in Colombia. p.213-222. *In* M.J. Wright (ed.), Plant Adaptation to Mineral Stress in Problem Soils. Cornell University, Ithaca, New York.

Spain, J.M. 1979. Establecimiento y manejo de pastos en los Llanos Orientales de Colombia. p.181-189. *In* L.E.Tergas y P.A.Sánchez (eds.), Producción de Pastos en Suelos Acidos de los Trópicos. Centro Internacional de Agricultura Tropical, Cali, Colombia.

Tanaka, A. and Y. Hayakawa. 1974. Comparative studies on plant nutrition. Crop tolerance to soil acidity. I. Tolerance to low pH. II. Tolerance to high levels of Al and Mn. Journal Science Soil Manure. 45:561-570.

Tanaka, A. and Y. Hayakawa. 1975. Comparative studies on plant nutrition. Crop tolerance to soil acidity. III. Tolerance to soil acidity. Journal Science Soil Manure. 46:19-32.

Woodruff, J.R. and E.J. Kamprath. 1965. Phosphorus adsorption maximum as measured by the Langmuir isotherm and its relationship to phosphorus availability. Soil Science Society of America Proceedings. 29:148-150.

Cuadro 1. Características edáficas iniciales del perfil del suelo (Haplustox típico, arcilloso, caolinítico, isohipertérmico), Carimagua, Colombia.

Profundidad	Arcilla	Arena	pH_{H_2O} (1:1)	P**	Cationes cambiables Al*	Ca*	Mg*	K**	CICE	Sat. Al
cm	%			ppm	meq/100 g					%
0 - 20	38	12	4,1	1,5	3,6	0,36	0,09	0,11	4,16	86,5
20 - 40	40	12	4,0	0,4	2,7	0,19	0,04	0,07	3,00	90,0
40 - 60	43	11	4,2	0,4	1,8	0,24	0,06	0,05	2,15	83,7
60 - 80	43	12	4,5	0,3	1,0	0,26	0,08	0,04	1,38	72,5
80 - 100	45	12	4,9	0,3	0,4	0,21	0,07	0,04	0,72	55,6
100 - 120	45	12	4,9	0,1	0,4	0,25	0,09	0,04	0,78	51,3
120 - 140	45	12	4,9	0,4	0,7	0,47	0,10	0,04	1,40	50,0
140 - 160	45	12	4,9	0,3	0,8	0,33	0,12	0,04	1,29	62,0
160 - 180	45	12	5,0	0,1	1,2	0,35	0,13	0,05	1,73	69,4
180 - 200	45	12	5,0	0,3	1,3	0,41	0,14	0,05	1,90	68,4

* Extractor KCl 1N

** Extractor Solución Bray-II

CICE: Capacidad de Intercambio Catiónico Efectiva.

Cuadro 2. Características químicas de la capa arable (0-20 cm) en las parcelas con tratamientos de cal y fósforo después del cuarto corte (Febrero, 1979).

Tratamientos		pH_{H_2O}		Cationes cambiables				Saturación	Saturación	Saturación
Cal	Fósforo	(1:1)	P*	Al	Ca	Mg	K	de Al	de Ca	de Mg
ton/ha	kg/ha		ppm	----------meq/100g----------				----------%----------		
0	0	4,1	1,7	3,22	0,14	0,04	0,07	93,0	4,0	1,20
	17	4,4	2,1	3,47	0,26	0,05	0,07	90,1	6,8	1,30
	117	4,4	11,7	2,96	0,28	0,04	0,08	88,6	7,8	1,20
	277	4,5	40,5	2,75	0,37	0,05	0,06	75,1	11,5	1,50
0,5	0	4,4	1,4	3,16	0,33	0,08	0,07	86,8	9,1	2,20
	17	4,5	2,3	3,00	0,34	0,08	0,08	85,7	9,7	2,30
	117	4,5	14,8	3,19	0,52	0,13	0,08	80,9	13,6	3,40
	277	4,6	43,6	3,18	0,54	0,08	0,06	82,4	14,0	2,07
1,0	0	4,7	1,4	2,31	0,57	0,21	0,08	72,9	18,0	6,6
	17	4,4	2,4	2,46	0,58	0,16	0,06	75,5	17,8	4,9
	117	4,7	16,7	2,40	0,66	0,18	0,06	72,7	20,0	5,5
	277	4,7	37,5	2,12	0,74	0,16	0,06	68,8	24,0	5,2
5,0	0	5,1	1,5	0,97	1,99	0,75	0,06	25,7	52,8	19,9
	17	5,1	2,9	0,86	2,16	0,78	0,06	22,3	56,0	20,2
	117	5,1	18,3	0,96	2,44	0,91	0,07	21,9	55,7	20,8
	277	5,1	43,0	0,86	2,25	0,73	0,05	22,1	57,8	18,8

* Extractor solución Bray-II.

Cuadro 3. Producción promedia de materia seca de ocho gramíneas forrajeras a diferentes niveles de saturación de Al y P en un Oxisol de Carimagua (Promedio de cuatro cortes y tres repeticiones).

Cal aplicada	P aplicado	Gramíneas forrajeras							
		Brachiaria humidicola	*Andropogon gayanus*	*Hyparrhenia rufa*	*Melinis minutiflora*	*Brachiaria decumbens*	*Digitaria decumbens*	*Panicum maximum*	*Pennisetum purpureum*
ton/ha	kg/ha	ton/ha							
0	0	2,41	3,87	1,87	1,54	2,17	1,04	1,54	0,99
	17	2,93	3,64	2,99	2,79	2,62	1,49	1,62	1,38
	117	2,74	3,78	3,34	3,69	2,67	2,36	2,38	3,12
	277	3,33	4,84	2,26	3,67	3,40	2,16	2,21	5,29
0,5	0	2,65	4,28	2,71	3,42	2,09	1,84	1,38	3,05
	17	2,98	3,71	2,50	3,88	3,09	2,12	1,92	3,10
	117	2,57	7,26	4,31	3,23	2,92	2,45	2,65	4,74
	277	2,23	3,80	2,17	2,78	3,76	2,70	3,30	5,58
1,0	0	2,85	6,36	2,13	1,92	2,78	1,77	2,80	4,15
	17	2,55	6,04	2,77	2,51	4,74	2,22	2,78	4,75
	117	2,56	6,79	3,28	1,60	4,97	2,30	2,93	5,74
	277	2,80	5,81	4,11	2,95	2,84	4,59	4,90	5,86
5,0	0	2,43	5,67	3,37	2,74	5,32	2,54	3,13	5,22
	17	2,53	7,35	3,63	3,03	7,14	3,58	3,40	5,68
	117	1,68	4,44	3,21	2,64	5,29	1,93	4,27	6,24
	277	2,38	5,99	3,54	1,90	4,38	2,00	3,77	6,98

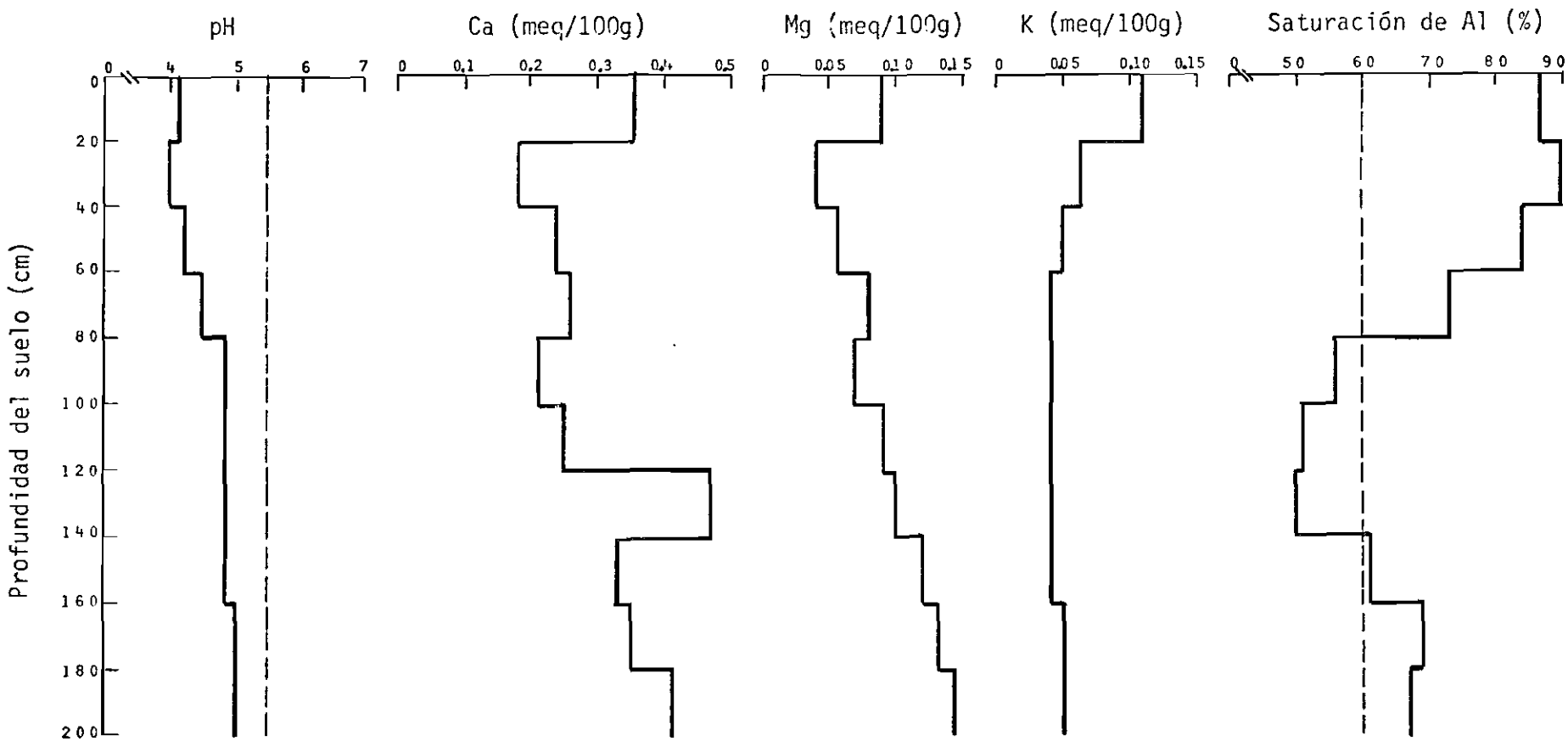


Figura 1. Perfiles de acidez (pH y Sat.Al) y de bases cambiables del Oxisol de Carimagua, Colombia.

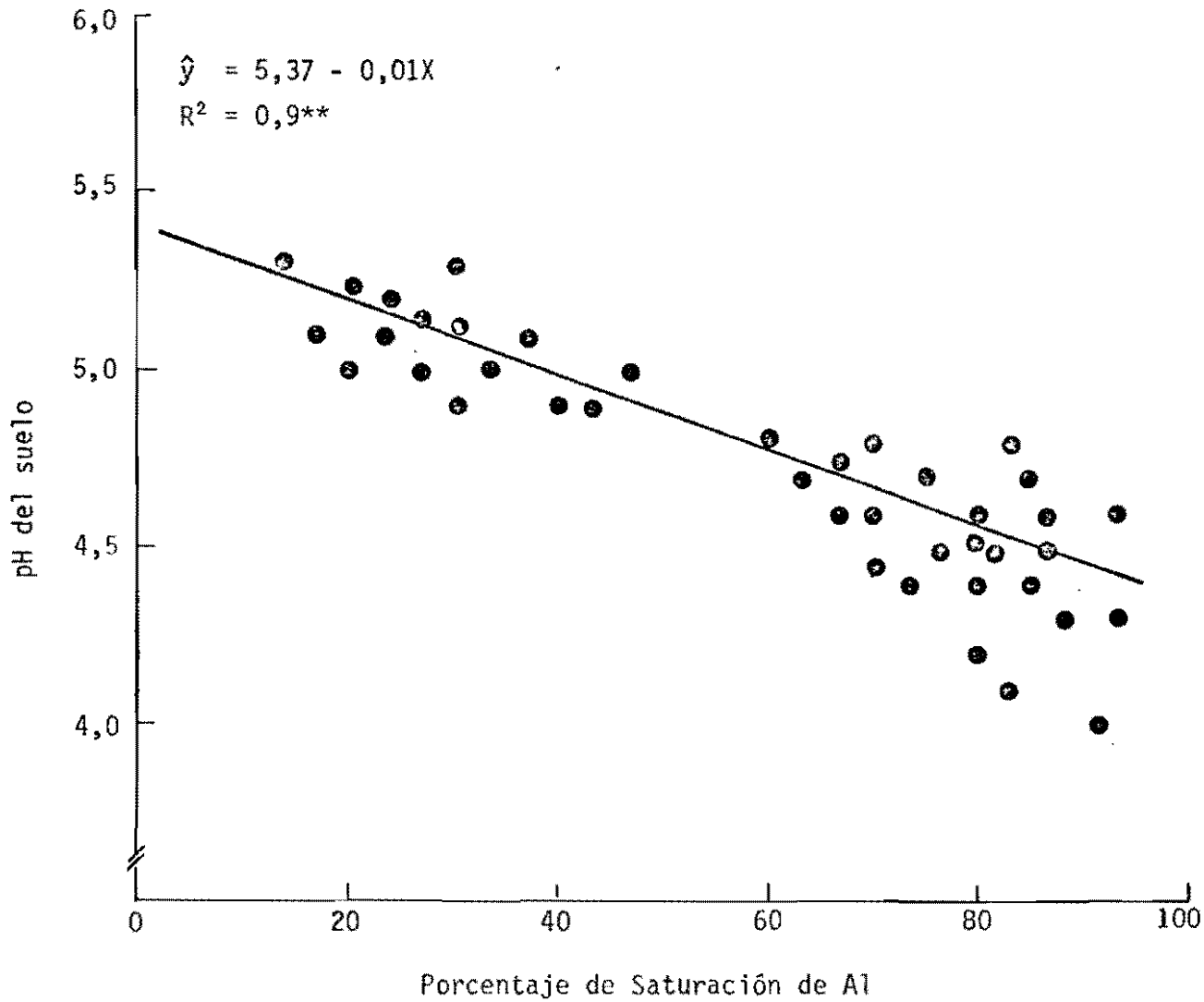
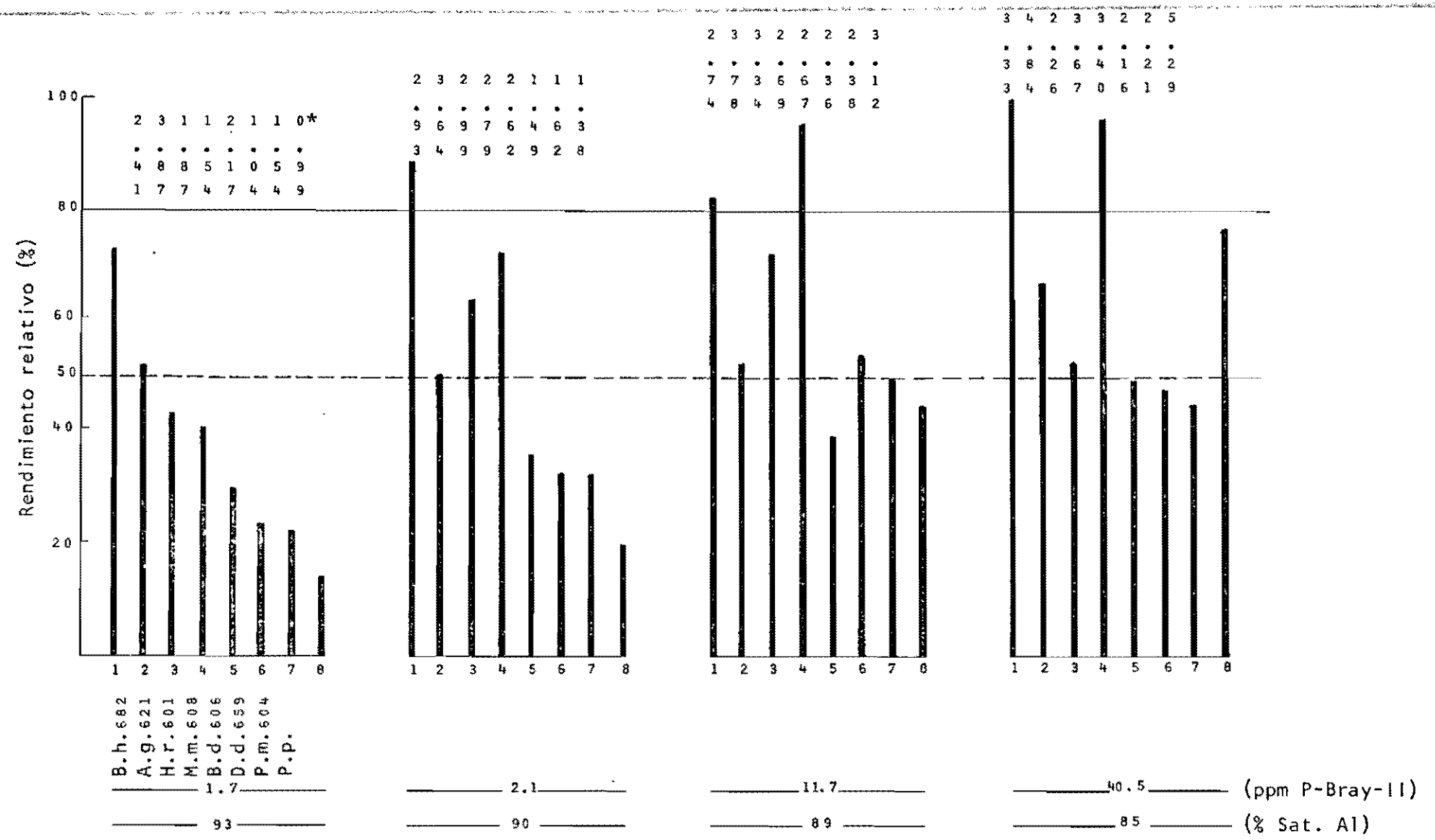


Figura 2. Relación entre la saturación del Al y el pH del suelo a la profundidad de 0-20 cm en el Oxisol de Carimagua.



* Rendimiento MS (ton/ha)

Figura 3. Respuesta diferencial de ocho gramíneas tropicales a diferentes niveles de fósforo y saturación de Al (sin aplicación de cal) bajo condiciones de campo en Carimagua.
(B.h. 682 = *Brachiaria humidicola*; A.g. 621 = *Andropogon gayanus*;
H.r. 601 = *Hyparrhenia rufa*; M.m. 608 = *Melinis minutiflora*;
B.d. 606 = *Brachiaria decumbens*; D.d. 659 = *Digitaria decumbens*;
P.m. 604 = *Panicum maximum*; and P.p.= *Pennisetum purpureum*).

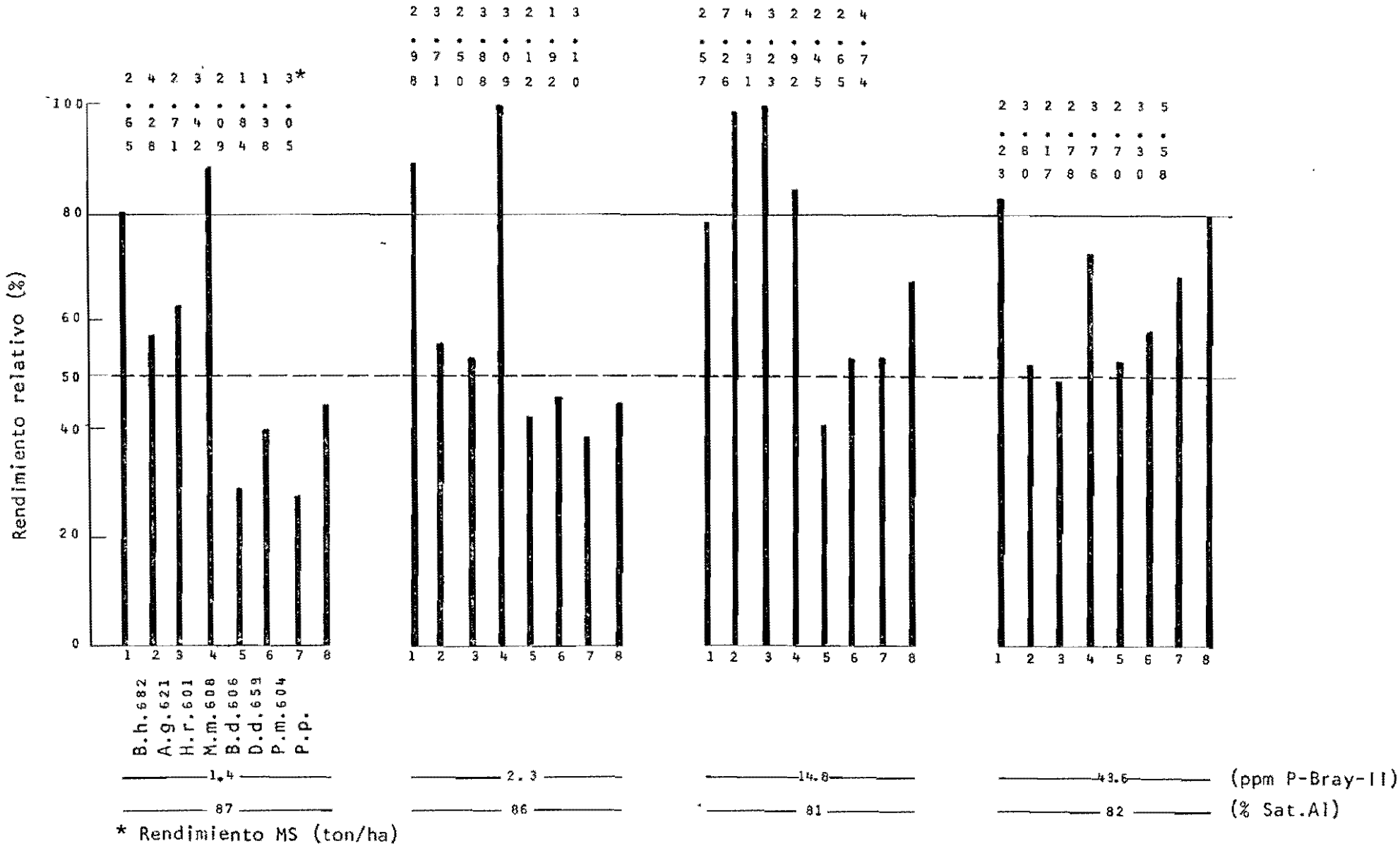
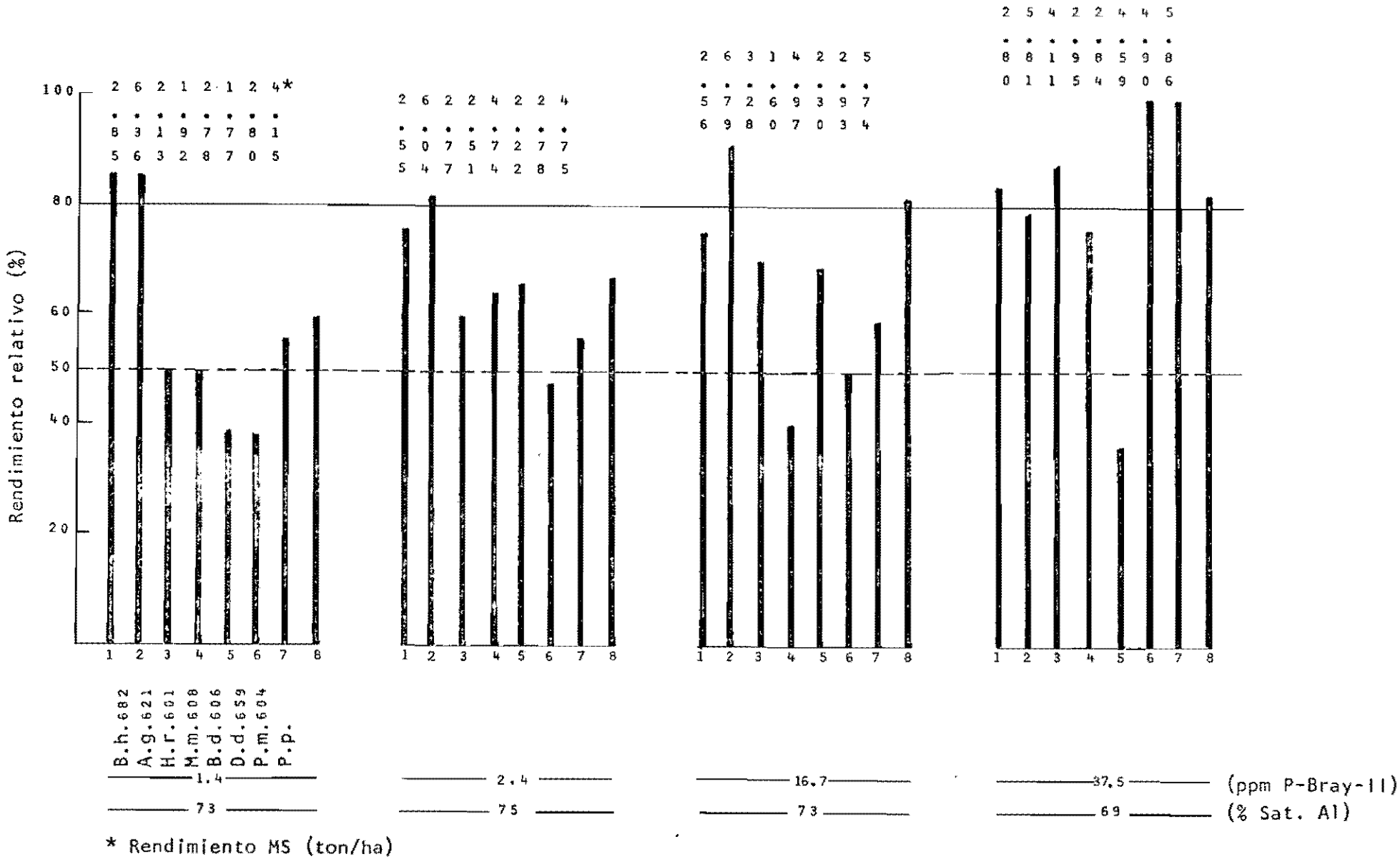
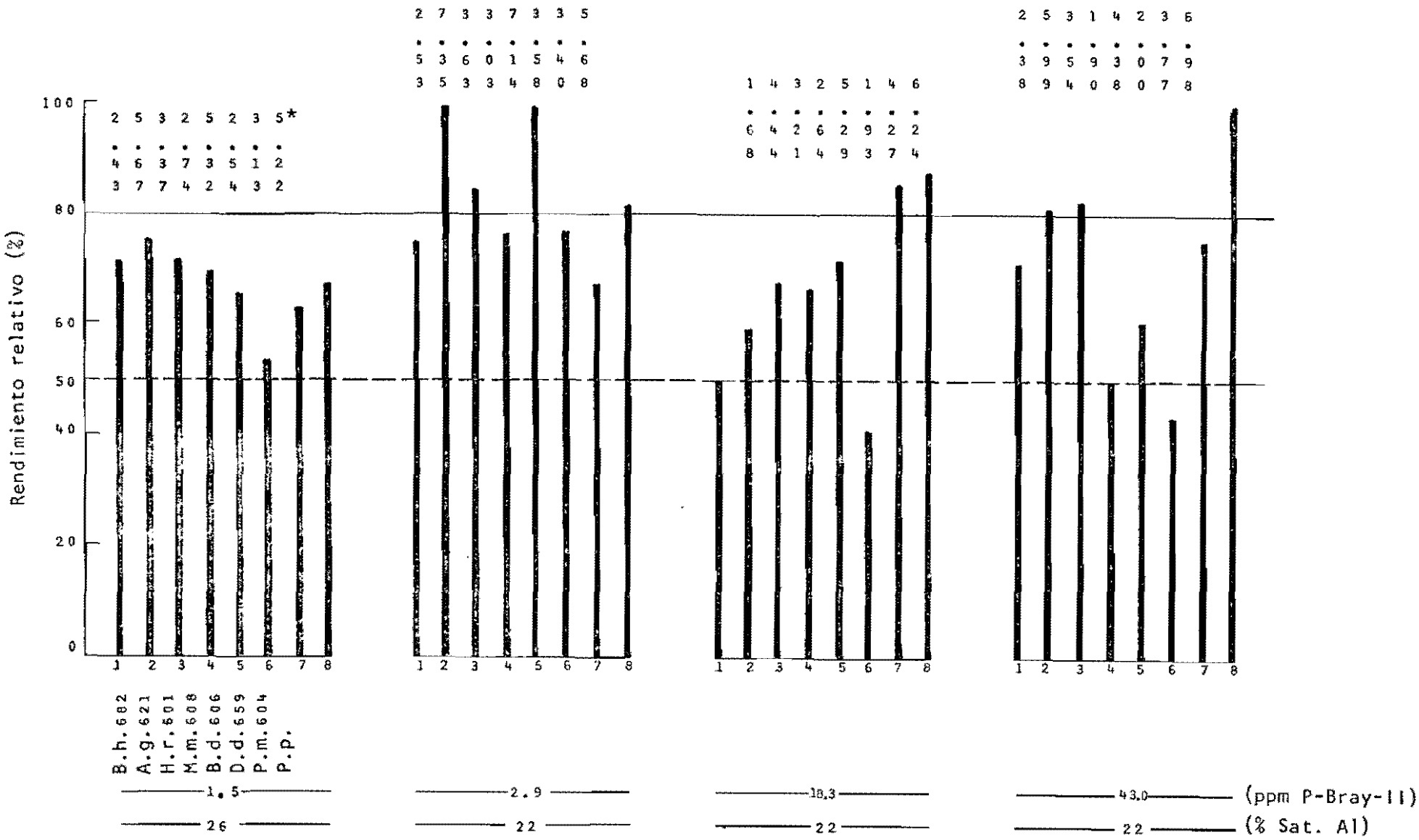


Figura 4. Respuesta diferencial de ocho gramíneas tropicales a diferentes niveles de fósforo y saturación de Al (1/2 ton cal/ha) bajo condiciones de campo en Carimagua (Ref. a Fig. 3 para identificación de accesiones).



* Rendimiento MS (ton/ha)

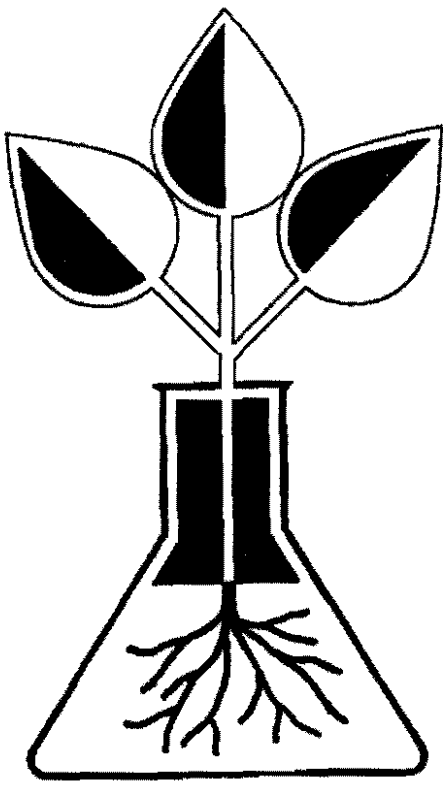
Figura 5. Respuesta diferencial de ocho gramíneas tropicales a diferentes niveles de fósforo y saturación de Al (1 ton cal/ha) bajo condiciones de campo en Carimagua (Ref. a Fig. 3 para identificación de accesiones).



* Rendimiento MS (ton/ha)

Figura 6. Respuesta diferencial de ocho gramíneas tropicales a diferentes niveles de fósforo y saturación de Al (5 ton cal/ha) bajo condiciones de campo en Carimagua (Ref. a Fig. 3 para identificación de accesiones).

METODOS ANALITICOS PARA SUELOS ACIDOS Y PLANTAS



CENTRO INTERNACIONAL DE AGRICULTURA TROPICAL

1979

METODOS ANALITICOS PARA SUELOS ACIDOS Y PLANTAS

José G. Salinas y Ramiro García

Suelos - Nutrición de Plantas

Programa Pastos Tropicales

CENTRO INTERNACIONAL DE AGRICULTURA TROPICAL (CIAT)

Apartado Aéreo 67-13 - Telex 05769

Cali - Colombia

1979

TABLA DE CONTENIDO

Página

1. INTRODUCCION 1

1.1. PROPOSITOS 1

1.2. PRECISION DE LAS MEDICIONES EN LOS ANALISIS DE SUELOS Y PLANTAS 2

1.3. EXACTITUD DE UNA MEDICION 4

1.4. MEDICION PRECISA DE VALORES VERDADEROS CONSTANTES 4

1.5. NUMERO DE MUESTRAS 4

1.6. TIPOS DE ERRORES 5

1.7. CIFRAS SIGNIFICATIVAS 6

2. RECEPCION, PREPARACION Y ALMACENAJE DE MUESTRAS 8

2.1. RECEPCION DE MUESTRAS 8

2.2. PREPARACION DE MUESTRAS 10

2.2.1. Suelo 10

2.2.2. Tejido Vegetal 11

2.3. ALMACENAJE DE MUESTRAS 11

3. METODOLOGIA ANALITICA PARA SUELOS ACIDOS 13

3.1. SUBMUESTREO EN LABORATORIO 13

3.2. ANALISIS PRELIMINAR DEL SUELO 14

3.2.1. Determinación de pH (Relación Suelo-Agua 1:1) 15

A. Material 15

B. Procedimiento 15

3.2.2. Determinación de la Conductividad Eléctrica 15

A. Material 15

B. Reactivos 15

C. Procedimiento 15

3.2.3. Determinación de la presencia o ausencia de $CaCO_3$ Libre. Prueba de Efervescencia 16

Página

3.3. DETERMINACION DE MATERIA ORGANICA 16

A. Material 16
B. Reactivos 16
C. Procedimiento 17
D. Cálculos 17

3.4. DETERMINACION DE FOSFORO 18

3.4.1. Fósforo Extraíble por Fluoruro Diluído-Acido Diluído. (Bray y Kurtz No.2) 18

A. Material 18
B. Reactivos 18
C. Procedimiento 20
D. Cáculos 20

3.4.2. Fósforo Extraíble por Carbonato Acido de Sodio ... 20

A. Material 21
B. Reactivos 21
C. Procedimiento 22

3.5. DETERMINACION DE CATIONES CAMBIABLE EN SUELOS CON pH MENOR A 5.4, CON CARGA VARIABLE EN FUNCION DEL pH Y NO CALCAREOS, NO SALINOS 24

3.5.1. Obtención del Extracto del Suelo 24

A. Material 24
B. Reactivos 24
C. Procedimiento 24

3.5.2. Acidez Intercambiable (Al + H) 24

A. Material 24
B. Reactivos 24
C. Procedimiento 25
D. Cáculos 25

3.5.3. Calcio (Ca) 26

A. Determinación 26
B. Preparación del Estándar de Calcio 26

Página

3.5.4. Magnesio (Mg) 27

A. Determinación 27
B. Preparación del Estándar de Magnesio 27

3.5.5. Manganeso (Mn) 27

A. Determinación 27
B. Preparación de Estándares de Mn 28

3.5.6. Determinación de Potasio (K) 28

A. Material 28
B. Reactivo 28
C. Procedimiento 28
D. Preparación de Estándar de K 29

3.5.7. Parámetros Derivados 29

A. Capacidad de Intercambio Catiónico Efectivo (CICE). 29
B. Porcentaje de Saturación de Aluminio 30

3.6. DETERMINACION DE CATIONES CAMBIABLES EN SUELOS CON pH 5.4 - 7.0, CON CARGA NO DEPENDIENTE DEL pH Y NO CALCAREOS, NO SALINOS 30

3.6.1. Obtención del Extracto de Suelo 30

A. Material 30
B. Reactivos 30
C. Procedimiento 31

3.6.2. Calcio (Ca), Magnesio (Mg) y Potasio (K) 31

A. Determinación 31
B. Preparación de Estándares de Ca, Mg y K 32

3.6.3. Sodio (Na) 32

A. Determinación 32
B. Preparación de Estándares de Sodio 33

3.7. DETERMINACION DE LA CAPACIDAD DE INTERCAMBIO CATIONICO (CIC) DE pH MAYOR A 5.4 - 7.0, CON CARGA NO DEPENDIENTE DE pH Y NO CALCAREOS, NO SALINOS 33

Página

A. Material 33
B. Reactivos 33
C. Procedimiento 33
D. Cálculos 34

3.8. DETERMINACION DE AZUFRE (S) 34

3.8.1. Obtención del Extracto de Suelo 34

A. Materiales 34
B. Reactivos 34
C. Procedimiento 34

3.8.2. Método turbidimétrico para determinar azufre en el extracto de suelo 35

A. Material 35
B. Reactivos 35
C. Procedimiento 35
D. Preparación de Estándares de S 36
E. Cálculos 36

3.9. DETERMINACIONES DE MICRONUTRIMENTOS 36

3.9.1. Boro (B) 36

A. Material 36
B. Reactivos 37
C. Procedimiento 37
D. Cálculos 37
E. Soluciones Estándares de Boro 37

3.9.2. Zinc (Zn), Cobre (Cu), Hierro (Fe) 38

A. Material 38
B. Reactivo 38
C. Procedimiento 38
D. Determinación 38
E. Preparación de Estándares de Elementos Menores 39

Página

4. METODOLOGIA ANALITICA PARA PLANTAS 40

4.1. OBTENCION DEL EXTRACTO DE TEJIDO VEGETAL 40

A. Material 40
B. Reactivos 40
C. Procedimiento 40

4.2. DETERMINACIONES DE FOSFORO (P), POTASIO (K), CALCIO (Ca) Y MAGNESIO (Mg) 40

4.2.1. Fósforo (P) 40

4.2.2. Potasio (K) 41

A. Determinación 41
B. Estándares de Potasio (K) 41
C. Cálculos 41

4.2.3. Calcio (Ca) 41

4.2.4. Magnesio (Mg) 42

4.3. DETERMINACION DE AZUFRE (S) 42

A. Material 42
B. Reactivos 42
C. Procedimiento 43
D. Preparación de Estándares de Azufre (S) 43

4.4. DETERMINACIONES DE ALUMINIO (Al) 43

A. Material 43
B. Reactivos 44
C. Procedimiento 44
D. Preparación de Estándares de Aluminio (Al) 45

4.5. DETERMINACION DE NITROGENO (N) 45

A. Material 45
B. Reactivos 45
C. Procedimiento 46
D. Cálculos 47

Página

4.6. DETERMINACION DE MICRONUTRIMENTOS (Zn, Cu, Fe, Mn, Na)..... 47

4.6.1. Obtención del Extracto de Tejido Vegetal 47

A. Materiales 47

B. Reactivos 47

C. Procedimiento y Determinación de Micronutrimentos (Zn, Cu, Fe, Mn, Na) 47

4.6.2. Determinación de Boro (B) 48

A. Material 48

B. Reactivos 48

C. Procedimiento 48

4.7. DETERMINACION DE SILICE CRUDA 49

A. Material 49

B. Reactivo 49

C. Procedimiento 49

D. Cáculos 49

5. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS 50

1. INTRODUCCION

1.1. PROPOSITOS.

La cuantificación analítica de suelos y tejidos vegetales es un instrumento efectivo para interpretar la existencia de deficiencias o excesos de minerales. Consecuentemente, el uso adecuado de esta información influye significativamente en las recomendaciones de fertilizantes. Sin embargo, debe admitirse que existe conflicto en las fases de cuantificación, interpretación y recomendación debido a la alta variabilidad existente en estas fases. Esta variabilidad, generalmente, es consecuencia de la diversidad de métodos analíticos empleados y de los criterios técnicos adoptados en la interpretación y recomendación de los resultados analíticos en suelos y plantas. Probablemente, resulta utópico tratar de uniformizar las tres fases para todos los suelos existentes en los países así como para todo tejido vegetal. Sin embargo, resulta bastante desventajoso que suelos con propiedades químicas comparables existentes en América Tropical tengan una variabilidad en estas fases y principalmente en la cuantificación analítica. Por esta razón, es necesario uniformizar la metodología analítica.

La mayoría de los métodos y procedimientos descritos en esta publicación se utilizan actualmente en el Laboratorio de Servicios Analíticos del Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT). En muchos casos, los métodos son descritos en forma suficientemente detallada, de tal manera que puedan reproducirse en muchos laboratorios, sin consultar otras fuentes. Sin embargo, en algunos casos será necesario modificarlos para adaptarlos a las condiciones propias de un laboratorio específico, especialmente en cuanto se refiere al material empleado. Por otra parte, los investigadores al necesitar alguna información detallada sobre los principios de la teoría o técnica de un método, deben consultar la literatura pertinente. Con este propósito, se incluyen referencias bibliográficas.

El propósito de esta publicación es describir métodos estandarizados de procedimientos analíticos de suelo y tejido vegetal con el fin de satisfacer por lo menos tres objetivos: (1) Que investigadores en América Tropical estén más enterados de la metodología analítica para suelos y

plantas de esta región; (2) Incrementar entre instituciones nacionales e internacionales el intercambio de métodos empleados en América Tropical para definir y emplear la mejor metodología disponible, y (3) Hacer del análisis de suelos y plantas una parte dinámica de la investigación.

1.2. PRECISION DE LAS MEDICIONES EN LOS ANALISIS DE SUELOS Y PLANTAS.

La precisión de las mediciones en los análisis de suelos y plantas, depende mayormente de la precisión del método, naturaleza de la muestra y del cuidado del laboratorista. La precisión se trata de la dispersión de los datos obtenidos en un análisis. Con mucha dispersión la precisión es baja y con poca dispersión la precisión es alta.

Cuando se dice que un instrumento mide con 100 por ciento de probabilidad hasta la unidad más cercana de 0.1, se puede considerar que el instrumento permite leer con una confianza de $\pm$ 0.05 de unidad porque el error máximo en el juicio visual del operador será la mitad de la última unidad legible del instrumento. Si el error máximo legible es igual o mayor que el error máximo del mecanismo del instrumento, entonces la lectura indica el error máximo del instrumento. Si la probabilidad del error máximo del instrumento es 100 por ciento, ésto significa que para varias repeticiones de una lectura con un valor dado, que se puede representar como el promedio de las lecturas, cada lectura tiene 100 por ciento de probabilidad de estar dentro de los siguientes límites de confianza.

$$\text{Promedio} \pm 0.05 \text{ de unidad} \qquad [1]$$

El error máximo puede estar expresado en forma absoluta o relativa. La forma absoluta por ejemplo es $\pm$ 0.05 de unidad, en cambio la forma relativa sería la siguiente:

$$\frac{\pm 0.05}{\text{Valor de la lectura}} \qquad [2]$$

Por ejemplo si se puede medir 10 cm con un error máximo absoluto de $\pm$ 0.05 mm, entonces el error máximo relativo sería mayor que cuando se puede leer 300 cm con un error máximo absoluto $\pm$ 0.05 mm. El error máximo relativo es de gran importancia para evaluar la medición y general-

mente se expresa en porcentaje. Con base en este principio el tamaño del error máximo relativo se puede controlar variando el valor del error máximo y el tamaño de la muestra de un suelo. Por ejemplo: si se quiere pesar una muestra de suelo hasta un error máximo relativo de 1 por ciento de la masa del suelo, se puede pesar una muestra de 1 g de masa con un error máximo absoluto de $\pm$ 0.005 g o una muestra de 10 g de masa con un error máximo absoluto de $\pm$ 0.05 g.

Los límites de confianza de una predicción expresados en la ecuación 1 también se puede expresar en forma más general de la manera siguiente (Steel y Torrie, 1960)

$$LC = \text{Promedio} \pm t_\alpha \; s \left(\frac{n+1}{n} \right)^{1/2} \qquad [3]$$

Donde:

LC = Límite de confianza de un valor pronosticado.

t_α = Valor de t que corresponde a cierta probabilidad con (n-1) grado de libertad.

s = Desviación estándar del valor de una lectura.

n = Número de lecturas.

Al expresar los límites de confianza comúnmente se escoge probabilidades de 95 por ciento o 99 por ciento. Los límites de confianza constituyen una medida de la precisión de un análisis o de un ensayo. La precisión de un análisis trata de la medida de la dispersión de las repeticiones de la lectura de una muestra.

La precisión de un análisis depende de la naturaleza y tamaño de la muestra. En la realidad, un análisis de suelos o plantas comprende la medición de varias muestras. La dispersión en los valores de las lecturas también puede tener su origen en la variabilidad del material de la muestra. La exactitud en los análisis de suelos o plantas ha consistido en mezclar bien una muestra compuesta para reducir la variabilidad en las repeticiones. Además, el tamaño de la muestra para el análisis influye sobre la variabilidad. Por ejemplo, se cree que una muestra de alrededor de 1 g es la muestra mínima para determinar la densidad de los sólidos de un suelo. Por lo tanto, una muestra de 0.01 g de suelo tendrá poca oportu-

nidad de representar un promedio típico de la densidad del suelo de la muestra. La muestra más grande contendrá todos los constituyentes característicos de la distribución de todo el suelo de la muestra.

1.3. EXACTITUD DE UNA MEDICION.

En contraste con la precisión de una medición la cual trata de la dispersión de varias repeticiones del análisis, la exactitud de una medición trata de la desviación del valor de un ensayo en relación con el valor verdadero del sistema o medio que se mide. La exactitud trata, entonces, de un sesgo que existe en el ensayo. En el análisis de laboratorio el sesgo puede controlarse usando calibración y muestras de control. El error debido al sesgo puede ser sistemático (constante) o aleatorio. El error sistemático se discute más adelante. Se puede apreciar entonces, que un método puede tener mucha precisión pero poca exactitud.

1.4. MEDICION PRECISA DE VALORES VERDADEROS CONSTANTES.

En el laboratorio hay muchas mediciones que son precisas, es decir que los mismos valores se esperan dentro de los límites dados de la precisión del análisis. Ej.: Dentro de $\pm$ 0.1 g o dentro $\pm$ 5 por ciento del valor.

Generalmente para revisar la técnica del análisis se hace ensayos en triplicado y si todos los resultados se ajustan a las especificaciones, se saca un promedio de ellos. Si uno de los valores se desvía más allá del límite de las especificaciones, se saca un promedio de los dos valores conformantes. Si la técnica en el procedimiento se ha controlado, con frecuencia basta hacer duplicados para revisar la técnica.

Muchos ensayos de laboratorio de suelos siguen las normas anteriormente citadas, sin embargo, es necesario mezclar bien la muestra compuesta para poder aplicar dichas normas, porque sabemos que hay mucha variabilidad de muchas de las propiedades de un suelo en distancias muy cortas.

1.5. NUMERO DE MUESTRAS.

Si se tienen dos muestras, se hace referencia al promedio y al intervalo de las muestras. Si se tienen más de dos muestras, se determina el promedio y la desviación estándar, y la desviación estándar del promedio. El estimado de la desviación estándar mejora con un mayor número de muestras.

El número de muestras necesarias para lograr una precisión dada (desviación del promedio) para un nivel de probabilidad es:

$$n = \frac{t_{\alpha}^{2} \times s^{2}}{D^{2}} \qquad [4]$$

Donde:

s = Desviación estándar del promedio.

$t\alpha$ = Valor de t con (n-1) grados de libertad a un nivel dado de probabilidad .

D = Precisión deseada (P = 0.05 ó 0.01)

Se calcula la desviación estándar (s) de las primeras muestras para probar por medio de la ecuación si hace falta tomar más muestras (Peterson y Calvin, 1965). Esta técnica se usa cuando se tiene como fin comparar promedios de diferentes parcelas, siendo dicha técnica útil para estudiar respuestas a tratamientos.

1.6. TIPOS DE ERRORES.

1. Error Aleatorio: Si se realiza un número grande de determinaciones de la misma cantidad (muchas repeticiones) se encuentra que los valores de esta medida varían dentro de ciertos límites. La curva de frecuencia de estos valores determina la precisión de la operación. El rango de los límites de esta distribución puede depender del instrumento o del procedimiento usado. Este tipo de desviación del verdadero valor de la medida se llama error aleatorio. En determinaciones precisas se asume que la distribución tiene un rango muy estrecho, y generalmente se usan muestras duplicadas; la segunda muestra sirve para verificar la técnica del operador.

2. Error Sistemático: Este tipo de error se debe a una falla o a un sesgo en el instrumento, o en la calibración del mismo o en el procedimiento, que aparece constantemente en todos los resultados. Este tipo de error es reproducible y no se puede eliminar mediante el empleo de muchas repeticiones. De tal manera, se pueden obtener

malos resultados aunque haya mucha concordancia entre las repeticiones. En este caso es necesario tomar en cuenta el método o el instrumento para corregir este error.

1.7. CIFRAS SIGNIFICATIVAS.

El número de las cifras significativas dentro de una cantidad, no depende del signo decimal en la cantidad, sino de cuántos dígitos son confiables y característicos de la cantidad considerada. Por ejemplo, si la cantidad es 0.025, los tres números después de la coma decimal son confiables. En cambio, si la cantidad es 25.000 y sabemos que el tercer dígito es confiable, debemos escribir el número como 2.5×10^4 o también 25.000, o también 25.0* 00.

En la práctica los registros de datos se hacen con una cifra adicional a la última cifra significativa. Posteriormente en el resultado final, solamente se emplean las cifras significativas.

Generalmente, en los análisis de suelos y plantas se miden varias cantidades a varios niveles de precisión, es decir, hasta un número dado de cifras decimales o hasta tantas cifras significativas.

En los cálculos se combinan cifras a diversos grados de precisión y hay que saber la manera en que estas combinaciones afectan el resultado final.

A este respecto las reglas siguientes son muy útiles:

1. En las sumas y en las restas no se deben retener más cifras decimales que las confiables en la cantidad que tiene el menor número de cifras decimales confiables.

2. En las multiplicaciones y las divisiones no se deben retener más cifras significativas que las cifras confiables en el factor con la menor cantidad de cifras significativas, o en otras palabras, las cantidades que tienen que ser multiplicadas o divididas deben tener el mismo número de cifras significativas. Es recomendable mantener una cifra más de las que las reglas indican hasta cuando se obtenga el resultado final (Minor, 1957).

Generalmente los cálculos incluyen una combinación de las operaciones matemáticas descritas en las reglas. Al realizar un cálculo es necesario

aplicar las reglas para evaluar el efecto total de dicho cálculo. Para mayor información sobre este asunto se puede consultar Minor (1957) y Olson *et al*. (1956).

2. RECEPCION, PREPARACION Y ALMACENAJE DE MUESTRAS

La determinación cuantitativa del contenido de un mineral específico en una muestra de suelo o planta, requiere en una primera fase, un procedimiento adecuado de muestreo que involucra la toma de la muestra en sí y la adecuada identificación de la misma. En una segunda fase, requiere una preparación apropiada y la aplicación de una metodología adecuada. La primera fase es la más crítica por el hecho de que aunque el análisis sea exacto, los resultados obtenidos no pueden ser mejores que la muestra. Existen procedimientos vigentes para el muestreo de suelos y tejido vegetal, y la aplicación de ellos depende del objetivo del muestreo. Referencias bibliográficas respecto al muestreo de suelos y tejido vegetal en el campo, se incluyen al final del texto. Entre ellos, sobresalen los trabajos de Chapman y Pratt (1961), Cline (1944), Hausenbuiller (1957), Peck y Melsted (1973), y Reed y Rigney (1947). Sin embargo, existen factores comúnes a considerar en la recolección de muestras y entre ellos se citan:

1. Obtener una muestra representativa,
2. Evitar la contaminación,
3. Identificar la muestra en forma adecuada, y
4. Embalar y transportar las muestras al laboratorio lo más pronto posible.

En la mayoría de los casos, las muestras de suelo y planta son colocadas en bolsas plásticas (polietileno).

2.1. RECEPCION DE MUESTRAS:

Toda muestra, ya sea de suelo o tejido vegetal, antes del análisis químico o físico, debe pasar por una etapa de recepción. El propósito es identificar y preparar las muestras para dar entrada al laboratorio. En el caso del Laboratorio de Servicios Analíticos del CIAT, el usuario completa inicialmente un formulario de Solicitud de Análisis, similar al que se adjunta en el texto. Un formulario original completo y copia del mismo son anexados a las muestras al entregar a recepción. Es muy importante que el análisis solicitado se concentre específicamente en aquellos elementos que coadyuven en la explicación de los objetivos del trabajo realizado. Una vez realizado el análisis solicitado, el formulario original se devuelve al usuario con los resultados, y la copia se conserva en el laboratorio como récord de análisis.

Laboratorio Servicios Analíticos - CIAT
Solicitud de Análisis *

Programa: _____ No. serial laboratorio: _____

Fecha muestreo: _____ Fecha entrega laboratorio: _____ Fecha entrega resultado: _____

Suelo ☐ Tejido vegetal ☐ Tejido animal ☐

Procedencia: _____ Enviar resultados a: _____

Número	Descripción muestra	Análisis Solicitado

Observaciones: _____

*Enviar original y una copia con las muestras.

2.2. PREPARACION DE MUESTRAS :

2.2.1. Suelo. Las muestras de suelos debidamente identificadas, se transfieren a bandejas de madera (dimensiones 25 x 50 cms.) con base de anjeo para facilitar el flujo de calor a través de las muestras. Las muestras se secan en cajas diseñadas de tal forma que el aire, calentado por bombillos eléctricos, circule de la parte inferior hacia la parte superior con ayuda de un extractor, eliminando además la humedad de las cajas. La temperatura promedio es de 60°C y el tiempo de secado varía entre 24 y 48 horas, tiempo que depende del grado de humedad de las muestras.

Las muestras secas se someten a una molienda en molinos que tengan el cabezal y las cribas de acero inoxidable, lo que garantiza el análisis de micronutrimentos. En la mayoría de los análisis rutinarios de suelos, las cribas corresponden a una malla No.10 (2 mm), con excepción en la determinación de la materia orgánica que se recomienda emplear suelo tamizado por malla No.60 (0.25 mm). El material molido es empacado en cajas de cartón con capacidad de 250 g, y estas cajas luego de identificadas con una numeración seriada, pasan al laboratorio.

Es importante remarcar que este proceso de preparación de las muestras de suelo exige que las muestras pasen inmediatamente al análisis químico y los resultados sean referidos en base a "suelo seco al aire". Caso contrario, cuando las muestras son almacenadas temporalmente, es necesario determinar un factor de humedad para cada muestra al momento del análisis, y los resultados deben ser ajustados por este factor para reducir el error.

Las determinaciones del contenido de humedad se realizan en submuestras de suelo seco al aire (10 g pesados exactamente) y secadas a 105°C por un período mínimo de 12 horas. El cálculo del Factor de Humedad (FH) está dado por:

$$\text{Factor de Humedad (FH)} = \frac{10}{\text{Peso de suelo seco a } 105°\text{C}}$$

El contenido de humedad en la muestra de suelo está dado por la relación: % Humedad = 100 (FH − 1.00). (Gardner, 1965). De esta manera, los resultados de los análisis son dados en términos de "suelo seco" (105°C).

2.2.2. Tejido Vegetal. Luego del muestreo del tejido vegetal, las muestras son generalmente sometidas a cuatro fases preparativas antes del análisis químico (Jones y Steyn, 1973).

1. Limpieza del material para remover la contaminación superficial.
2. Secado del material con el fín de parar las reacciones enzimáticas y preparar el material para la molienda.
3. Molienda mecánica para reducir el material a una fineza apropiada para el análisis químico.
4. Secado final a peso constante para obtener un valor uniforme en el cual se basan los resultados analíticos.

El material vegetal seleccionado para el muestreo está siempre cubierto con una capa fina de polvo. Esta contaminación afecta los resultados del análisis y por lo tanto debe ser removida antes que el material vegetal sea secado. Desde la limplieza con un paño o cepillo de cerdas finas. hasta el lavado con una solución de detergente al 0.1%, son los procedimientos recomendados para eliminar la contaminación del material vegetal (Steyn, 1959; Jones y Steyn, 1973). El proceso de lavado debe ser lo más rápido posible para evitar períodos largos de contacto de la solución con el tejido vegetal, ya que de lo contrario, se tiene el riesgo de lixiviar ciertos nutrimentos tales como K y Ca (Jones y Steyn, 1973).

Una vez realizada la limpieza del material vegetal, las muestras son sometidas al secado a 70 °C durante 24 horas y molidas en molinos tipo Wiley con cribas de acero inoxidable de 1 mm. El tejido vegetal seco y molido se empaca en frascos plásticos con capacidad mínima de 25 g, y deben ser sellados herméticamente para prevenir los cambios de humedad en las muestras durante su análisis. Caso contrario, las muestras deben ser secadas nuevamente antes de ser analizadas. Los frascos deben ser debidamente identificadas con numeración seriada al pasar al laboratorio.

2.3. ALMACENAJE DE MUESTRAS:

Las muestras de suelo y tejido vegetal una vez analizadas, deben ser almacenadas bajo inventario, durante seis meses, como medida de precaución en caso de que el usuario solicite determinaciones adicionales.

Al cabo de este tiempo, las muestras se entregan a los usuarios para su eliminación. El laboratorio debe conservar una serie de muestras de suelo y tejido vegetal para utilizarlas como controles en los análisis de muestras. Toda muestra almacenada debe secarse nuevamente antes de ser sometidas a nuevo análisis y ajustar los resultados en base al factor de humedad.

3. METODOLOGIA ANALITICA PARA SUELOS ACIDOS

3.1. SUBMUESTREO EN LABORATORIO :

Las muestras de suelo que llegan al laboratorio deben ser sometidas a un submuestreo, con el propósito de que la muestra del suelo sometida a análisis químico sea representativa. Para ésto, distribuir el suelo en una hoja de papel limpio y dividir en cuadros de 5 x 5 cm. usando una regla de plástico. El suelo se toma así con una espátula seleccionando por lo menos 10 cuadros. Las submuestras de suelo se colocan en bolsas de plástico inmediatamente después del secado y tamizado.

La cantidad mínima necesaria de muestra de suelo seco al aire para el análisis completo es la siguiente:

1. Suelo seco al aire tamizado con malla No.10 (2 mm).

   A. Análisi Preliminar del Suelo :

      1. 10 g. para determinación de pH y conductividad eléctrica.
      2. 10 g. para determinación de presencia o ausencia de $CaCO_3$ libre.

   B. En Base a la Clasificación del Suelo en el Análisis Preliminar.

   B.1. Para suelos muy ácidos, no calcáreos, no salinos.

      1. 10 g. para extracto de KCl 1N y determinación de cationes cambiables (Ca, Mg, Na), acidez intercambiable (Al, H) y micronutrimentos (Zn, Cu, Fe, Mn).

      2. 10 g. para extracto de NH_4Cl 1N y determinación de K.

      3. 3 g. para extracto de Bray y Kurtz No.2 y determinación de P.

      4. 10 g. para determinación de S.

      5. 10 g. para determinación de B.

   B.2. Para suelos ácidos no calcáreos, no salinos.

1. 10 g. para extracto de NH_4OAC y determinación de cationes cambiables (K, Ca, Mg, Na), Capacidad de Intercambio Catiónico (CIC) y micronutrimentos (Zn, Cu, Fe, Mn).
2. 3 g. para extracto de Olsen y determinación de P.
3. 10 g. para determinación de S.
4. 10 g. para determinación de B.

2. Suelo seco al aire tamizado con malla No.60 (0.25 mm). (Para los suelos muy ácidos y ácidos clasificados en el análisis preliminar).

   1. 0.5 g. para determinación de materia orgánica.

3.2. ANALISIS PRELIMINAR DEL SUELO :

Con el propósito de clasificar los suelos para la determinación de cationes intercambiables, acidez intercambiable, y capacidad de intercambio catiónico, es necesario realizar un análisis preliminar del suelo determinando el pH, conductividad eléctrica y presencia o ausencia de $CaCO_3$ libre. Si los suelos son calcáreos y/o salinos es necesario emplear procedimientos diferentes. (Uehara y Keng, 1975).

Los suelos se clasifican de acuerdo al análisis preliminar como sigue:

pH (Suelo-H_2O 1:1)	Conductividad Eléctrica (micromhos/cm) a 25°C.	$CaCO_3$ Libre (Prueba de Efervescencia)	Clasificación
< 5.4	< 400	Ausente	Muy ácido, no calcáreo, no salino.
5.4-7.0	< 400	Ausente	Acido a neutro, no calcáreo, no salino.
> 7.0	< 400	Presente	Calcáreo, no salino
< 7.0	> 400	Ausente	No calcáreo, salino
> 7.0	> 400	Presente	Calcáreo, salino

3.2.1. Determinación de pH (Relación Suelo-Agua 1:1)*

A. Material:

Potenciómetro (pH-metro) provisto de electrodos de vidrio y calomel (solución saturada de KCl). Soluciones amortiguadas de pH conocido, generalmente de pH 4 y 7. Vasos de 50 ml. Agitador y balanza analítica.

B. Procedimiento:

1. Medir 10 ml de suelo seco al aire y transferir a un vaso de 50 ml. Añadir 10 ml de agua doblemente deionizada o destilada.
2. Agitar la suspensión aproximadamente 1 minuto y dejar en reposo por 1 hora.
3. Una vez calibrado el potenciómetro con las soluciones amortiguadas, se procede a determinar el pH de la muestra de suelo previa agitación enérgica de la suspensión.

3.2.2. Determinación de la Conductividad Eléctrica**

La medida de la conductividad eléctrica del extracto de suelo es una guía aproximada pero rápida del grado de salinidad en el suelo.

A. Material:

Vasos de 100 ml, varillas de vidrio, puente de conductividad eléctrica.

B. Reactivos:

Agua doblemente deionizada o destilada.

C. Procedimiento:

Pesar 10 g. de suelo seco al aire y tamizado con malla No.10 (2 mm) en un vaso de 100 ml. Añadir 50 ml de agua doblemente deionizada o destilada y agitar por 30 minutos. Dejar la suspensión en reposo durante la noche y volver a agitar por 15

---

* Jackson (1964), Peech (1965).

** Richards (1954)

minutos antes de leer la conductividad eléctrica usando un puente de conductividad. Los resultados se expresan en micromhos/cm a 25°C.

3.2.3. Determinación de la presencia o ausencia de $CaCO_3$ Libre. Prueba de Efervescencia*

La presencia o ausencia de carbonato de calcio puede determinarse rápidamente y en forma cualitativa agregando unas cuantas gotas de HCl a 30% al suelo seco al aire tamizado con malla No.10 (2 mm). La efervescencia debida al desprendimiento de gas carbónico (CO_2) indica la presencia de carbonato.

3.3. DETERMINACION DE MATERIA ORGANICA**

A. Material:

Erlenmeyers de 250 ml, pipeta automática de 25 ml, garrafa plástitica de 20 litros (Dicromato de Potasio), buretas graduadas de 50 ml (ácido sulfúrico, sulfato ferroso), balanza de precisión ($\pm$ 0.01 g.)

B. Reactivos:

1. Solución de Dicromato de Potasio ($K_2Cr_2O_7$) 0.4N: Secar en una estufa aproximadamente 50 g del reactivo a una temperatura de 110°C durante 1 hora. Luego de enfriar en un desecador pesar 19.583 g y disolver en poca cantidad de agua doblemente deionizada o destilada para luego completar volumen a 1 litro con agua doblemente deionizada o destilada.
2. Acido sulfúrico concentrado (H_2SO_4).
3. Solución de Ferroina 0.025M: Pesar 14.87 g de ortofenantrolina monohidratada ($C_{12}H_8N_2.H_2O$) y 6.95 g de sulfato ferroso ($FeSO_4.7H_2O$). Disolverlos en agua doblemente deionizada o destilada y completar volumen a 1 litro con agua doblemente deionizada o destilada.

---

* Chapman y Pratt (1961)

** Walkley y Black (1934), Allison (1965)

4. Solución de sulfato ferroso ($FeSO_4$ $7H_2O$)0.4N: Disolver 111.21 g del reactivo en 600 ml de agua doblemente deionizada o destilada, añadir 20 ml de H_2SO_4 concentrado y completar volumen a 1 litro con agua doblemente deionizada o destilada.

C. Procedimiento:

1. Pesar 0.5 g de suelo seco al aire y tamizado con malla No.60 (0.25 mm) en Erlenmeyer de 250 ml.
2. Añadir 25 ml de la solución de dicromato de potasio 0.4N y mezclar el suelo con la solución mediante un giro imprimido al Erlenmeyer.
3. Añadir 25 ml de H_2SO_4 concentrado y mezclar suavemente durante 1 minuto. Dejar la mezcla en reposo durante 20 a 30 minutos.
4. Simultáneamente realizar un ensayo de valoración en blanco (sin suelo) de la misma manera indicada en los párrafos 1, 2 y 3.
5. Diluir la solución a 200 ml con agua doblemente deionizada o destilada y añadir 1 ml de la solución ferroina 0.025M.
6. Titular con la solución de sulfato ferroso 0.4N hasta que el color de la solución-muestra vire de verde a rojo en el punto final.

D. Cálculos:

Reportar el contenido de materia orgánica (M.O.) en base porcentual de acuerdo al siguiente cálculo:

$$\% \text{ M.O.} = 25\ (1 - S/B) \times 0.55$$

Donde: S = Valoración de la muestra, ml de solución sulfato ferroso.

B = Valoración en blanco, ml de solución sulfato ferroso.

El factor 0.55 se deriva como sigue:

$$0.4 \times 0.003 \times (1.72/0.75) \times (100/0.5) = 0.55$$

Donde: 0.4 = Normalidad de la solución de dicromato de potasio.
0.003 = Peso miliequivalente de carbono.
1.72 = Factor de Conversión de Carbono a Materia Orgánica.
0.75 = Factor de recuperación de carbono*
0.5 = Peso de la muestra (g).

3.4. DETERMINACION DE FOSFORO:

3.4.1. Fósforo Extraíble por Fluoruro Diluído-Acido Diluído. (Bray y Kurtz No.2)**

A. Material:

Vasos de extracción de 50 ml, agitador, pipetas automáticas de 20 ml, papel filtro de 11 cm ø (Whatman No.42 o equivalente), frasco de vidrio o plástico para la solución extractora, vaso de 1 litro para la solución de trabajo, diluidor automático, colorímetro con filtro de 660 mu of espectrofotómetro, probetas de 10 y 25 ml para las soluciones A y B para desarrollo de color.

B. Reactivos:

1. Solución extractora (HCl 0.1N + NH_4F 0.03N): Disolver 1.11 g de NH_4F y 16.64 ml de HCl 6N con agua doblemente deionizada o destilada y completar volumen a 1 litro con agua doblemente deionizada o destilada.

2. Soluciones patrones para desarrollo de color***

Solución A: Disolver 60 g de molibdato de amonio $[(NH_4)_6 Mo_7O_{24}.4H_2O]$ en 200 ml de agua doblemente deionizada o destilada. Añadir 1.455 g de tartrato de antimonio y potasio $[K(SbO)C_4H_4O_6.1/2\ H_2O]$ y disolver. Agregar lentamente con agitación suave 700 ml de H_2SO_4 concentrado. Enfriar la solución y diluir a volumen de 1 litro con agua doblemente deionizada o destilada.

---

* Bornemisza et al (1979)

** Bray y Kurtz (1945), Dewis y Freitas (1970), McGaveston y Widdowson (1978)

*** Murphy y Riley (1963).

Solución B: Disolver 132 g de ácido ascórbico ($C_6H_8O_6$) en agua doblemente deionizada o destilada. Completar volumen a 1 litro con agua doblemente deionizada o destilada.

Las soluciones A y B deben almacenarse en un lugar frío y oscuro por ser sensible al calor y a la luz.

3. Solución de Trabajo: Preparar esta solución en el día a partir de las Soluciones A y B del Párrafo 2. Tomar 25 ml de la Solución A y transferir a 800 ml de agua doblemente deionizada o destilada en un vaso de 1 litro. Mezclar y añadir 10 ml de la Solución B llevando luego a volumen con agua doblemente deionizada o destilada.

4. Solución Estándar con Fósforo: Disolver 0.2195 g de fosfato dehidrógeno de potasio cristalizado (KH_2PO_4), previamente secado durante 1 hora a 105°C. Diluir con agua doblemente deionizada o destilada en matraz volumétrico de 1 litro y completar volumen. La solución contendrá 50 ppm P a partir de la cual se preparan las soluciones para la curva patrón de P de la manera indicada en la Tabla 2.

Tabla 2. Concentraciones de las Disoluciones Patrón de Fósforo.

Volumen de la Solución Estándar (50 ppm, P)	Volumen final con H_2O doblemente deionizada o destilada	Concentración de P
ml	ml	ppm
0.0	250	0.0
2.5	250	0.5
5.0	250	1.0
10.0	250	2.0
20.0	250	4.0
30.0	250	6.0
40.0	250	8.0
50.0	250	10.0

C. Procedimiento:

1. Pesar una muestra de 2.85 g de suelo y transferir a un vaso de extracción de 50 ml.

2. Añadir 20 ml de la solución extractora y agitar durante 40 segundos.

3. Filtrar la suspensión con papel filtro Whatman No.42 o equivalente a un vaso de 50 ml. El filtrado constituye el extracto de suelo.

4. Tomar simultáneamente 2 ml del extracto de suelo y 18 ml de la solución de trabajo con ayuda de un "dilutor dispensador" a tubos colorimétricos. Este procedimiento se sigue con las disoluciones patrón de P, de manera que las concentraciones finales de P varían entre 0.05 y 1.0 ppm P.

5. Después de 15 minutos se leen los porcentajes de transmitancia en un espectrofotómetro usando una longitud de onda de 660 mu. Las muestras pueden leerse hasta las 24 horas. Los valores de %T se representan en papel semilogarítmico donde la ordenada (escala logarítmica) representa los porcentajes de transmitancia y la abscisa (escala ordinaria) representa las ppm de P. Construído el gráfico es posible pasar directamente la lectura del colorímetro a partes por millón de P en la solución durante el análisis de la muestra.

D. Cálculos:

Factor de Dilución = 20 ml de solución extract. / 1.000mlx1.000/2.85 g x 20 ml de extracto suelo = 70.2

P disponible en el suelo (ppm) = ppm en la solución muestra x 70.2.

3.4.2. Fósforo Extraíble por Carbonato Acido de Sodio *

El empleo de una disolución de carbonato ácido de sodio

* Olsen et al (1954)

($NaHCO_3$ 0.5N) de pH 8.5 tiene su fundamento en que esta solución regula la cantidad de calcio en solución por intermedio del carbonato cálcico.

A. Material:

Frascos de extracción de 250 ml o Erlenmeyers con tapón de vidrio Corning y resistente a los álcalis. Se han usado también frascos de plástico con buenos resultados. Agitador mecánico, papel de filtro Whatman No.42 de 15 cm ø o equivalente, dilutor-dispensador, vaso de 1 litro, colorímetro con filtro de 660 mu, frasco de polietileno para preparar la solución extractora.

B. Reactivos:

1. Solución Extractora ($NaHCO_3$ 0.5M): Disolver 42 g de carbonato ácido de sodio ($NaHCO_3$) en 1 litro y ajustar a pH 8.5 con NaOH. La alcalinidad de esta solución tiende a aumentar con el tiempo a no ser que se proteja con una capa de aceite mineral. Verificar periódicamente el pH.

2. Carbón activo: Se usa Darco G-60 o similar al que se purifica de fosfatos lixiviándolo previamente con carbonato ácido de sodio, se lava con agua doblemente deionizada o destilada y se seca.

3. Soluciones patrones para desarrollo de color.

   Solución A: Disolver 60 g de molibdato de amonio [$(NH_4)_6Mo_7O_{24}.4H_2O$] en 200 ml de agua doblemente deionizada o destilada, añadir 1.455 g de tartrato de antimonio y potasio [$K(SbO)C_4H_4O_6$. 1/2 H_2O] y disolver. Agregar lentamente con agitación suave 700 ml de ácido sulfúrico concentrado (H_2SO_4). Enfriar la solución y diluir a volumen de 1 litro con agua doblemente deionizada o destilada.

   Solución B: Disolver 132 g de ácido ascórbico ($C_6H_8O_6$) en agua doblemente deionizada o destilada. Completar volumen a 1 litro con agua doblemente deionizada o destilada.

4. Solución de Trabajo: Preparar esta solución en el día a partir de las Soluciones A y B del Párrafo 3. Tomar 45 ml de la Solución A y transferir a 800 ml de agua doblemente deionizada o destilada en un vaso de 1 litro, mezclar y añadir 18 ml de la Solución B llevando luego a volumen con agua doblemente deionizada o destilada.

5. Solución Estándar de Fósforo: Disolver 0.2195 g de fosfato dehidrogenado de potasio cristalizado (KH_2PO_4), previamente secado durante 1 hora a 105°C. Diluir con agua doblemente deionizada o destilada en matraz volumétrico de 1 litro y completar volumen. La solución contendrá 50 ppm de P a partir de la cual se preparan las soluciones para la curva patrón de P de la manera indicada en la Tabla 3.

Tabla 3. Concentraciones de las Disoluciones Patrón de Fósforo

Volumen de la Solución Estándar (50 ppm)	Volumen final con H_2O doblemente deionizada o destilada	Concentración de P
ml	ml	ppm
0.0	250	0.0
2.5	250	0.5
5.0	250	1.0
10.0	250	2.0
20.0	250	4.0
30.0	250	6.0
40.0	250	8.0
50.0	250	10.0

C. Procedimiento:

1. Colocar en un frasco de extracción 2.5 g de suelo y adicionar 50 ml de solución extractora de carbonato de sodio (pH 8.5) y aproximadamente 1 g de carbón activado.

3. Agitar por 30 minutos.

4. Filtrar la solución usando papel filtro Whatman No.42 o equivalente. Si el filtrado no es claro, retornar al frasco y

añadir más carbón agitando rápidamente y volviendo a filtrar por el mismo filtro.

Nota: Los extractos de suelo obtenido con carbonato de sodio presentan a menudo coloraciones intensas. Por esta razón se recomienda el método de molibdato azul con ácido ascórbico, ya que éste elimina las interferencias debidas al color. Comparaciones realizadas entre la cantidad de P medido, usando carbón para recuperar el color y sin carbón, han mostrado que hay una diferencia de menos de 1 ppm de P cuando la cantidad extraída es menos de 20 ppm de P.

4. Con un "dilutor dispensador" tomar 2 ml de filtrado, añadir 8 ml de agua doblemente deionizada o destilada y 10 ml de la solución de trabajo (Párrafo 4 de reactivos). Las diluciones patrones de P deben tener el mismo procedimiento que las muestras.

5. Después de 15 minutos, leer los porcentajes de transmitancia (%T) en un espectrofotómetro o colorímetro usando una longitud de onda de 660 mu.

6. Estos valores de %T se llevan a un gráfico en papel semilogarítmico en cuya abscisa (escala ordinaria) se representan las partes por millón de fósforo en solución (ppm P) y en la ordenada (escala logarítmica) se representan los porcentajes de transmisión de la luz (%T). Los puntos obtenidos se unen por una línea recta y a partir de este gráfico se pueden calcular las ppm de la solución-muestra sin más que leer en el colorímetro el %T correspondiente.

La cantidad de fósforo extraíble por el método del carbonato ácido se puede calcular:

Factor de Dilución	=	50 ml de solución extract.	/1.000ml	x 1.000g/2.5 g suelo	x 20ml vol. final	/ 2 ml de extrac. suelo	=200

P disponible en el suelo (ppm) = ppm en la solución-muestra x 200.

3.5. DETERMINACION DE CATIONES CAMBIABLES EN SUELOS CON pH MENOR A 5.4, CON CARGA VARIABLE EN FUNCION DEL pH Y NO CALCAREOS, NO SALINOS*.

3.5.1. Obtención del Extracto del Suelo.

A. Material:

Vasos de extracción de 50 ml, agitador de muestras, balones volumétricos de 100 ml, dispensador de 10 ml, frascos para la solución extractora, pipeta automática de 50 ml, embudos plásticos o de vidrio.

B. Reactivos:

Solución extractora de KCl 1N: Pesar 74.56 g de KCl, disolver en aproximadamente 500 ml de agua doblemente deionizada o destilada y completar volumen a 1 litro.

C. Procedimiento:

1. Pesar 10 g de suelo seco al aire y añadir 50 ml de KCl 1N.
2. Agitar durante 30 minutos y filtrar recibiendo en balones volumétricos de 100 ml. Lavar el suelo con 5 porciones de 10 ml cada una de KCl 1N. Finalizada la filtración completar volumen con KCl 1N y agitar para obtener una mezcla homogénea del filtrado (extracto de suelo en KCl 1N). Este filtrado constituye el extracto de suelo a partir del cual se determinan todos los cationes cambiables con excepción del K.

3.5.2. Acidez Intercambiable (Al + H):

A. Material:

Erlenmeyers de 125 ml, pipeta volumétrica de 50 ml, bureta con frasco para NaOH; frasco gotero para la solución de fenolftaleína.

B. Reactivos:

1. Metil Naranja 0.1% (indicador): Pesar 0.1 g de metil

---

* Lin y Coleman (1960), Pratt y Bair (1961), Coleman y Thomas (1967).

naranja y disolver con un poco de agua destilada para luego completar volumen a 100 ml con agua destilada.

2. Fenolftaleína 1% (indicador): Pesar 1 g de fenolftaleína y disolver en 70 ml de alcohol etílico para luego completar volumen a 100 ml con alcohol etílico.

3. Solución de NaOH 0.05N: Preparar a partir de una solución de NaOH 0.1N tomando 500 ml de esta solución y completando a volumen de 1 litro con agua doblemente deionizada o destilada.

C. Procedimiento:

1. Acidez Intercambiable: Transferir 50 ml del extracto obtenido con KCl 1N a un Erlenmeyer de 125 ml de capacidad. Agregar 3 gotas de fenolftaleína al 1% y titular con NaOH 0.05N hasta la aparición de un color rosado pálido permanente. Anotar los ml de NaOH empleados en la titulación.

2. Hidrógeno Intercambiable: Transferir 50 ml del extracto obtenido con KCl 1N a un Erlenmeyer de 125 ml de capacidad. Agregar 3 gotas del indicador metil naranja al 0.1% y titular con NaOH 0.05N hasta la aparición de un color amarillo permanente en la solución. Anotar los ml de NaOH empleados en la titulación.

D. Cálculos:

La acidez intercambiable y el hidrógeno intercambiable expresados en miliequivalentes/100 g suelo se calcula por la relación:

$$\text{Acidez Intercambiable o H intercambiable (meq/100g suelo)} = \text{ml NaOH} \times \underline{N}\ \text{NaOH} \times \frac{100}{\text{peso suelo}}$$

$$\text{Acidez Intercambiable o H intercambiable (meq/100g suelo)} = \text{ml NaOH} \times 0.05 \times \frac{100}{10}$$

$$\text{Acidez Intercambiable o H intercambiable (meq/100g suelo)} = \text{ml NaOH} \times 0.5$$

Al Intercambiable = Acidez Intercambiable - H intercambiable.

3.5.3. Calcio (Ca).

A. Determinación:

El calcio se determina en el extracto de KCl 1N tomando 2 ml y diluyendo con una solución de NaCl*. Leer la transmitancia en un espectrofotómetro de absorción atómica, usando estándares de Ca que han recibido el mismo tratamiento que las muestras, de tal forma que el estándar más concentrado sea igual a 5.0 ppm de Ca. Se usa la llama de óxido nitroso acetileno. La cantidad de calcio se determina considerando el factor de dilución (FD) que resulta del producto de:

$$FD = \frac{ppm}{20\ g} \times \frac{100\ ml}{1000\ ml} \times \frac{100\ g}{10\ g} \times \frac{20\ ml}{2\ ml} = 0.5$$

Ca(meq/100 g) = ppm Ca en la solución-muestra x 0.5

B. Preparación del Estándar de Calcio:

Preparar a partir de una solución de 1.000 ppm de Ca (solución preparada comercialmente), estándares de 0, 4, 10, 30, 50 ppm Ca tomando de la solución concentrada las cantidades siguientes: 0, 1, 2.5, 7.5 y 12.5 ml y diluírlas a 250 ml con H_2O doblemente deionizada o destilada. Al momento de utilizarlas en el espectrofotómetro de absorción atómica deben diluírse de la manera siguiente: Tomar 2 ml de cada una por separado y diluírlas a volumen final de 20 ml con la solución de NaCl obteniéndose las siguientes concentraciones: 0, 0.4, 1.0, 3.0 y 5.0 ppm Ca, las cuales se usan para la curva patrón.

---

* Solución de Sodio: Pesar 50.84 g de cloruro de sodio y disolver por completo en unos 200 ml de H_2O doblemente deionizada o destilada y completar volumen a 1 litro. La concentración que se obtiene es de 20.000 ppm Na. A partir de esta solución se obtiene una solución diluída de Na tomándose 60 ml de la solución de 20.000 ppm y diluyendo a 1 litro. Esta solución se utiliza para diluir las muestras y evitar interferencia en los extractos al usar espectrofotometría de absorción atómica.

3.5.4. Magnesio (Mg).

A. Determinación:

Utilizar la misma dilución del extracto de KCl 1N, usada en la determinación de calcio, y leer directamente la transmitancia en un espectrofotómetro de absorción atómica, usando una curva calibrada cuyo estándar más alto sea de 1.5 ppm Mg. Se emplea la llama de aire-acetileno. La cantidad de Mg se calcula considerando un factor de dilución (FD) que resulta de:

$$FD = \frac{ppm}{12} \times \frac{100\ ml}{1000\ ml} \times \frac{100\ g}{10\ g} \times \frac{20}{2} = 0.83$$

Mg (meq/100 g) = ppm de Mg en la solución-muestra x 0.83.

B. Preparación del Estándar de Magnesio:

Preparar a partir de una solución de 500 ppm de Mg (solución preparada comercialmente). Las concentraciones de los estándares son: 0, 2, 5 y 15 ppm Mg, tomando de la solución concentrada 0, 1, 2.5 y 7.5 ml y llevando a volumen de 250 ml con agua doblemente deionizada o destilada. Al utilizar estas concentraciones deben diluírse tomando 2 ml y completando volumen a 20 ml con la solución de NaCl. Las concentraciones de estas diluciones son: 0, 0.2, 0.5 y 1.5 ppm de Mg, respectivamente, y son las empleadas para calibrar el equipo y obtener la curva patrón de Mg.

3.5.5. Manganeso (Mn).

A. Determinación:

Utilizar el extracto de KCl 1N y leer directamente la transmitancia en un espectrofotómetro de absorción atómica, usando una curva calibrada cuyo estándar más alto sea de 20 ppm Mn. Se emplea la llama aire-acetileno. La cantidad de Mn se calcula considerando un factor de dilución (FD) que resulta de:

$$FD = \frac{100\ ml}{10\ g} = 10$$

Mn (ppm) = ppm Mn en la solución x 10.

B. Preparación de Estándares de Mn:

Preparar a partir de una solución de 1.000 ppm de Mn (Solución preparada comercialmente) de la manera indicada en la Tabla 4.

Tabla 4. Concentraciones de las Disoluciones de Manganeso.

Volumen de la Solución Estándar (1000 ppm Mn)	Volumen final con H_2O doblemente deionizada o destilada	Concentración de Mn
ml	ml	ppm
0.00	250	0.0
0.25	250	1.0
0.50	250	2.0
1.00	250	4.0
1.50	250	6.0
2.50	250	10.0
5.00	250	20.0

3.5.6. Determinación de Potasio (K).

A. Material:

Erlenmeyer de 125 ml, agitador de muestras, dispensador de 50 ml, frasco para la solución extractora, embudos de plástico o de vidrio, papel filtro de 11 cm ø .

B. Reactivo:

Solución extractora de NH_4Cl 1N: Pesar 53,49 g de NH_4Cl, disolver en aproximadamente 500 ml de agua doblemente deionizada o destilada y completar volumen a 1 litro.

C. Procedimiento:

Pesar 2.5 g de suelo seco al aire y tamizado con malla No.10 (2 mm), y agitar durante 30 minutos y filtrar. Este filtrado constituye el extracto de suelo. Leer directamente la transmitancia en un espectrofotómetro de absorción atómica, usando una curva calibrada cuyo estándar más alto sea de 40 ppm K.

Se emplea la llama aire-acetileno. El factor de dilución (FD) a considerar en los cálculos de K intercambiable es el siguiente:

$$FD = \frac{ppm}{39} \times \frac{50\ ml}{1000\ ml} \times \frac{10\ g}{2.5\ g} = 0.051$$

K (meq/100 g) = ppm de K en la solución muestra x 0.051.

D. Preparación de Estándar de K:

Pesar 1.9069 g de KCl seco, disolver y completar volumen a 1 litro con agua deionizada o destilada. Esta solución tiene 1.000 ppm de K a partir de la cual se preparan soluciones estándar diluídas con las siguientes concentraciones: 0, 2, 4, 10, 20 y 40 ppm de K.

Ej.: Para preparar una solución que contenga 4 ppm de K , se toma 1 ml de la solución de 1000 ppm de K y se diluye en 250 ml de agua doblemente deionizada o destilada.

3.5.7. Parámetros Derivados.

A. Capacidad de Intercambio Catiónico Efectivo (CICE)*:

La capacidad de intercambio catiónico es comúnmente referida a la cantidad de cationes absorbidos por soluciones salinas amortiguadas a pH 7 con acetato de amonio (NH_4OAc) o a pH 8.2 con cloruro de bario-trietanolamina (Ba-TEA). Para suelos de pH 7 u 8.2, estas medidas reflejan en forma adecuada la capacidad de intercambio catiónico. Además, para suelos que tienen poca o ninguna carga variable, estos métodos también son adecuados. En el caso de suelos ácidos, el uso de estos métodos es satisfactorio cuando estos suelos tienen sistemas de capas silicatadas con pH de carga no dependiente, tal el caso de suelos montmorilloníticos bajos en materia orgánica. Para suelos con pH menor que 5.5 y con carga variable, tal el caso de algunos Oxisoles y Ultisoles, los métodos indicados sobreestiman la capacidad de intercambio catiónico. En este caso, la medida que

* Coleman y Thomas (1967)

determina más exactamente la carga total al pH actual del suelo es el desplazamiento de cationes por una sal no amortiguada como el KCl, y la suma de cationes cambiables ha sido denominada "Capacidad de Intercambio Catiónico Efectiva" (Coleman y Thomas, 1967).

En general, valores de CICE superiores a 4 meq/100 g en suelos ácidos sugieren suficiente CIC para prevenir pérdidas considerables de cationes por lixiviación (Sánchez, 1976).

Capacidad de Intercambio Cationes Efectiva (CICE) = Al + Ca + Mg.

B. Porcentaje de Saturación de Aluminio:

El porcentaje de saturación de aluminio de la capacidad de intercambio catiónico efectiva es otra medida útil de la acidez del suelo. La saturación de Al es la relación entre el Al intercambiable extraído por una sal no amortiguada de KCl y la suma de bases cambiables más el Al intercambiable.

$$\% \text{ Saturación de Al} = \frac{Al}{Al + Ca + Mg} \times 100$$

3.6. DETERMINACION DE CATIONES CAMBIABLES EN SUELOS CON pH 5.4-7.0, CON CARGA NO DEPENDIENTE DEL pH Y NO CALCAREOS, NO SALINOS. *

3.6.1. Obtención del Extracto de Suelo.

A. Material:

Erlenmeyers de 125 ml, bureta automática de 25 ml, frascos volumétricos de 100 ml, papel filtro de 5.5 cm ø , embudos Buchner de 6 cm ø , gradilla para succionar y bomba de succión, frasco para solución extractora.

B. Reactivos:

1. Acetato de Amonio 1N, pH 7: Pesar 77.08 g de acetato de amonio y disolver por completo en 500 ml de agua doblemente deionizada o destilada y completar volumen a 1 litro.

---

* Peech et al (1947), Chapman (1965).

2. Solución de Sodio: Pesar 50.84 g de cloruro de sodio y disolver por completo en unos 200 ml de agua doblemente deionizada o destilada y completar volumen a 1 litro. La concentración que se obtiene es de 20.000 ppm Na. A partir de esta solución se obtiene una solución diluída de Na tomándose 60 ml de la solución de 20.000 ppm y diluyendo a 1 litro. Esta solución se utiliza para diluir las muestras y evitar interferencia en los extractos al usar espectrofotometría de absorción atómica.

C. Procedimiento:

1. Pesar 5 g de suelo en un Erlenmeyer de 125 ml y agregar 25 ml de la solución de acetato de amonio 1N. Agitar durante 30 minutos, dejar en reposo 15 minutos y filtrar usando succión. El filtrado se recibe en balón volumétrico de 100 ml, lavando el suelo con pequeñas porciones de la solución de acetato de amonio. Después de terminada la filtración, completar volumen y agitar. Este filtrado constituye el extracto de suelo a partir del cual se determinan los cationes cambiables.

3.6.2. Calcio (Ca), Magnesio (Mg) y Potasio (K).

A. Determinación:

Por medio de un "dilutor dispensador", tomar 2 ml de filtrado (extracto) y 18 ml de una solución de sodio de manera de obtener 1.000 ppm de Na. Leer la transmitancia en espectrofotómetro de absorción atómica usando estándares de Ca que han recibido el mismo tratamiento que las muestras, de tal forma que el estándar más concentrado no exceda de 5 ppm Ca. Se usa la llama óxido nitroso-acetileno para la lectura de Ca.

$$\text{Factor de Dilución(FD)} = \frac{\text{ppm}}{20} \times \frac{100\ \text{ml}}{1000\ \text{ml}} \times \frac{100\ \text{g}}{5\ \text{g}} \times \frac{20\ \text{ml}}{2\ \text{ml}} = 1$$

Ca (meq/100 g suelo) = ppm en solución x 1.

Para la determinación de Magnesio, emplear la misma solución diluída indicada en el procedimiento de Ca. Leer la trasmitancia en espectrofotómetro de absorción atómica usando estándares de magnesio que han recibido el mismo tratamiento que las muestras, de tal forma que la concentración más alta no exceda de 1.5 ppm Mg. Se usa la llama aire-acetileno para la lectura de Magnesio.

$$\text{Factor de Dilución(FD)} = \frac{\text{ppm}}{12} \times \frac{100\ \text{ml}}{1000\ \text{ml}} \times \frac{100\ \text{g}}{5\ \text{g}} \times \frac{20\ \text{ml}}{2\ \text{ml}} = 1.667$$

Mg (meq/100 g suelo) = ppm de mg en solución x 1.667.

En el caso de determinación de Potasio, se utiliza el extracto de acetato de amonio que se obtuvo para la determinación de Ca y se lee directamente en el espectrofotómetro de absorción atómica usando estándares de K que cubran un rango entre 0-40 ppm K. Se usa la llama aire-acetileno.

$$\text{Factor de Dilución(FD)} = \frac{\text{ppm}}{39} \times \frac{100\ \text{ml}}{1000\ \text{ml}} \times \frac{100\ \text{g}}{5\ \text{g}} = 0.051$$

K (meq/100 g suelo) = ppm en solución de K x 0.051.

B. Preparación de Estándares de Ca, Mg y K:

Seguir el mismo procedimiento indicado para suelos con pH menor a 5.4.

3.6.3. Sodio (Na).

A. Determinación:

Se utiliza el extracto de acetato de amonio y se lee directamente en el espectrofotómetro de absorción atómica usando estándares de Na que cubran un rango entre 0-20 ppm Na. Se utiliza la llama aire-acetileno.

$$\text{Factor de Dilución(FD)} = \frac{\text{ppm}}{22.99} \times \frac{100\ \text{ml}}{1000\ \text{ml}} \times \frac{100\ \text{g}}{5\ \text{g}} = 0.087$$

Na(meq/100 g suelo) = ppm en solución de Na x 0.087.

B. Preparación de Estándares de Sodio:

Preparar una solución de 1000 ppm de Na, pesando 2.542 g de NaCl y diluyendo en 1 litro. El NaCl debe ser secado en una estufa a 110°C durante varias horas. De la solución concentrada se preparan estándares cuyas concentraciones finales sean: 0, 1, 2, 5, 10 y 20 ppm de Na. Estos estándares se preparan tomando 0, 0.25, 0.5, 1.25, 2.5 y 5 ml de la solución 1000 ppm Na y diluyendo a un volumen final de 250 ml con agua doblemente deionizada o destilada.

Nota: La muestra para determinar Na debe tomarse antes de diluir para Ca y Mg para evitar contaminación en la solución de NaCl usada para estos cationes.

3.7. DETERMINACION DE LA CAPACIDAD DE INTERCAMBIO CATIONICO (CIC) EN SUELOS DE pH MAYOR A 5.4-7.0, CON CARGA NO DEPENDIENTE DE pH Y NO CALCAREOS, NO SALINOS.

A. Material:

Erlenmeyers de 125 ml, dispensadores de 10 ml, buretas con frascos.

B. Reactivos:

1. Alcohol etílico a 96%.
2. Solución de NaCl 10%.
3. Solución de Formaldehído 38%.
4. Solución de Fenolftaleína 1%.
5. Solución de NaOH 0.1N.

C. Procedimiento:

El suelo que queda en el embudo después de obtener el extracto de acetato de amonio para determinar cationes cambiables, se lava con 5 porciones de alcohol etílico del 96%, desechándose luego estos lavados. Desplazar el amonio intercambiable mediante 5 lavados con solución de NaCl al 10%, los cuales son recogidos en Erlenmeyers de 125 ml. Después de finalizada la la filtración se agregan 10 ml de solución de formaldehído de

de 38% al filtrado anterior, 3 gotas de fenolftaleína y se titula con NaOH 0.1N hasta obtener un color rosado pálido permanente.

D. Cálculos:

$$\text{Factor de Corrección (FC)} = \frac{0.1N \times 1000}{50} = 2$$

Capacidad de Intercambio Catiónico (CIC) = ml NaOH x 2.

3.8. DETERMINACION DE AZUFRE (S)*

3.8.1. Obtención del Extracto de Suelo.

A. Materiales:

Erlenmeyer de 125 ml, bureta automática de 50 ml, agitador, papel filtro de 15 cm ø Whatman No.42 o equivalente, balanza, embudos plásticos o de vidrio, garrafa plástica para la solución extractora.

B. Reactivos:

Fosfato de calcio $[Ca(H_2PO_4)_2.H_2O]$: Disolver 2.02 g de fosfato de calcio en 1 litro de agua deionizada o destilada. La solución tiene una concentración de 0.008M.

C. Procedimiento:

Pesar 10 g de suelo en un Erlenmeyer de 125 ml y agregar 50 ml de la solución extractora. Agitar durante 30 minutos y después filtrar la suspensión.

Nota: Fox y colaboradores (1964) recomiendan usar fosfato de calcio en suelos con contenidos altos de materiales orgánica, ya que elimina el problema de la turbidez del extracto. El anion fosfato desplaza al anion sulfato adsorbido y el catión calcio retiene la extracción de materia orgánica del suelo, además de eliminar la contaminación que proviene del azufre orgánico.

* Referencias: Fox et al (1964), Ensminger (1954), Bartlett y Weller (1960); Massoumi y Cornfield (1963), Tabatabai y Bremner (1972), The Sulphur Institute - Tec. Bull. 14 (1968).

3.8.2. Método turbidimétrico para determinar azufre en el extracto de suelo:

Obtenido el extracto de suelo, la determinación de S en el suelo sigue un procedimiento de turbidimetría similar.

A. Material:

Colorímetro - tubos colorimétricos, pipetas de 1, 2, 2.5 y 10 ml.

B. Reactivos:

1. Solución de Acido Nítrico al 25% v/v: Mezclar 25 ml de ácido nítrico reactivo puro y 75 ml de agua deionizada o destilada.
2. Solución de Acido Acético-Acido Fosfórico: Mezclar 900 ml de ácido acético con 300 ml de ácido fosfórico.
3. Gelatina - Cloruro de Bario: Disolver 0.3 g de gelatina (Difco Bacto Gelatin - DIFCO Laboratorios Inc. Detroit Mich.) en 100 ml de agua caliente (60-70°C) y enfríe la solución a 4°C. Después de 4 horas llevar el fluído semigelatinoso a la temperatura ambiente y agregar 18 g de Cloruro de Bario ($BaCl_2.2H_2O$) grado reactivo y agitar la mezcla hasta que el cloruro de bario esté disuelto. Agregar 1 ml de la solución de 320 ppm $S\text{-}SO_4$, agitar y llevar la solución a la nevera a 4°C por 16 horas. La solución debe estar a la temperatura ambiente por lo menos 2 horas antes de usarla.

C. Procedimiento:

1. Tomar 10 ml del filtrado (extracto de suelo).
2. Agregar 2.5 ml de ácido nítrico 25%.
3. Añadir 2 ml de la mezcla ácido acético - fosfórico, y agitar la muestra hasta que esté completamente homogénea.
4. Agregar 4.5 ml de agua deionizada o destilada.

5. Agregar 1 ml de la mezcla gelatina cloruro de bario y agitar bien hasta que la muestra esté bien homogénea.

6. Dejar en reposo por 70 minutos y luego agitar y leer a los 10 minutos el porcentaje de transmitancia en un colorímetro a 420 mu. Calcular el contenido de S-SO_4 en la alícuota analizada por referencia de una curva calibrada.

D. Preparación de Estándares de S:

Disolver 5.434 g de sulfato de potasio (K_2SO_4) grado reactivo en agua deionizada o destilada y diluir la solución a 1 litro. Un ml de esta solución contiene 1 mg de S-SO_4. Para la preparación de la curva pipetear 0, 8, 16, 32, 48, 64 y 80 ml de solución estándar de sulfato de potasio en volumétricos de 100 ml y ajustar el volumen con agua deionizada o destilada y agitar la mezcla. Las concentraciones son de 0, 80, 60, 320, 480, 640 y 800 ppm S. Luego pipetear alícuotas de 2 ml de los estándares anteriores en volumétricos de 50 ml y completar volumen con la solución extractora. De estas soluciones tomar 10 ml de cada una y seguir el procedimiento de la misma manera que para las muestras. Las concentraciones finales de estas soluciones son de 0, 1.6, 3.2, 6.4, 9.6, 12.8 y 16.0 ppm S.

E. Cálculos:

$$\text{Factor de Dilución (FD)} = \frac{50 \text{ ml}}{1000 \text{ ml}} \times \frac{1000 \text{ g}}{10 \text{ g}} \times \frac{20 \text{ ml}}{10 \text{ ml}} = 10$$

S disponible en el suelo (ppm) = ppm de S en la solución-muestra x 10.

3.9. DETERMINACIONES DE MICRONUTRIMENTOS.

3.9.1. Boro (B)*

A. Material:

Espectrofotómetro, bureta de 500 ml, pipeta 1 ml, vaso plástico de 250 ml, frascos plásticos de 50 ml, bureta de 50 ml,

* Dible *et al* (1954), Wear (1965).

plancha caliente, balanza, bomba de succión, embudos Buchner 5.5 cm ø, papel filtro 5.5 cm ø . Todo el material de vidrio debe ser de bajo o libre contenido de boro.

B. Reactivos:

1. Solución Curcumina-Acido Oxálico: Pesar 0.04 g de curcumina y 5 g de ácido oxálico en 100 ml de etanol del 96%.
2. Alcohol etílico del 96%.

C. Procedimiento:

Pesar 10 g de suelo en un vaso de vidrio libre de boro de 250 ml y agregar 20 ml de agua doblemente deionizada o destilada. Pesar vaso + contenido y colocar sobre plancha caliente por 5 minutos exactos desde el momento en que aparece el primer hervor. Pesar nuevamente y reponer el agua perdida por evaporación. Dejar enfriar y filtrar recibiendo el extracto en frascos plásticos . Tomar 1 ml de este filtrado en vaso plástico de 250 ml y agregar 4 ml de solución curcumina-ácido oxálico y evaporar en estufa $\pm$ 55°C durante 4 horas aproximadamente. En forma similar proceder con estándares de boro que varían entre 0.2 y 15 ug. A continuación, enfriar el vaso que contiene el residuo seco y añadir 25 ml de etanol del 96%. Agitar, filtrar y leer el color en un espectrofotómetro a 540 mu. Las muestras deben tomarse por triplicado.

D. Cálculos:

$$\text{Factor de Dilución (FD)} = \frac{20 \text{ ml}}{1000 \text{ ml}} \times \frac{1000 \text{ g}}{10 \text{ g}} = 2$$

Boro (ppm) = ppm solución x 2

E. Soluciones Estándares de Boro:

Pesar 0.572 g de ácido bórico (H_3BO_3) y disolver con agua doblemente deionizada o destilada para luego completar volumen a 1 litro con agua doblemente deionizada o destilada. Esta solución contiene 100 ppm de B, a partir de la cual tomar 10

ml y completar a volumen de 100 ml con agua doblemente deionizada o destilada, obteniéndose una concentración de 10 ppm de B. De esta solución tomar 1, 2.4, 6.8, 10 y 15 ml, respectivamente, en balones de 50 ml y diluir con agua doblemente deionizada o destilada obteniéndose concentraciones de 0.2, 0.4, 0.8, 1.2, 1.6, 2.0 y 3.0 ppm de B de los cuales tomar 1 ml y continuar con el mismo procedimiento indicado para una muestra de suelo. El estándar cero debe tomarse por triplicado.

3.9.2. Zinc (Zn), Cobre (Cu), Hierro (Fe)*

A. Material:

Vasos de extracción de 50 ml, agitador, pipeta automática de 20 ml, papel filtro 11 cm ø (Whatman No.42 o equivalente), frasco de vidrio para solución extractora.

B. Reactivo:

Solución Extractora (HCl 0.05N + H_2SO_4 0.025N): Mezclar cuidadosamente 50 ml de HCl 1N y 2.5 ml de H_2SO_4 10N llevando luego a volumen de 1 litro con agua doblemente deionizada o destilada.

C. Procedimiento:

1. Pesar 5 g de suelo seco al aire y tamizado con malla No.10 (2 mm.), transferir a un vaso de 50 ml. Añadir 20 ml de la solución extractora. La relación suelo-extractante es de 1:4.

2. Agitar por 15 minutos y filtrar usando papel filtro Whatman No.42 o equivalente.

D. Determinación:

Leer directamente, en el extracto obtenido, los elementos menores: Cu, Fe y Zn en un espectrofotómetro de absorción atómica. El factor de dilución común para estos microelementos es el siguiente:

$$\text{Factor de Dilución (FD)} = \frac{20 \text{ ml}}{1000 \text{ ml}} \times \frac{1000 \text{ g}}{5 \text{ g}} = 4$$

Zn, Cu, Fe, Mn (ppm) = ppm Zn, Cu, Fe, Mn en la solución x 4.

* Olsen y Dean (1965), Nelson *et al.* (1953) y Jackson (1964).

E. Preparación de Estándares de Elementos Menores:

Se emplean soluciones concentradas (1000 ppm Zn, Cu, Mn, Fe) ya preparadas comercialmente, a partir de las cuales se hacen soluciones diluídas.

1. Soluciones Estándares para Cobre (Cu) y Zinc (Zn):

ml* de 1000 ppm de Cu y Zn	Volumen final con agua doblemente deionizada o destilada	Concentración de Cu y Zn en ppm
	ml	
0.00	250	0.0
0.25	500	0.5
0.25	250	1.0
0.50	250	2.0
1.00	250	4.0

2. Soluciones Estándares para Hierro (Fe):

ml* de 1000 ppm de Fe y Mn	Volumen final con agua doblemente deionizada o destilada	Concentración de Fe en ppm
	ml	
0.00	250	0.0
0.25	250	1.0
0.50	250	2.0
1.00	250	4.0
1.50	250	6.0
2.50	250	10.0
5.00	250	20.0

* Estos mililitros de las soluciones de 1000 ppm de Cu, An y Fe pueden ir juntos en el mismo volumen.

4. METODOLOGIA ANALITICA PARA PLANTAS*

4.1. OBTENCION DEL EXTRACTO DE TEJIDO VEGETAL:**

El extracto de tejido vegetal resulta de la digestión de la muestra para determinar P, K, Ca, Mg, S y Al.

A. Material:

Tubos graduados de digestión Taylor de 50 ml, bureta con frasco, plancha caliente ubicada en campana con extractor para ácido perclórico.

B. Reactivos:

1. Acido Nítrico (65% analítico - grado reactivo)
2. Acido Perclórico (70% analítico - grado reactivo)
3. Acido Clorhídrico 6M : Tomar 500 ml de HCl concentrado y diluir a 1 litro con agua doblemente deionizada o destilada.

C. Procedimiento:

Pesar 0.25 g de tejido molido y seco en estufa (65°C por 24 horas) en tubos de digestión Taylor. Agregar 3 ml de ácido nítrico (HNO_3) y calentar a baja temperatura (150°C) en una plancha durante 30 minutos. Dejar enfriar durante 15 minutos y agregar 2 ml de ácido perclórico. Continuar el calentamiento a alta temperatura (200°C) durante 1 hora o más, hasta la aparición de humos blancos y obtener un líquido blanco. Dejar enfriar y agregar 3 ml de HCl 6M. Completar volumen a 50 ml con agua doblemente deionizada o destilada y agitar completamente. Esta solución constituye el extracto del tejido vegetal a partir del cual se determinan los elementos: fósforo, potasio, calcio, magnesio, azufre y aluminio.

4.2. DETERMINACIONES DE FOSFORO (P), POTASIO (K), CALCIO (Ca) Y MAGNESIO (Mg).

4.2.1. Fósforo (P):

Determinar colorimétricamente y en forma similar a lo indicado

* Johnson y Ulrich (1959), Sarruge y Haag (1974), Chapman y Pratt (1961), Hunter (1974).

** Sarruge y Haag (1974), Johnson y Ulrich (1959)

para suelos. El factor de dilución (FD) resulta de la siguiente relación:

$$\text{Factor de Dilución (FD)} = \frac{\text{ppm P}}{1000\ \text{ml}} \times \frac{50\ \text{ml}}{1000\ \text{ml}} \times \frac{100\ \text{g}}{0.25\ \text{g}} \times \frac{20}{2} = 0.2$$

% P = ppm P solución x 0.2.

4.2.2. Potasio (K).

A. Determinación:

Se lee directamente en el extracto obtenido usando la técnica de emisión de llama en el espectrofotómetro de absorción atómica usando llama aire-acetileno.

B. Estándares de Potasio (K):

Preparar una solución de 1.000 ppm K a partir de cloruro de potasio (KCl). Para ésto, tomar 10g del reactivo y secar en estufa a 105°C durante 1 hora. Una vez seco y frío pesar 1.91 g, disolver y diluir a 1 litro. A partir de esta solución, tomar alícuotas de 0, 2.5, 5, 10, 15, 20 y 30 ml diluyendo en 250 ml de agua doblemente deionizada o destilada. Las concentraciones finales serán de 0, 10, 20, 40, 60, 80 y 120 ppm K, respectivamente.

C. Cálculos:

El factor de dilución (FD) resulta de la siguiente relación:

$$FD = \frac{\text{ppm}}{1000} \times \frac{50\ \text{ml}}{1000\ \text{ml}} \times \frac{100\ \text{g}}{0.25\ \text{g}} = 0.02$$

% K = ppm K en solución x 0.02

4.2.3. Calcio (Ca):

Su determinación es similar a la descrita en suelos y el factor de dilución (FD) resulta en este caso de la siguiente relación:

$$FD = \frac{ppm}{1000} \times \frac{50\ ml}{1000\ ml} \times \frac{100\ g}{0.25\ g} \times \frac{20}{2} = 0.2$$

% Ca = ppm de Ca en solución x 0.2.

4.2.4. Magnesio (Mg):

Su determinación es similar a la descrita en suelos, y el factor de dilución (FD) resulta en este caso de la siguiente relación:

$$FD = \frac{ppm}{1000} \times \frac{50\ ml}{1000\ ml} \times \frac{100\ g}{0.25\ g} \times \frac{20}{2} = 0.2$$

% Mg = ppm de Mg en solución x 0.2.

4.3 DETERMINACION DE AZUFRE (S).*

A. Material:

Tubos colorimétricos, pipetas de 10 ml, pipetas de 1 ml, colorímetro.

B. Reactivos:

1. Solución de Gelatina (Difco Bacto Gelatin, DIFCO Laboratories Inc, Detroit Michigan, USA: Disolver 0.6 g de gelatina en 200 ml de agua doblemente deionizada o destilada caliente (60-70°C) y enfriar la solución a 4°C. Después de 4 horas llevar el fluído semigelatinoso a la temperatura ambiente. Agregar 2 g de cloruro de bario de grado reactivo ($BaCl_2.2H_2O$) y agitar la mezcla hasta que el cloruro de bario esté disuelto. Llevar la solución a la nevera a 4°C por 16 horas antes de usarla. Esta solución puede ser refrigerada y utilizada hasta tres días después de preparada.

---

* Tabatabai y Bremner (1970), The Sulphur Institute (1968), Fox et al.(1964).

C. Procedimiento:

Tomar 10 ml del extracto de tejido vegetal en tubos colorimétricos, agregar 10 ml de agua deionizada o destilada y mezclar. Agregar 1 ml de la solución de gelatina-cloruro de bario y agitar. Leer el porcentaje de transmitancia en un colorímetro a 420 mu, después de 80 minutos. El factor de dilución (FD) resulta de:

$$FD = \frac{ppm}{1000} \times \frac{50\ g}{1000\ ml} \times \frac{100\ g}{0.25\ g} \times \frac{20}{10} = 0.04$$

% S = ppm de S en solución x 0.04.

D. Preparación de Estándares de Azufre (S):

Disolver 5.434 g de sulfato de potasio (K_2SO_4) grado reactivo en agua deionizada o destilada y diluir la solución a 1 litro. Un ml de esta solución contiene 1 mg de S-sulfato (1.000 ppm de S-SO_4) a partir de la cual preparar estándares de 0, 40, 80, 160, 240, 320 y 400 ppm de S-SO_4, tomando alícuotas de 0, 4, 8, 16, 24, 32 y 40 ml y diluyendo en balones de 100 ml con agua doblememente deionizada o destilada. Luego de preparar estos estándares, se toman alícuotas de 2 ml en tubos Taylor, se agregan 3 ml de ácido nítrico y se continúa con el mismo procedimiento empleado para las muestras. La concentración que queda en los tubos Taylor será de 0, 1.6, 3.2, 6.4, 9.6, 12.8 6 16.0 ppm S-SO_4, respectivamente. Luego se transfieren 10 ml de estos estándares a tubos colorímétricos y se continúa con el mismo procedimiento que para las muestras, teniendo concentraciones finales de 0, 0.8, 1.6, 3.2, 4.8, 6.4, 8.0 ppm de S-SO_4, respectivamente.

4.4. DETERMINACIONES DE ALUMINIO (Al).*

A. Material:

Tubos de ensayo graduados de 25 ml, pipetas de 2 ml, pipetas de 1 ml, pipetas de 5 ml, baño de agua hirviendo, colorímetro.

* Chenery (1948), Plant Stress Laboratory, USDA ARS (1975).

B. Reactivos:

1. Fenolftaleina: Disolver 1 g en 60 ml de etanol absoluto y completar a volumen de 100 ml con agua doblemente deionizada o destilada.

2. Hidróxido de Amonio (NH_4OH): Diluir 10 ml de NH_4OH concentrado en 100 ml de agua doblemente deionizada o destilada.

3. Aluminon: En vasos separados disolver 0.1 g del reactivo "Aluminon" (ammonium-aurine tricarboxilate, $C_{22}H_{23}N_3O_9$), 20 g de goma acacia y, 267 g de acetato de amonio en agua doblemente deionizada o destilada. Cuando estén disueltos, mezclar y agregar 254 ml de HCl concentrado. Filtrar y diluir a 2 litros.

4. Acido Tioglicólico 1%: Tomar 1 ml de ácido tioglicólico de grado reactivo, y diluir con agua doblemente deionizada o destilada hasta 100 ml.

C. Procedimiento:

Transferir 2 ml del extracto a un tubo de ensayo graduado de 25 ml. Agregar 2-3 gotas de fenolftaleina y luego hidróxido de amonio hasta la aparición de un color rosado. Diluir a 10 ml con agua doblemente deionizada o destilada y agregar 1 ml de la solución de ácido tioglicólico al 1%. Mezclar y agregar 5 ml de solución de "aluminon". Mezclar nuevamente y ajustar pH a 4.2 con la solución de NH_4OH. Calentar en un baño de agua hirviendo durante 16 minutos. Enfriar durante hora y media como mínimo y completar a volumen de 25 ml con agua doblemente deionizada o destilada. Mezclar completamente y leer transmitancia a 537 mu. El factor de dilución (FD) resulta de la siguiente relación:

$$FD = \frac{50 \text{ ml}}{1000 \text{ ml}} \times \frac{1000 \text{ g}}{0.25 \text{ g}} \times \frac{25 \text{ ml}}{2} = 2500$$

Al (ppm) = ppm Al en la solución x 2500.

D. Preparación de Estándares de Aluminio (Al):

Pesar 8.95 g de cloruro de aluminio ($AlCl_3.6H_2O$), disolver en agua doblemente deionizada o destilada y completar volumen a 1 litro. Esta solución contiene 1000 ppm Al. A partir de esta solución preparar 2 soluciones conteniendo 50 y 100 ppm de Al. Para ésto, tomar 12,5 y 25 ml de la solución 1000 ppm Al y diluir a 250 ml con agua doblemente deionizada o destilada. De estos nuevos estándares transferir diferentes alícuotas indicadas en la Tabla 5., a tubos Taylor de 50 ml y seguir el procedimiento en forma similar a la muestra.

Tabla 5. Preparación de Estándares de Aluminio.

ml de 50 ppm Al en tubos Taylor de 50ml	ppm de Al en los tubos Taylor	ppm Al tomando 2 ml de digestado en 25 ml
0	0	0
1	1	0.08
2	2	0.16
4	4	0.32
ml de 100 ppm Al en tubos Taylor de 50 ml	**ppm de Al en los tubos Taylor**	**ppm Al tomando 2 ml de digestado en 25 ml**
3	6	0.48
4	8	0.64
5	10	0.80

4.5. DETERMINACION DE NITROGENO. *

A. Material:

Tubos de digestión, bloque de digestión a 370°C, microdestilador, bureta con frasco de 50 ml, Erlenmeyers de 125 ml.

B. Reactivos:

1. Hidróxido de Sodio al 50%

* Bremner (1965).

2. Solución de Acido Bórico al 4%, la cual contiene 5 ml de solución de indicador mixto/litro.

3. Indicador Mixto: Pesar 0.5 g del indicador verde bromocresol y 0.1 g del indicador rojo de metilo en 100 ml de alcohol etílico del 96%.

4. HCl 0.02N : Preparar a partir de HCl 1N tomando 20 ml y diluyendo con agua doblemente deionizada o destilada a 1 litro.

5. Acido sulfúrico concentrado.

6. Catalizador: 0.5 g de selenio y 100 g de Na_2SO_4 se mezclan hasta que queden bien compactos.

C. Procedimiento:

1. Pesar 0.1 g de muestra en un tubo de digestión.
2. Agregar una porción del catalizador.
3. Agregar 4 ml de ácido sulfúrico concentrado.
4. Digerir la muestra en bloques a 370°C durante 30 minutos.
5. Dejar enfriar y agregar un poco de agua deionizada.
6. Pasar cuantitativamente el contenido del tubo a un microdestilador enjuagando con agua deionizada o destilada.
7. Agregar 20 ml de la solución de hidróxido de sodio al 50% y destilar recibiendo el destilado en una solución de ácido bórico al 4%.
8. Titular el destilado con HCl 0.02N hasta obtener un color gris claro.

NOTA: Al preparar las soluciones debe incluirse un control que contiene todos los reactivos menos la muestra. Luego de la tilulación, los mililitros gastados con este control deben tomarse en cuenta para restarlos a las muestras.

D. Cálculos:

$$\% N = V-B \times 0.02 \times 0.014 \times \frac{100}{0.1}$$

Donde: V = ml gastados de HCl 0.02N en la muestra
B = ml gastados de HCl 0.02N en el control
0.02 = normalidad del HCl
0.014 = peso equivalente del nitrógeno
$\frac{100}{0.1} = \frac{\text{relación porcentual}}{\text{peso de la muestra}}$

4.6. DETERMINACION DE MICRONUTRIMENTOS (Zn, Cu, Fe, Mn, Na)*.

4.6.1. Obtención del Extracto de Tejido Vegetal:

A. Materiales:

Tubos de digestión Taylor graduados 12.5, 25, 37.5 y 50 ml, buretas de 50 ml con frasco, plancha caliente para tubos.

B. Reactivos:

Mezcla Acido Nitro-Perclórico: Mezclar 1 litro de ácido nítrico (NHO_3) 65% analítico-grado reactivo con 500 ml de ácido perclórico ($HClO_4$) 70%, la relación entre ácidos es 2:1.

C. Procedimiento y Determinación de Micronutrimentos (Zn, Cu, Fe, Mn, Na):

Pesar 0.5 g de tejido vegetal molido y seco en tubos de digestión Taylor y agregar 5 ml de la mezcla ácido nitro-perclórico. Colocar los tubos en un bloque de aluminio y calentar a una tasa tal, que el ácido nítrico sea expelido en 35 a 40 minutos, teniendo en cuenta que la temperatura final no debe exceder 220°C. Luego que el ácido perclórico haya reaccionado y aparezcan humos blancos, retirar los tubos y enfriar. Diluir a 12.5 ml con agua doblemente deionizada o destilada y esta solución constituye el extracto.

* Baker y Smith (1973), Sarruge y Haag (1974), Chapman y Pratt (1961).

Los elementos Zn, Cu, Fe, Mn y Na son determinados en forma similar a la indicada en su determinación en suelos. El factor de dilución (FD) común resulta de la siguiente relación:

$$FD = \frac{12.5 \text{ ml}}{1000 \text{ ml}} \times \frac{1000 \text{ g}}{0.5 \text{ g}} = 25$$

Zn, Cu, Fe, Mn, Na (ppm) = ppm Zn,Cu,Fe,Mn,Na en la solución x 25.

4.6.2. Determinación de Boro (B). *

A. Material:

Crisoles de porcelana, mufla, varillas protegidas en su extremo con tubo de goma, embudos, bureta de 100 ml.

B. Reactivos:

Preparar una solución de HCl 0.1N tomando 8.3 ml de HCl concentrado (reactivo puro) y diluyendo en 1 litro. El resto de reactivos son los mismos empleados en suelos.

C. Procedimiento:

Pesar 0.5 g de tejido vegetal molido y seco en crisoles de porcelana e incinerar en una mufla a 550°C durante 2 horas. Enfriar el crisol y contenido y añadir 10 ml de HCl 0.1N triturando el residuo mediante una varilla. Filtrar y proceder tal como se indica en suelos. El factor de dilución (FD) es el siguiente:

$$FD = \frac{10 \text{ ml}}{1000 \text{ ml}} \times \frac{1000 \text{ g}}{0.5 \text{ g}} = 20$$

Boro (ppm) = ppm B en solución x 20.

NOTA: Los estándares de boro son los mismos que para suelos.

* Dible *et al.* (1954).

4.7. DETERMINACION DE SILICE CRUDA.

A. Material:

Tubos Taylor de 50 ml, crisol Gooch de porcelana, planchas para tubos, mufla, asbesto, balanza, vasos de 250 ml, Erlenmeyers de vacío.

B. Reactivo:

Acido nítrico - Acido perclórico en una relación de 2:1.

C. Procedimiento:

1. Pesar 0.5 g de tejido vegetal en tubos Taylor.
2. Agregar 5 ml de ácido nítrico-perclórico relación 2:1.
3. Digerir la muestra en plancha caliente.
4. Transferir la solución digerida a un vaso de 250 ml lavando bien el tubo.
5. Preparar un Erlenmeyer de vacío introduciendo un crisol Gooch de porcelana con capa de asbesto (el crisol debe ser pesado previamente).
6. Tomar el contenido del vaso y filtrar a través del crisol Gooch de porcelana con capa de asbesto y lavar con abundante agua hasta obtener un "test negativo a ácido". Luego incinerar en una mufla a la temperatura de 550°C durante 2 horas. Dejar enfriar y pesar.

D. Cálculos:

$$\% \text{ Silice Cruda} = \frac{\text{Peso de la muestra seca en la mufla}}{0.5 \text{ g} = \text{peso de la muestra}} \times 100$$

5. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

Allison, L.E. 1965. Organic Carbon. pp. 1367-1368. In C.A. Black (ed), Methods of Soil Analysis. Part 2. Chemical and Microbiological Properties. Amer. Soc. Agr., Madison, Wisconsin.

Baker, A.S. y R.R. Smith. 1973. Preparation of solutions for atomic absorption analyses of Fe, Mn, Zn, and Cu in plant tissue. J. Agr. Food Chem. 22:103.

Bartlett, F.D. y J.R. Weller. 1960. Turbidimetric determination of sulfate-sulfur in soil extracts. Soil Sci. 90:201-204.

Bornemisza, E., M. Constenla, A. Alvarado, E.J. Ortega, y A.J. Vasquez. 1979. Organic carbon determination by the Walkley-Black and Dry Combustion Methods in surface soils and Andept Profiles from Costa Rica. Soil Sci. Soc. Am. J. 43.78.83.

Bray, R:H. and L.T. Kurtz. 1945. Determination of total, organic, and available forms of phosphorus in soil. Soil Sci. 59:39-45.

Bremner, J.M. 1965. Total Nitrogen. pp. 1149-1178. In C.A. Black (ed.), Methods of Soil Analysis. Part 2. Chemical and Microbiological Properties. Amer. Soc. Agr., Madison, Wisconsin.

Chapman, H.D. 1965. Cation-Exchange Capacity. pp. 891-901. In C.A. Black (ed.), Methods of Soil Analysis. Part 2. Chemical and Microbiological Properties. Amer. Soc. Agr., Madison, Wisconsin.

Chapman, H.D. y P.F. Pratt. 1961. Methods of Analysis for Soils, Plants and Waters. University of California, Division of Agricultural Sciences, Riverside.

Chenery, E.M. 1948. Thioglycolic acid as an inhibitor for iron in the colorimetric determination of aluminum by means of aluminom. Analyst 73:501-502.

Coleman, N.T. y G.W. Thomas. 1967. The basic chemistry of soil acidity. Agron. Monogr. 12:1-41.

Cline, M.G. 1944. Principles of soil sampling. Soil Sci. 58:275-288.

Dewis, J. and F. Freitas. 1970. Physical and chemical methods of soil and water analysis. FAO Soil Bull. No.10, Roma.

Dible, W.T., W. Truog, and K.C. Berger. 1954. Boron determination in soils and plants. Simplified curcumin procedure. Anal. Chem. 26:418-421.

Ensminger, L.E. 1954. Some factors affecting the adsorption of sulfate by Alabama soils. Soil Sci. Amer. Proc. 18:259-264.

Fox, R.L., R.A. Olsen, and H.F. Rhoades. 1964. Evaluating the sulfur status of soils by plant and soil tests. Soil Sci. Soc. Amer. Proc. 28:243-246.

Gardner, W.H. 1965. Water Content. pp. 82-127. In C.A. Black (ed.) Methods of Soil Analysis. Part 1. Physical and Mineralogical Properties. Amer. Soc. Agr., Madison, Wisconsin.

Hausenbuiller, R.L. 1957. Sampling saline and alkaly soils for laboratory analysis. Washington Agr. Exp. Sta. Cir. 303. 6 p.

Hunter, A.H. 1974. Laboratory analysis of plant tissue samples. International Soil Fertility Evaluation and Improvement, Raleigh, N.C. 5 p.

Jackson, M.L. 1964. Analisis Químico de Suelos. Omega, Barcelona, España. 662 p.

Johnson, C.M. and A. Ulrich. 1959. Analytical Methods. California Agr. Exp. Sta. Bull. 766.

Jones, J.B. y W.J.A. Steyn. 1973. Sampling, Handling and Analyzing Plant Tissue Samples. pp. 249-270. In L.M. Walsh y J.D. Beaton (eds.), Soil Testing and Plant Analysis. Soil Sci. Amer., Madison, Wisconsin.

Lin, C. and N.T. Coleman. 1960. The measurement of exchangeable aluminum in soils and clays. Soil Sci. Soc. Amer. Proc. 24:444-446.

Massoumi, A. and A.H. Cornfield. 1963. A rapid method for determining sulphate in water extracts of soil. Analist 88:321-322.

McGaveston, D.A. and J.P. Widdowson. 1978. Comparison of six extractants for determining available phosphorus in soils form the Kingdom of Tonga. Trop. Agric. (Trinidad) 55:141-148.

Minor, R.S. 1957. Physical measurements. Part I. Berkeley, California. 180 p.

Murphy, J. and J. Riley. 1963. A modified single solution method for the determination of phosphate in natural waters. Anal. Chem. Acta 27:31-35.

Nelson, W.L., A. Mehlich, and E. Winters. 1953. The development, evaluation and use of soil tests for phosphorus availability. Agron. 4:153-188.

Olsen, S.R., C,V. Cole, F.S. Watanabe, and L.A. Dean. 1954. Estimation of available phosphorus in soils by extraction with sodium bicarbonate. USDA Circular 939:1-19.

Olsen, S.R. and L.A. Dean. 1965. Phosphorus. In C.A. Black (ed.), Methods of Soil Analysis. Part 2. Chemical and Microbiological Properties. Amer. Soc. Agr., Madison, Wisconsin.

Olson, A.R., C.R. Koch y G.C. Pimentel. 1956. Introductory Quantitative Chemistry. Freeman & Co., San Francisco. 470 p.

Peck, T.R. y S.W. Melsted. 1973. Field Sampling for Soil Testing. In Walsh, L.M. y J.D. Beaton (ed.), Soil Testing and Plant Analysis - Revised Edition. Soil Sci. Soc. of America , Inc. Madison, Wisconsin, U.S.A. 491 p.

Peech, M., L.T. Alexander, L.A. Dean and J.F. Reed. 1947. Methods of Soil Analysis for Soil Fertility Investigations. USDA Circular 757. 25 p.

Peech, M. 1965. Hydrogen-Ion Activity, pp.914-926. In C.A. Black (ed.), Methods of Soil Analysis. Part 2. Chemical and Microbiological Properties. Amer. Soc. Agr., Madison, Wisconsin.

Petersen, R.G. y L.D. Calvin. 1965. Sampling. In C.A. Black et al.(eds.) Methods of Soil Analysis. Agronomy No.9. Part I. American Society of Agronomy, Inc. Madison, Wisconsin, U.S.A. 770 p.

Plant Stress Laboratoty, USDA-ARS. 1975. The aluminom procedure for determining aluminum in plant tissue. Beltsville, Maryland. 5 pp.

Pratt, P.F. and F.L. Bair. 1961. A comparison of three reagents for the extraction of aluminum from soils. Soil Sci. 91:357-359.

Reed, J.F. y J.A. Rigney. 1947. Soil sampling from fields of uniform and non-uniform appearance and soil types. Jour. Amer. Soc. Agron. 39:26-40.

Richards, L.A. 1954. Diagnosis and improvement of saline and alkali soils. U.S. Salinity Laboratory, USDA Handbook 60.

Sanchez, P.A. 1976. Properties and Management of soils in the Tropics. Wiley, New York. pp. 135-160.

Sarruge, J.R. and H.P. Haag. 1974. Analises químicas em plantas. E.S.A. Luiz de Queiroz, Piracicaba, Sao Paulo, Brasil. 56 p.

Steel, R.G. y J.H. Torrie. 1960. Principles and procedures of statistics. McGraw-Hill, New York. 481 p.

Steyn, W.J.A. 1959. Leaf analysis. Errors involved in the preparative phase. J. Agr. Food Chem. 7:344-348.

Tabatabai, M.A. and J.H. Bremner. 1970. A simple tubidimetric method of determining total sulfur in plant materials. Agr. J. 62:805-806.

Tabatabai, M.A. and J.M. Bremner. 1972. Distribution of total and available sulfur in selected soils and soil profiles. Agr. J. 64:40-44.

The Sulphur Institute. 1968. Determination of sulphur in soil and plant material. Tec. Bull. 14:36-40.

Uehara, G. y J. Keng. 1975. Management implications of soil mineralogy in Latin America. pp. 351-363. In E. Bornemisza y A. Alvarado (eds.), Soil Management in Tropical America. North Carolina State University, Raleigh.

Walkley, A., and I.A. Black. 1934. An examination of the Degtjareff method for determining soil organic matter and a proposed modification of the chromic acid titration method. Soil Sci. 37:29-38.

Wear, J.I. 1965. Boron. pp. 1059-1063. In C.A. Black (ed.), Methods of Soil Analysis. Part 2. Chemical and Microbiological Properties. Amer. Soc. Agr. Madison, Wisconsin.

Suelos Oxisoles y Ultisoles

1. Los suelos del trópico y la crisis mundial de alimentos. Sânchez, P.A. y Satanley, W.B.

2. Criterios para clasificación de suelos egún la séptima aproximación en las tres categorias superiores, Knox, G.E. (Adaptación al castellano por Maldonado, P.F.)

3. Referencias bibliográficas sobre nutrición mineral en forrajes y química de suelos.

LOS SUELOS DEL TROPICO Y LA CRISIS MUNDIAL DE ALIMENTOS [1/]

Pedro A. Sánchez y Stanley W. Buol

Seminario del CIAT
21 de Abril, 1977

La expresión "suelos tropicales" tiene los más diversos signigicados entre los especialistas y profesionales de diversas disciplinas. Las generalizaciones extremas que se hacen de suelos de áreas tropicales, han conducido a muchos conceptos erróneos acerca del potencial del trópico para la producción de alimentos. En las últimas dos décadas se ha aprendido mucho acerca de las propiedades y manejo de estos suelos. El objetivo de este artículo es el de esbozar las propiedades sobresalientes de los suelos del trópico y el papel que juegan en la producción mundial de alimentos.

Los suelos tropicales se pueden definir cuantitativamente, sólo como aquellos suelos que carecen de variaciones considerables de temperatura del verano al invierno; es decir la diferencia entre la temperatura media de verano y la temperatura media del invierno a una profundidad de 50 centímetros es menor de 5°C (1, 2). Además de esto, las condiciones responsables de la formación del suelo son tan diversas en el trópico

---

[1/] Traducido de la revista Science 188: 593-603. 1975.

como en las regiones templadas. Las rocas, material parental de los suelos, son las mismas en ambas regiones. Los patrones de erosión y sedimentación no son marcadamente distintos entre las dos regiones geográficas. Tanto en las regiones tropicales como en las templadas, el tiempo de formación del suelo en cualquier superficie geomórfica puede oscilar entre ayer en las planicies inundables o suelos volcánicos recientes, hasta un tiempo indeterminado en las superficies más estables. En ambas zonas existen condiciones climáticas áridas y húmedas, calientes y frías. En consecuencia, la expresión "suelos tropicales", al igual que su corolario "suelos templados", no da cuenta de la gran mayoría de las propiedades de estos suelos.

A pesar de que la formación del suelo en las regiones tropicales no es diferente en tipo de la formación del suelo en las zonas templadas (3), la magnitud de la extensión de ciertos patrones de formación del suelo es significativamente diferente. La superficie de gran parte de la zona templada del norte fue trabajada por la glaciación del Pleistoceno y cubierta por mantos gruesos de loess. Estos procesos influyeron sobre la edad de los suelos, y al material parental se le adicionó un componente del tamaño del limo (2-50 micrómetros) que no se encuentra con frecuencia en las áreas tropicales. Gran parte de los suelos del trópico se han formado a partir de materiales que han sido trabajados desde el Precámbrico por los procesos de erosión superficial y sedimentación que meteorizan el material intensivamente. A pesar de que la extensión

superficial de los depósitos recientes de cenizas volcánicas es mayor en el trópico, en la región templada existe una mayor proporción de suelos relativamente más jóvenes.

Las generalizaciones que se hagan más allá de estas afirmaciones, empiezan a perder precisión. Las afirmaciones que indican que la laterita y los suelos lateríticos prevalecen en el trópico, y que los suelos tropicales tienen bajos contenidos de materia orgánica, son dos generalizaciones que tienden a obstaculizar el conocimiento de las condiciones de los suelos tropicales.

La Exageración Acerca de la Laterita

Probablemente no existe un concepto más erróneo que la existencia de un proceso único de formación de los suelos tropicales que conduce a la formación laterita. Cuando los edafólogos europeos y americanos viajaron al trópico durante el siglo XIX, se intrigaron por la presencia de la laterita. De regreso a sus países, escribieron y comunicaron aspectos de este fenómeno. A su vez, se ignoraron vastas regiones del trópico con suelos similares a los que se encuentran en las regiones templadas. En consecuencia, surgió la idea de que los suelos tropicales son los que tienen un alto contenido de sesquióxidos y que se endurecen irreversiblemente al quedar expuestos. Los latosoles y suelos lateríticos erróneamente se conocieron como suelos en el proceso de desarrollo hacia lateritas. Incluso en publicaciones relativamente recientes en revistas científicas muy conocidas (4), se concluye que cuando a la gran

mayoría de los suelos tropicales se les despoja de la vegetación, se convierten en pocos años en pavimento de ladrillo inservible. Algunos naturalistas se refieren a los suelos ligeramente meteorizados de áreas desérticas de la región templada como lateritas, debido à su color rojizo. Muchas de estas conclusiones erróneas se basan en el supuesto de que Buchanan (5) adoptó el término laterita debido al color rojo del suelo, mientras que lo que realmente quiso indicar fue su uso como material de construcción.

En 1933, Hardy (6) indicó que las lateritas tienen una extensión limitada en el trópico. No se tienen estimativos confiables para la totalidad del trópico que indiquen la extensión de los suelos que se transforman en lateritas al quedar expuestos. Apreciaciones regionales indicadas por algunos edafólogos y calculadas con base en mapas, proporcionan los siguientes estimativos de la ocurrencia de lateritas: 2 por ciento para América tropical (7), 5 por ciento para Brasil central (8), 7 por ciento para la parte tropical del subcontinente indiano (3), 11 por ciento del Africa tropical (3) y 15 por ciento para el Africa Occidental al sur del Sahara (9). Con base en estos y otros estimativos, se calcula que el área total del trópico en el que se pueden encontrar lateritas en/o cerca de la superficie del suelo es del orden del 7 por ciento. Además, la laterita o plintita se presenta en posiciones predecibles en el paisaje, no sólo en el trópico sino también en el sureste de los Estados Unidos (10). Es importante recordar que la laterita sólo se forma en el subsuelo.

Marbut (11) indicó que "En ningún caso se encontró el horizonte de concentración de hierro en la superficie, donde la situación local no fue tal que indicara claramente que había sido expuesto por la erosión". En consecuencia, este problema no afecta a la gran mayoría de los suelos del trópico, e incluso no es un problema a no ser que la erosión esponga la capa de plintita rica en hierro. En zonas donde ocurre laterita, esta se usa como un recurso natural para construcción de carreteras.

Hace aproximadamente 20 años, Carter y Pendleton (12) afirmaron:

> "El concepto de un proceso tropical se enfocó con base en el término "laterita". La laterita fue y es un rasgo, algo específico, y no un proceso. El proceso fue inventado por aquellos que nunca habían visto el rasgo y quienes, aún peor, lo aplicaron a toda clase de fenómenos supuestamente, pero no realmente similares a la laterita como se describió originalmente."

En un intento por confinar el término "laterita" a su definición original, actualmente se utiliza en la taxonomía de suelos el término plintita, que significa material de suelo, rico en hierro y con bajo contenido de humus que se endurece por el proceso secuencial de lluvias y sequía (13).

Contenido de Materia Orgánica en el Suelo

El color rojo de los suelos en muchas áreas tropicales contrasta con el color de los suelos en las partes más frías de la zona templada. La conclusión inmediata a la que frecuentemente se llega, es que el contenido de materia orgánica en los suelos tropicales es bajo. Sin embargo, al comparar el contenido de carbón orgánico de 16 Mollisoles, Alfisoles

y Ultisoles bien drenados de los Estados Unidos y escogidos al azar, con el de un mismo número de Oxisoles, Alfisoles y Ultisoles del Brasil y Zaire también escogidos al azar, se encontraron algunas contradicciones básicas con las creencias comunes. El contenido promedio de materia orgánica en el primer metro de profundidad fue de 1,11 por ciento para los Mollisoles negros de los Estados Unidos y 1,05 por ciento para los Oxisoles rojos altamente meteorizados de Brasil y Zaire. Los Mollisoles y Oxisoles son los principales suelos de las praderas templadas y tropicales de América, respectivamente. Los Alfisoles gris-marrón de los Estados Unidos presentaron 0,52 por ciento de carbón orgánico, en tanto que los Alfisoles rojizos del trópico presentaron 0,54 por ciento de carbón orgánico. Los Ultisoles rojizos de la zona templada presentaron 0,40 por ciento de carbón orgánico, y los Ultisoles rojizos del trópico 0,66 por ciento (14). Ninguna de estas diferencias entre los suelos tropicales y templados son agronómica o estadísticamente significativas. A pesar de que el contenido de materia orgánica es bajo en muchos suelos africanos, en términos generales es mayor que en suelos del sureste estadounidense o de las áreas desérticas de U.S. que presentan promedios anuales de temperatura y precipitación similares a los de las regiones africanas.

Esta similitud entre los suelos tropicales y templados se puede entender en términos de los regímenes de temperatura y humedad, y de la regla empírica que indica que por cada aumento de 10°C de temperatura,

la tasa de actividad biológica se duplica. En las regiones templadas, las bajas temperaturas del invierno reducen en gran medida la actividad biológica. En el 78 por ciento del trópico, que presenta una estación seca pronunciada con una duración de por lo menos 90 días, la ausencia de humedad durante este período ejerce un efecto similar. Las temperaturas de la superficie del suelo y del aire durante las estaciones lluviosas en el trópico, son similares a, pero rara vez tan altas como, las temperaturas de verano correspondientes en las regiones templadas. Para el 22 por ciento del trópico donde se presenta alta precipitación y sin estación seca, la explicación es algo diferente. La mayoría de estas áreas se encuentran cubiertas por bosques húmedos tropicales. Las condiciones de temperatura y humedad en ninguna época limitan la acumulación de materia orgánica y su descomposición. Estos bosques producen aproximadamente cinco veces la cantidad de biomasa y materia orgánica del suelo por año, que bosques comparativos de la zona templada. Sin embargo, la tasa de descomposición de la materia orgánica también es aproximadamente cinco veces mayor que la que se presenta en los bosques templados (15). En consecuencia, los contenidos de equilibrio son similares.

Los Suelos del Trópico

Las condiciones climáticas o los patrones de distribución de los suelos no son de manera alguna uniformes en el trópico. Se pueden distinguir cuatro zonas ecológicas principales: las sabanas y praderas

que cubren aproximadamente el 49 por ciento de la extensión; los bosques siempre verdes que cubren el 24 por ciento; y las áreas desérticas y semidesérticas, que cubren el 16 y 11 por ciento, respectivamente (16). Aproximadamente el 23 por ciento del trópico se encuentra a 900 metros por encima del nivel del mar; estas áreas constituyen las tierras altas tropicales.

Dentro de los límites de un sólo artículo, a la discusión de un tema tan amplio como el de los suelos del trópico se necesita hacer algunas generalizaciones. Asumiendo este riesgo, se indicarán las principales diferencias entre los suelos en la zona tropical, y algunos ejemplos de las variaciones que se presentan dentro de cada uno de los principales tipos.

Las sabanas tropicales son una tentación para el desarrollo agrícola debido a que se pueden despojar fácilmente de su vegetación, y en la actualidad se encuentran subutilizadas. En el trópico americano y africano, y en menor grado en el trópico asiático y australiano, se encuentran extensas sabanas; una observación superficial indica que en todas estas regiones se encontrarían problemas similares en los suelos. Es común a estas sabanas una estación seca de por lo menos tres meses y una quema anual. Un examen más detallado de los suelos indica que las sabanas en Africa Occidental y Oriental presentan un buen contenido de bases, en tanto que los de Sur América por lo general son escasos en bases. Las variaciones en el trópico americano frecuentemente resultan

en la presencia de bosques semideciduos entre-mezclados con las sabanas, en regiones donde la roca parental presenta una composición básica y donde se encuentra una gran cantidad de bases en el suelo.

En el trópico americano por lo general se requiere suplementar calcio y fósforo a las praderas para el pastoreo de ganado, con el fin de evitar la ruptura de huesos, debido a que el calcio y fósforo son deficientes en estos suelos y, por consiguiente, en la vegetación de las praderas. Mientras que en el trópico americano evolucionaron pocos mamíferos grandes, en Africa y en las praderas templadas evolucionaron vastos hatos de mamíferos grandes. Esto sugiere que la deficiencia de calcio y fósforo del suelo en las sabanas del trópico americano imposibilitó la evolución de mamíferos grandes. Los proyectos de desarrollo agropecuario en estas sabanas tendrán que poner mayor atención al suministro de bases, que proyectos similares en Africa.

Los bosques tropicales frecuentemente se consideran como áreas agropecuarias potencialmente viables. Los proponentes de lo anterior se apoyan en las condiciones de precipitación y temperatura o, más ingenuamente, en el volumen de biomasa presente. Los suelos de estas áreas varían en gran medida. La densidad del bosque húmedo tiende a presentar poca respuesta a las condiciones del suelo, aunque las variaciones en composición frecuentemente se relacionan con las variaciones del suelo. Dependiendo de la composición del material parental, las condiciones del suelo son muy similares a las que se encuentran en las

áreas de bosques de la zona templada que no fue afectada por las glaciaciones. En las áreas donde los materiales parentales son acidógenos, los suelos son muy similares a los del sureste estadounidense y tienen los mismos problemas de baja retención de cationes, alta acidez y alto contenido de aluminio intercambiable. Las áreas donde los suelos se derivan de materiales parentales básicos, tienden a ser menos ácidos y frecuentemente neutros. En todas las áreas de bosque, el total de nutrientes disponibles está ligado a la biomasa y altamente restringido en un ciclo cerrado de nutrimentos. Son abundantes las planicies inundables recientes que reciben sedimentos fértiles, pero rara vez se encuentran lo suficientemente próximas para sostener algo más que una explotación de subsistencia.

La agricultura migratoria es muy común en muchas de estas áreas. Los agricultores utilizan la acumulación de nutrimentos de varios años de biomasa en especies resistentes no comerciales, para fertilizar cultivos agrícolas durante 1-3 años. El fuego, que se utiliza para limpiar el terreno, acelera la liberación de los nutrimentos que se encuentran orgánicamente ligados, lo cual proporciona a los agricultores lo necesario para la producción rápida del cultivo.

Las áreas desérticas y semi-áridas del trópico, donde la precipitación anual es baja, se encuentran en todas las altitudes y bajo una gran diversidad de condiciones de temperatura. Los suelos con frecuencia son relativamente fértiles, y la única necesidad apremiante es la del riego.

En algunas de estas áreas pueden existir problemas de salinidad y alcalinidad. La población de estas áreas se encuentra dispersa, con excepción de los valles irrigados, los cuales muchos sostienen una actividad agrícola intensiva y moderna.

Las áreas volcánicas recientes y zonas de ladera en las tierras altas tropicales, son localidades donde prevalece la agricultura intensiva de subsistencia. A pesar de que los procesos de formación del suelo y muchas de las propiedades del mismo varían en gran medida, prevalece un principio pedogénico común: los materiales del suelo no han estado sujetos a un proceso de meteorización intensiva. Por lo tanto, estos suelos suministran suficientes nutrimentos para el crecimiento de un cultivo. La erosión que en la mayoría de las áreas está en detrimento de los suelos, es frecuentemente el mecanismo que despoja de la superficie del suelo el material mineral más meteorizado y escaso en bases, y que expone el material menos meteorizado.

Se requiere tener un mayor conocimiento de las similitudes y diferencias entre los suelos de las áreas tropicales y templadas, para valorar sus propiedades y extrapolar las prácticas de manejo. El desarrollo del sistema de taxonomía de suelos (2, 13), similar a la más conocida taxonomía animal y vegetal, ha contribuído mucho a esta tarea. Actuamente, los suelos se pueden agrupar y denominar con base en sus propiedades medibles, en lugar de las clasificaciones más viejas que se basan en diversas teorías de la génesis del suelo.

En este sistema, muchos suelos templados y tropicales similares se clasifican en las mismas clases a través del quinto nivel jerárquico (la familia del suelo), en el que los criterios de temperatura del suelo los separa. Algunas observaciones antiguas, tales como las de Marbut y Manifold en 1926 (17), quienes acertaron en el hecho de que los suelos predominantes en la Cuenca del Amazonas son similares a los del sureste estadounidense, actualmente se pueden comprobar cuantitativamente (18). La FAO también ha desarrollado un sistema abreviado (19) para la preparación del mapa mundial de suelos patrocinado por las Naciones Unidas. La nomenclatura es algo diferente para ajustar diversas preferencias nacionales, pero el efecto es similar. Actualmente, es posible tener un estimativo bastante preciso acerca de la extensión geográfica que ocupan los principales suelos del trópico, con base en mapas a escala pequeña (20, 21).

Suelos con Alto y Bajo Contenido de Bases

En el trópico, la agricultura primero se desarrolló en áreas de suelos con alto contenido de bases. Estos suelos, que en la actualidad se denominan Alfisoles, Vertisoles, Mollisoles y ciertos Entisoles e Inceptisoles (13), cubren aproximadamente el 18 por ciento del trópico (16). Los centros de población del trópico se encuentran en las áreas que presentan estos suelos. El impacto de los programas de la Revolución Verde se limita en gran parte a las áreas de suelo con altos niveles de bases, y especialmente en las que disponen de riego. Estos suelos se desarrollaron a partir de sedimentos aluviales o cenizas volcánicas ricas en calcio, magnesio y potasio. Presentan problemas ligeros o nulos con la acidez, y

en consecuencia, prácticamente no requieren inversión alguna en cal. Generalmente, el nitrógeno es el nutrimento más limitante. Se presentan deficiencias de fósforo, desordenes micronutricionales y problemas moderados de salinidad, pero todos se pueden corregir a bajo costo. En otras pa-

[illegible]

suministrar nutrimentos.

Un grupo [illegible]

un bajo contenido de bases y están altamente lixiviados. Actualmente [illegible] clasifican como Oxisoles, Ultisoles, algunos Inceptisoles y Entisoles arenosos. Ocupan aproximadamente el 51 por ciento del trópico (16), en vastas extensiones del interior de Sur América y Africa Central, y extensiones más pequeñas en las regiones montañosas del sureste asiático. Por lo general, estos suelos presentan deficiencias de bases y frecuentemente presentan problemas de toxicidad de aluminio. Las deficiencias de fósforo frecuentemente son difíciles de corregir debido a que los fertilizantes fosforados reaccionan con los óxidos de hierro y aluminio y se fijan en formas ligeramente solubles. Los problemas micronutricionales y deficiencia de calcio, magnesio y azufre son comunes. La corrección de estos problemas nutricionales generalmente implica altas inversiones en fertilizantes y cal.
En el aspecto positivo, muchos de estos suelos con bajos niveles de bases, y en particular los Oxisoles, poseen excelentes propiedades físicas que facilitan su labranza y reducen los riesgos de la erosión. El hecho de que no se encuentran grandes centros de población en estas áreas, se puede

relacionar con la infertilidad de estos suelos, como también con otros factores. En la región templada, en áreas tales como el sureste estadounidense y sureste chino, se encuentran suelos similares, principalmente Ultisoles, que sostienen poblaciones altas. Estos suelos fueron cultivados intensivamente después de corregir su baja fertilidad con estiércol, fertilizantes y cal.

Un tercer grupo principal está formado por suelos con alto contenido de bases denominados Aridisoles, que se encuentran en desiertos tropicales y ocupan aproximadamente el 14 por ciento del trópico. Los principales factores limitantes son la disponibilidad de riego y nitrógeno. Cuando disponen de riego apropiado, y en consecuencia libres de problemas de salinidad, estos suelos pueden ser altamente productivos.

Un cuarto grupo está compuesto por suelos poco profundos y arenas secas, que ocupan el 17 por ciento restante de la extensión superficial del trópico.

La discusión se limitará sólo a los dos primeros grupos; el tercero corresponde al dominio de los especialistas en riego, y el potencial del cuarto es muy restringido.

No es necesario recordar a los lectores las estadísticas desconsoladoras acerca de la escasez mundial de alimentos. Las exportaciones masivas de alimento de los países desarrollados hacia las regiones donde existe el hambre sólo se debe considerar como una medida a corto plazo.

En el largo plazo, consideraciones políticas y prácticas dictaminan que los países en desarrollo deben alimentarse por sí mismos. Será factible que esto ocurra durante el resto de este siglo? Suponiendo ganancias significativas en el control de la natalidad, existen evidencias de que esto es agronómicamente posible en ciertos países tropicales que presentan algunos suelos con altos niveles de bases, pero también vastas extensiones de suelos con bajos niveles de bases.

Se someterán a la discusión dos estrategias fundamentales diferentes para lograr esta meta: agricultura intensiva en suelos con altos niveles de bases y agricultura extensiva en suelos con bajos niveles de bases.

Producción Intensiva en Suelos con Altos Niveles de Bases

Se ha comprobado la productividad de los suelos con altos niveles de bases; durante siglos han sostenido densas poblaciones humanas y animales grandes. La aplicación de un paquete tecnológico (nuevas variedades de trigo y arroz con altos rendimientos, fertilizantes nitrogenados, control químico de malezas y plagas y con frecuencia el riego) ha logrado inducir marcados aumentos en la producción, que se han sostenido (22).

La difusión de la Revolución Verde se encuentra limitada a las áreas de suelos con altos niveles de bases del trópico asiático y americano. Se pueden esperar aún más adelantos cuando se desarrollen variedades de altos rendimientos de otros cereales, leguminosas de grano, y especialmente tuberosas. Las adaptaciones de manejo de suelos para apoyar futuros

mejoramientos varietales serán relativamente directas. El valor de los cultivos y de la tierra probablemente justificarán altas inversiones en fertilizantes, a pesar de los altos precios actuales.

Las investigaciones relacionadas con el uso más eficiente de los fertilizantes nitrogenados mediante la utilización de fuentes que liberen lentamente el nitrógeno o mediante el mejoramiento en la manipulación de las dosis, métodos y épocas de aplicación, tienen alta prioridad y se han logrado resultados importantes (23).

Una posibilidad interesante es la de mejorar los sistemas de cultivos asociados que los agricultores de subsistencia han practicado durante siglos. Muchos agrónomos estimaron estas prácticas como primitivas, hasta que las investigaciones realizadas por Bradfield y otros (24) atrajeron la atención mundial. Muchos edafólogos han cambiado su interés de suministrar nutrimentos a un sólo cultivo, a sostener dos o más sistemas radiculares interactuantes y cosechar dos, o en algunos casos cuatro cultivos al año. Esto requerirá un mayor esfuerzo en investigaciones básicas y prácticas. Los primeros resultados de este esfuerzo indican que ciertos sistemas de cultivos asociados utilizando fertilizantes en forma mucho más eficiente y económica que el monocultivo de las especies en una misma extensión de terreno (25).

Los aumentos en la producción de alimentos en los suelos con altos niveles de bases se verán restringidos por la extensión relativamente pequeña y la explotación intensiva actual. Es dudoso que la crisis mundial

de alimentos se pueda resolver si el desarrollo se limita a estos suelos.

Producción Extensiva en Suelos con Bajos Niveles de Bases

Las apreciaciones hechas por Kellogg y Orvedal (26) indican que las vastas selvas y sabanas tropicales constituyen el bloque más grande de suelos potencialmente arables en el mundo. Qué se ha hecho con éstos suelos? Los primeros esfuerzos investigativos, hechos por los gobiernos de las colonias europeas en el Africa, intentaron reemplazar el sistema aparentemente primitivo de agricultura migratoria, por la agricultura mecanizada intensiva, similar a la europea. Estos esfuerzos fracasaron debido a que no se tenía un conocimiento adecuado tanto del medio físico como social que prevalecía. Los esfuerzos posteriores hechos en Zaire se concentraron en la nacionalización del patrón de desmonte de tierras, mediante la utilización de corredores para conservar la proporción años en cultivo/años en descanso, que es esencial para mantener el sistema de agricultura migratoria (27). En contraste, en el Estado de São Paulo, Brasil, se han desarrollado prácticas agrícolas modernas en suelos con bajos niveles de bases que no son sustancialmente diferentes a los suelos de Zaire. Las investigaciones realizadas en São Paulo (28) condujeron a la utilización de fertilizantes, cal e insumos energéticos similares a los utilizados en el sureste de Estados Unidos. Estos enfoques tan extremadamente diferentes merecen discusión. Los suelos de Zaire, São Paulo y sureste de los Estados Unidos con bajos niveles de bases, presentan limitaciones similares en lo que respecta a los altos contenidos de aluminio

La transferencia directa de principios y prácticas estadounidenses y europeas a Zaire y São Paulo, fue posible a nivel de estaciones experimentales, donde la producción excedió a la de los Estados Unidos debido al clima cálido durante todo el año. En Zaire, los factores que evitaron su adopción fueron la falta de infraestructura de transporte, industria y comercialización, y las costumbres sociales arraigadas desde siglos atrás. En São Paulo, las condiciones del transporte, industria (incluyendo la producción de fertilizantes), mercados y población dispersa permitieron su adopción. En São Paulo, las altas inversiones que se hicieron en fertilizantes y cal trajeron beneficios considerables.

Con la actual escasez de energía y alto costo del petróleo y fertilizantes, es necesario hacer algunas modificaciones al método aplicado exitosamente en São Paulo. Las investigaciones agronómicas en el trópico gradualmente están dando forma a una estrategia que tiene como base la utilización de un mínimo de insumos.

La primera consideración es la conciencia que se tiene de que la agricultura migratoria es un sistema eficiente para el manejo de los suelos, si se tienen en cuenta los recursos que los agricultores tienen a su disposición en áreas de bosques dispersamente pobladas (29). Sin embargo, las presiones demográficas reducen la proporción años en cultivo/años en descanso hasta el punto en que el sistema degenera en una espiral descendente de fertilidad. La necesidad del cultivo continuo es imperiosa y requiere esfuerzos investigativos sistemáticos.

En las vastas sabanas de Sur América, donde el pastoreo extensivo por ganado de carne es virtualmente la única forma de actividad agropecuaria, la apertura de nuevas carreteras y mercados trae consigo el establecimiento de nuevos colonos. Por ejemplo, diez años después de la construcción de la carretera de 1.500 kilómetros entre Belém y Brasília, se han asentado dos millones de personas a lo largo de esta. Sin embargo, dependen en gran parte del alimento que viene de otras áreas.

La segunda consideración es que en lugar de modificar el suelo para satisfacer las demandas de la planta, se debe hacer énfasis en la estrategia opuesta; es decir, adaptar las plantas a las condiciones de los suelos con bajos niveles de bases (30). Ciertas especies de cultivos y pastos son más tolerantes que otras a los altos niveles de aluminio intercambiable, bajos niveles de fósforo aprovechable y otros problemas edáficos. Algunos ejemplos de las especies más tolerantes son el arroz de secano, yuca, batata, caupí y diversas gramíneas y leguminosas de pastoreo (31, 32). También se tiene conocimiento de que existen diferencias significativas en tolerancia a estas limitaciones entre variedades de arroz, trigo, fríjol, soya y pastos (30, 33). Las especies y variedades tolerantes probablemente evolucionaron en suelos con bajos niveles de bases, y por lo tanto son el resultado de la adaptación natural a estas condiciones. Estas diferencias se deben a genes específicos recientemente identificados (33). La tolerancia al aluminio intercambiable y a un bajo nivel de fósforo aprovechable en el suelo, pueden ser componentes básicos de los programas de mejoramiento

tener en cuenta. El trabajo conjunto de los fitomejoradores y edafólogos debe de producir materiales más tolerantes con otros caracteres deseables, tales como el alto potencial de rendimiento y calidad del grano. Tal como lo indicó Jennings (22), es necesario dejar de seleccionar las futuras variedades bajo condiciones óptimas de suelo, agua y control de plagas.

Se tienen evidencias de que existe una fijación cuasi-simbiótica del nitrógeno entre las bacterias que sobreviven en los suelos ácidos y ciertas variedades y especies de gramíneas tropicales. Döbereiner y Day (34) indican que la selección de especies y variedades de dichas gramíneas, podría adicionar al suelo una cantidad significativa de nitrógeno, cuando se tenga un mejor conocimiento de las condiciones bajo las cuales sobreviven estos organismos.

La adaptación de cultivos a los suelos con bajos niveles de bases no se puede ver como un sustituto de la aplicación de fertilizantes. Sin embargo, reduciría significativamente las necesidades de fertilizantes y cal para lograr los rendimientos óptimos. El interrogante que se debe tener en cuenta: qué es un óptimo rendimiento bajo estas condiciones? Los economistas y edafólogos indican que el óptimo rendimiento es el punto de la curva de respuesta al fertilizante en el que el ingreso marginal por un incremento en el rendimiento es igual al costo marginal de la última unidad de fertilizante aplicado. Este concepto debe ser otra víctima de la crisis energética.

En las áreas en consideración, la tierra es relativamente barata,

mientras que el costo del fertilizante y su transporte de la fábrica hasta la finca, es alto. Los rendimientos óptimos deben ser los que optimizan la utilización de los escasos recursos (fertilizantes y otros insumos energéticos). La mayor eficiencia de los fertilizantes se logra en el sector inicial de mayor pendiente de la curva de respuesta a los fertilizantes. Sin embargo, el análisis marginal recomienda las dosis de fertilizantes que se indican en el sector posterior relativamente plano de la curva. Cuando la curva de respuesta a los fertilizantes se representa por dos líneas rectas en el modelo de la respuesta lineal y de la meseta (35), la dosis recomendada es aquella en la que se logra el máximo rendimiento en el punto de mayor eficiencia del fertilizante. Las dosis recomendadas por el modelo de la respuesta lineal y de la meseta generalmente son menores a las recomendadas por el análisis marginal. Si se tiene en cuenta el efecto residual de muchos insumos (especialmente cal, fósforo y algunos micronutrimentos) y la posibilidad de obtener dos o tres cosechas al año en muchas de estas áreas, la utilización de menores dosis de fertilizantes no necesariamente implica una disminución en la producción de alimentos. Lo anterior, junto con la utilización de especies y variedades adaptadas, representa un ajuste a las nuevas realidades económicas y, a largo plazo, un medio para conservar recursos no renovables tales como fósforo.

La tercera consideración es la de desarrollar métodos para aumentar la eficiencia del fertilizante y cal que se aplica. La eficiencia de la fertilización y encalamiento en América tropical se ha mejorado sustancialmente a través de la utilización de métodos para evaluar la fertilidad del

suelo, incluyendo ensayos de suelos, análisis de plantas, estudios de correlación e interpretación (36).

Muchos suelos con bajos niveles de bases tienen una capacidad extremadamente alta para "fijar" el fósforo en formas relativamente insolubles. Las cantidades de superfosfatos para lograr rendimientos adecuados, con frecuencia son antieconómicas, a menos que se disponga de créditos amplios para depreciar su costo a varios años como una inversión de capital (37). El Tennessee Valley Authority y sus colaboradores recientemente fijaron su atención en la aplicación directa de rocas fosfóricas insolubles en agua (23). Muchas rocas fosfóricas de alta reactividad son solubles en suelos ácidos, y son más baratas que los superfosfatos debido a que son materias primas de estos últimos.

En ciertos Oxisoles con bajos niveles de bases se aplican comercialmente silicatos (38). En estos suelos, el anión silicato reacciona en forma similar al anión fosfato, y en consecuencia, los silicatos también pueden ser fijados por los óxidos de hierro y aluminio. A pesar de que el sílice no está oficialmente aceptado como elemento esencial para los cultivos, se tiene conocimiento de que en cultivos como la caña de azúcar y arroz se presentan respuestas agronómicas favorables a las aplicaciones de sílice (38). También es posible otra combinación. Las rocas fosfóricas de baja reactividad se pueden fundir térmicamente con silicato de magnesio (relativamente barato) para obtener una fuente de fósforo más soluble, que además incluye sílice y otros elementos. En Europa y Estados Unidos

se estudiaron estos productos durante las décadas de 1930-40 y 1940-50, pero se abandonaron cuando no pudieron competir económicamente con los superfosfatos. La vieja literatura volvió a tenerse en cuenta y los descubrimientos se han adaptado a los suelos tropicales. Las investigaciones sobre estas y otras fuentes fertilizantes, tales como productos que liberan nitrógeno lentamente, es una actividad emocionante en muchas estaciones experimentales del trópico.

El concepto de maximizar la eficiencia de los insumos energéticos en las áreas tropicales, no necesariamente se limita a los fertilizantes. Por ejemplo, las investigaciones acerca de los métodos de desmonte de las tierras en la selva del Amazonas, indican que el método tradicional de tumbar y quemar a mano produjo mayores rendimientos a un costo más bajo que el desmonte mecánico con bulldozers (39). Los principales factores que favorecen lo anterior son el alto costo de operación y mantenimiento de las máquinas en los bosques húmedos tropicales y el fertilizante gratis que se obtiene de las cenizas. Igualmente, en desmontes de menor magnitud, la transición del cultivo alternado al cultivo continuo se puede hacer gradualmente. El desmonte de varios cientos de hectáreas, aunque atractivo para los funcionarios encargados del desarrollo de una región, crea estragos entre los agricultores cuando tienen que enfrentarse con los rebrotes vigorosos de la selva, atrasos en la llegada de fertilizantes y otros serios problemas de manejo en gran escala. Con mucha frecuencia estas áreas son eventualmente abandonadas.

Pronóstico para el Aumento de la Producción de Alimentos en el Trópico

Somos optimistas de que los suelos del trópico pueden contribuir sustancialmente a la producción mundial de alimentos cuando se caractericen adecuadamente, se tenga un buen conocimiento de ellos y se utilicen sistemas de manejo económicamente realistas. La mayoría de las mejoras en un futuro cercano se pueden esperar del aumento en los rendimientos de los suelos con altos niveles de bases, pero en el largo plazo, el asunto fundamental es la conquista de los suelos con bajos niveles de bases. Varios proyectos de investigación que se adelantan en diversas regiones del trópico sustentan estas afirmaciones. A diferencia de los problemas clásicos del fitomejoramiento, muchos problemas relacionados con los suelos son específicos para una región, y las recomendaciones tienen que ser compatibles con las prácticas a nivel local. Por lo tanto, se requieren más sitios para adelantar investigaciones prácticas de manejo de suelos. Esto se demostró en un seminario realizado en Colombia en el cual se trataron aspectos del manejo de los suelos (40), y en el cual un delegado proveniente de Nigeria recomendó la eliminación de la quema para el desmonte de los bosques tropicales, en tanto que los trabajos realizados en el Perú demostraron que de la quema se derivan beneficios incalculables. Esta discrepancia aparente se explicó a través del hecho de que en Nigeria las cenizas aumentaron el pH del suelo de 6 a 8, lo cual ocasionó deficiencias de hierro, en tanto que en el Perú, las cenizas aumentaron el pH de 5 a 4.5, lo cual le proporcionó al suelo las bases necesarias.

Las afirmaciones acerca de la efectividad de las prácticas de manejo

de los suelos se deben evaluar cuidadosamente de acuerdo con las propiedades del suelo en particular. No se dispone de una fórmula única para los suelos tropicales.

RESUMEN

Es poco el conocimiento que se tiene acerca de las propiedades y potencial de los suelos del trópico. La vieja idea de que la laterita se forma cuando los suelos tropicales se desmontan, es cierta sólo para una pequeña parte del área. En la gran mayoría de los rasgos, los suelos tropicales son similares o equivalentes a los suelos de las regiones templadas. Específicamente, los contenidos de materia orgánica del suelo, que comúnmente se creían bajos en el trópico, son similares a los de los suelos de las regiones templadas. Por lo tanto, los conceptos básicos acerca del comportamiento físico y químico que se desarrolló en las regiones templadas que no fueron afectadas por las glaciaciones son directamente aplicables al trópico. Sin embargo, el desarrollo de prácticas de manejo del suelo para mantener la producción de alimentos, requiere el concurso de diferentes estrategias debido a las limitaciones medio ambientales y económicas. Se hace una distinción fundamental entre el desarrollo de suelos con alto contenido de bases y suelos con bajo contenido de bases. En los primeros, las prácticas de manejo de suelos se deben enfocar hacia la maximización del potencial de las variedades con altos rendimientos y el mejoramiento de los sistemas de cultivos asociados mediante la utilización de fertilizantes en forma relativamente intensiva. En los suelos con bajos niveles de bases de las vastas áreas de sabanas y selva, se deben optimizar los insumos energéticos

REFERENCIAS

1. Buol, S.W. 1973. N.C. Agricultural Experiment Station. Tech. Bull. 219, pp. 1-38.

2. Smith, G.D. 1965. Pédologie (special issue 4).

3. Prescott, J.A. and R.L. Pendleton. 1952. Commonwealth Bur. Soil Sci. Tech. Commun. 47.

4. McNeil, M. 1964. Sci. Am. 211 (No. 5).

5. Buchanan, F. 1807. A Journey from Madras through the Countries of Mysore, Camara and Malabar, etc. (1800-1801) (East India Company, London).

6. Hardy, F. 1933. Emp. J. Exp. Agric. 1, 103.

7. Van Wambeke, A. Personal communication.

8. Feuer, R. 1956. Thesis, Cornell University.

9. Segalen, P. 1970. In: Pédologie et Development: Techniques Rurales en Afrique, No. 10 (Secretariat d'Etat aux Affaires Extrangeres, Paris).

10. Daniels, R.B., E.E. Gamble, J.G. Cady. 1970. Soil Sci. Soc. Am. Proc. 34, 648.

11. Marbut, C.F. 1930. In: Proceedings of the Second International Congress on Soil Science (Leningrad), Vol. 5, p. 72.

12. Carter, G.F. and R.L. Pendleton. 1956. Geogr. Rev. 46, 488.

13. Soil Survey Staff. 1973. Soil Taxonomy (Soil Conservation Service, Department of Agriculture, Washington, D.C.).

14. Wade, M.K. and P.A. Sánchez, unpublished data.

15. Greenland, D.J. and P.H. Nye. 1959. J. Soil Sci. 9, 284.

16. President's Science Advisory Committee. 1967. The World Food Problem (Government Printing Office, Washington, D.C.).

17. Marbut, C.F. and C.B. Manifold. 1926. Geogr. Rev. 16, 414.

18. Sánchez, P.A. and S.W. Buol. 1974. Soil Sci. Soc. Am. Proc. 38, 117.

19. Dudal, R. 1968. FAO (Food Agric. Orgn. U.N.) World Soil Resour. Rep. 33.

20. Soil Geography Unit. 1971. Soil Map of the World. Distribution of Orders and Principal Suborders and Great Soil Groups (Soil Conservation Service, Department of Agriculture. Washington, D.C.

21. Aubert, G. and R. Tavernier. 1972. In: Soils of the Humid Tropics (National Academy of Sciences, Washington, D.C.) pp. 17-44.

22. Jennings, P.R. 1974. Science 186, 1085.

23. Englestad, O.P. and D.A. Russell. Advan. Agron., in press.

24. Bradfield, R. 1970. In: Research for the World Food Crisis, D.G. Aldrich, Jr., Ed. (AAAS, Washington, D.C.) pp. 229-242.

25. Palada, M.C. and R.R. Harwood. 1972. "The relative return of corn-rice intercropping and monoculture to nitrogen applications" (mimeographed) (International Rice Research Institute, Los Baños, Philippines).

26. Kellogg, C.E. and A.C. Orvedal. 1969. Advan. Agron. 21, 109.

27. Jurion, F. and J. Henry. 1969. Can Primitive Farming Be Modernized? (Institut National pour l'Etude Agronomique du Congo, Brussels).

28. Mikklesen, D.S., L.M.M. De Freitas, A.C. McClung. 1963. IRI Res. Inst. Bull. 29.

29. Sánchez, P.A. 1973. N.C. Agric. Exp. Stn. Tech. Bull. 219, pp. 46-67.

30. Spain, J.M., C.A. Francis, R.H. Howeler, E. Calvo. 1976. In: Soil Management in Tropical America. E. Bornemisza, Ed. (Consortium on Soils of the Tropics, North Carolina State Univ., Raleigh) pp. 308-330.

31. Andrew, C.S. and M.F. Robins. 1971. Aust. J. Agric. Res. 20, 665 (1969); ibid. 22, 693.

32. Salinas, J.G. and P.A. Sánchez. 1976. "Soil-Plant relationships affecting varietal and species differences in tolerance to low available soil phosphorus". Ciencia e Cultura 28: 156-168.

33. Foy, C.D. 1974. In: The Plant Root and its Environment, E.W. Carson, Ed. (University Press of Virginia, Charlottesville), pp. 601-642.

34. Döbereiner, J. and J.M. Day. 1974. Associate Symbiosis in Tropical Grasses: Characterization of Microorganisms and Nitrogen Fixing Sites (Instituto de Pesquisas e Experimentação Agropecuarias do Centro-Sul, Rio de Janeiro, Brazil.

35. Waugh, D.L., R.B. Cate, Jr., L.A. Nelson. 1973. Technical Bulletin No. 7 (International Soil Fertility Evaluation and Improvement Program, North Carolina State Univer., Raleigh.

36. Fits, J.W. 1972. Acad. Scient. Scripta Varia 38 (No. 1), 5. Also see annual reports, International Soil Fertility Evaluation and Improvement Program. North Carolina State Univ., Raleigh, 1966-1973.

37. Fox, R.L., S.M. Hassan, R.C. Jones. 1971. Proc. Int. Symp. Soil Fertil. Eval. (New Delhi) 1, 857.

38. Plucknett, D.L. 1972. Univ. Queensl. Pap. Dep. Agri. 1 (No. 6), 203.

39. "Research on tropical soils." 1973. In: annual report for 1973, Soil Science Department, North Carolina State University, Raleigh.

40. Seminar on Soil Management and the Development Process in Tropical America, held at Centro Internacional de Agricultura Tropical. 1974. Cali, Colombia, 10 to 14 February.

Publicación Miscelánea No. 78

CRITERIOS PARA CLASIFICACION DE SUELOS SEGUN LA SETIMA APROXIMACION EN LAS TRES CATEGORIAS SUPERIORES

Ellis G. Knox

LA ADAPTACION AL CASTELLANO DE LOS NOMBRES USADOS EN LA 7a. APROXIMACION

Fausto Maldonado P.

INSTITUTO INTERAMERICANO DE CIENCIAS AGRICOLAS DE LA OEA
Centro Tropical de Enseñanza e Investigación
Turrialba, Costa Rica
Junio, 1971

CONTENIDO

Página

PREFACIO

CRITERIOS PARA CLASIFICACION DE SUELOS SEGUN LA SETIMA APROXIMACION EN LAS TRES CATEGORIAS SUPERIORES 1

CRITERIOS 3

BIBLIOGRAFIA 29

LA ADAPTACION AL CASTELLANO DE LOS NOMBRES USADOS EN LA 7a. APROXIMACION 30

INTRODUCCION..... 30

CONSIDERACIONES GENERALES 30

HORIZONTES 32

Horizontes diagnósticos 32
Horizontes de profundidad 33
Otros horizontes 33
Capas endurecidas 34

OTRAS CARACTERISTICAS DEL SUELO 34

CATEGORIAS 35

Ordenes 35
Subórdenes 36
Grupos 40
Subgrupos 41

CONCLUSION 41

LITERATURA CITADA 43

- o - o -

PREFACIO

En diversas reuniones nacionales e internacionales, realizadas por los especialistas de suelos en América Latina, se ha proclamado la necesidad de coordinar los criterios para adoptar un sistema de clasificación. En general ha prevalecido la idea de ajustar la clasificación de los suelos latinoamericanos a los patrones establecidos en la "7a. Aproximación".

Esos buenos deseos, sin embargo, han tropezado en la práctica con algunos obstáculos, especialmente con dos que se comentan a continuación. En primer lugar, salvo para pequeños grupos de especialistas, la utilización de "Soil Classification, A Comprehensive System, 7th Approximation" no siempre es fácil. Además, la 7a. Aproximación" y sus suplementos no han tenido la difusión que hubiese sido de desear dentro de las Facultades de Ciencias Agrícolas, Por otro lado, tampoco ha existido una definición de cómo adaptar al español la terminología que aparece en la "7a. Aproximación", no obstante que, sobre el papel, parece sencillo por tener fundamentos greco-latinos.

La publicación que se presenta es una herramienta excelente para obviar los escollos apuntados. Los criterios para la clasificación ofrecidos por el Dr. Ellis G. Knox, persona bien conocida en los medios internacionales de la Ciencia del Suelo, constituyen una verdadera clave para la ubicación de los suelos dentro de las tres categorías superiores de la "7a. Aproximación". La contribución del Ing. Fausto Maldonado P., M.Sc., es un material muy útil para tratar de homogeneizar el vocabulario empleado en clasificación.

Mario Blasco Lamenca, Ph.D.
Químico de Suelos

Turrialba, Costa Rica
Abril de 1971

CRITERIOS PARA CLASIFICACION DE SUELOS SEGUN LA SETIMA APROXIMACION EN LAS TRES CATEGORIAS SUPERIORES 1/

por

Ellis G. Knox 2/

El sistema de clasificación de suelos del Soil Conservation Service, USDA (Soil Survey Staff, 1960, 1967 y 1968), es muy conocido como la Sétima Aproximación. Por su amplia comprensión de los suelos, por la integración de muchas características, por la precisión de las definiciones y por su provisión de clases a varios y convenientes niveles de clasificacion (categorías), puede ser una herramienta poderosa y útil para el inventario de los recursos de suelos, la transferencia geográfica de información sobre los suelos y la ordenación del conocimiento de los suelos.

El sistema en su versión original (Soil Survey Staff, 1960) está disponible en español en una traducción por Etchevehere (1962). Parece que todavía no hay una traducción de la revisión del sistema (Soil Survey Staff, 1967 y 1968) aunque sí hay las definiciones de los horizontes diagnósticos en español (Vessel, 1968).

Por cortesía del doctor Guy D. Smith, este trabajo se basa en borradores recientes (setiembre y octubre de 1970 en la mayoría) de la publicación definitiva ya en preparación.

Las categorías del sistema son las de orden, suborden, gran grupo, subgrupo, familia y series. Las definiciones para órdenes, subórdenes y grandes grupos se presentan (Soil Survey Staff, 1967 y 1968) en dos formas: en definiciones separadas y completas y en claves que funcionan por eliminación. Se presentan claves de los subgrupos y criterios para la determinación de las familias. No se incluyen definiciones para series.

1/ Technical Paper No. 2997, Agricultural Experiment Station, Oregon State University, Corvallis, Oregon, U.S.A.

2/ Anteriormente, Oficial Técnico (Cartografía de Suelos) de la FAO, Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FENU) y Especialista en Reconocimiento y Clasificación de Suelos en el Centro Tropical de Enseñanza e Investigación, Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas de la OEA, Turrialba, Costa Rica. Actualmente, Profesor de Suelos, Oregon State University, Corvallis, Oregon, USA.

El autor agradece la colaboración del Ing. Fausto Maldonado P. en la redacción del texto en español.

Los criterios para clases de las categorías superiores son compuestos, objetivos (en comparación a otros sistemas) y limitados. Es decir, constan de especificaciones cuantitativas para dos o más características en combinación y no se aplican de una manera universal a la subdivisión de todas las clases en una categoría. Por eso, las definiciones son difíciles y hay que especificarlas para cada subdivisión de cada clase separada. Se utilizan conceptos definidos de horizontes diagnósticos para acortar las definiciones.

Un ejemplo de la subdivisión de clases dentro de un nivel categórico por criterios diferentes es la separación de subórdenes del orden Entisol (Cuadro 4) por criterios completamente diferentes de aquellos para los subórdenes del orden Vertisol (Cuadro 11). Por otro lado, hay mucho uso de criterios iguales o parecidos dentro de un nivel y también a niveles diferentes. Por ejemplo, los criterios para cinco subórdenes del orden Molisol (Cuadro 8) son casi iguales que aquellos para subórdenes del orden Alfisol (Cuadro 2) y, además, cuatro de ellos son casi iguales a los criterios para algunos grandes grupos del orden Entisol (Cuadro 4). Tal repetición de criterios ofrece la posibilidad de presentar las definiciones en una forma más corta y más clara que en la presentación original.

Este trabajo presenta las definiciones para las clases de las tres categorías superiores en español por medio de 11 cuadros y 58 criterios derivados de los centenares de definiciones en inglés. Se incluyen las definiciones para horizontes diagnósticos en el criterio más relacionado con ellos.

Los once cuadros se refieren a los criterios apropiados para la separación de las clases incluidas. Hay que pasar de una categoría a otra en etapas sucesivas, del orden al suborden y al gran grupo. El Cuadro 1 presenta los criterios para órdenes. Con el orden ya determinado, se puede identificar el suborden en el cuadro del orden pertinente y, al final, el gran grupo dentro del suborden identificado.

La identificación se indica por la especificación, en los cuadros, de cuáles de los criterios para las separaciones de una etapa son requisitos de una clase dada (signo R, o signo A), los criterios que no pueden estar presentes en una clase (signo O) y cuáles pueden variar en la misma (signo P o signo I). El signo A indica que dos o más criterios son alternativos, cualquier criterio de los indicados puede satisfacer el requisito. El signo I indica un criterio permisible pero no probable. Por ejemplo, en el Cuadro 1, para identificar el orden Aridisol se requiere por lo menos uno de los criterios 8, 9, 12, 13, 14, 15, 17 y 18 indicados por el signo A, se requiere además el criterio 33 indicado por el signo R, no se permiten los criterios 1, 2, 3, 4, 7, 10, 11, 20, 24, 25 ni 44 indicados por el signo O y no importa la presencia o ausencia de los criterios 19 y 32 indicados por los signos I y P.

La ortografía se basa en las guías de Maldonado (1970).

Esta forma de presentación se desarrolló como material de enseñanza, primero en Oregon State University en 1967 y después en el Centro Tropical de Enseñanza e Investigación del Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas de la OEA, en 1970.

CRITERIOS

No se toman en cuenta los horizontes enterrados por depósitos recientes si el espesor del depósito es mayor de 50 cm o de 30 cm si en adición ocupa más de la mitad del espesor de los horizontes enterrados. Las características del color se llaman matiz (por hue en inglés), intensidad (por value) y pureza (por chroma).

1. Materiales orgánicos: (1) 40 cm o más de espesor acumulativo (60 o más si hay 75% o más, en volumen, de fibras de musgos, o densidad aparente menor de 0,1 g/cc) dentro de la sección hasta 80 cm; o (2) que llegan hasta material de fragmentos más gruesos de 2mm y ocupan los intersticios; o (3) que llegan hasta roca continua y coherente o dentro de una distancia de 10 cm o menos de la roca si el espesor de materiales orgánicos es más que el doble del de los materiales minerales.

   Materiales orgánicos: (1) tienen 20% o más de carbón orgánico; o (2) sufren saturación con agua por períodos largos, o cuentan con drenaje artificial, y tienen 18% o más de carbón orgánico si la fracción mineral contiene 50% o más de arcilla, 12% o más de carbón organico si no hay arcilla, o contenidos proporcionales si el contenido de arcilla es intermedio.

2. Contenido de arcilla de 30% o más en toda la sección hasta 50 cm después de la mezcla hasta 18 cm de profundidad; cuando no se riega, en algún período en la mayoría de los años, hay grietas verticales de 1 cm o más de ancho a 50 cm de profundidad; temperatura media anual de 8°C o más; y (1) micro-relieve de "gilgai", o (2) a alguna profundidad entre 25 y 100 cm, "slickensides" que se crucen o agregados estructurales en forma de cuñas con los ejes mayores inclinados de 10 a 60 grados con respecto a la horizontal.

3. Epipedon mólico (o, si falta solamente el requisito de profundidad, epipedon separado por un horizonte álbico de un subhorizonte de más de 7,5 cm de espesor, del horizonte argílico o nátrico que satisface los otros requisitos para epipedon mólico) y (1) saturación con bases (CIC por NH_4OAc a pH 7,0) de 50% o más en toda la sección hasta 180 cm de profundidad o hasta roca continua y coherente o hasta 125 cm debajo del límite superior de cualquier horizonte argílico o natrico y (2) hasta una profundidad de 35 cm, (a) densidad aparente de la fracción menor de 2 mm de 0,85 g/cc o más si en el complejo de

intercambio dominan las materias amorfas y (b) menos de 60% de materiales piroclásticos que incluyen vidrio, en las fracciones limo, arena y grava y (3) si la temperatura media anual del suelo es 8°C o más y la diferencia en temperatura a la profundidad de 50 cm entre verano e invierno es menos de 5°C, (a) el epipedon se basa en material de 40% o más de equivalente de $CaCO_3$, o (b) el epipedon tiene menos de 35% de arcilla, o (c) la arcilla del epipedon no es montmorillonítica.

Un Epipedon mólico es un horizonte mineral o juego de subhorizontes con exclusión del criterio 7, que tiene después de la mezcla hasta 18 cm de profundidad, (1) color de muestras quebradas y de muestras aplastadas con intensidad y pureza menores de 3,5 en húmedo y menos de 5,5 en intensidad en seco; o con más de 40% de carbonatos finos y más de 2,5% de carbón orgánico; (2) contenido de carbón orgánico de 0,6% o más pero no suficiente para materiales orgánicos; (3) si hay períodos secos, estructura o consistencia en seco de ligeramente dura a suelta; (4) saturación con bases de 50% o más (CIC por NH_4OAc a pH 7,0;) (5) espesor más de 18 cm (más de 10 cm si el epipedon se encuentra sobre roca continua, coherente y dura) y (a) si la textura es más fina que arenosa franca fina en alguna parte del epipedon y si, debajo del epipedon, hay un horizonte diagnóstico o la disminución de materia orgánica es regular el espesor es de más de 1/3 de la profundidad hasta carbonatos secundarios o la base de un fragipán, duripán u horizonte cámbico, argílico, nátrico, óxico, o espódico, (b) espesor mayor de 25 cm; (6) contenido de P_2O_5 soluble en ácido cítrico menor de 250 ppm o menor que en los horizontes inferiores; y agua disponible, sin riego, por 2 meses o más (acumulativos) cuando la temperatura a 50 cm de profundidad es de 5°C más; (7) valor de n menor de 0,7; y (8) posición en la superficie del suelo, o subyacente a un epipedon hístico, o enterrado por un depósito reciente según la regla general.

4. Epipedon úmbrico (o epipedon mólico excluido del criterio 3).

A nivel de suborden en Inceptisol: Espesor del epipedon úmbrico (o mólico) más de 25 cm o con temperatura media anual menor de 8°C.

En Acuept y Acuox: Epipedon úmbrico (o mólico) o hístico.

En Ortox: epipedon úmbrico o contenido de carbón orgánico más de 1% en toda la sección mineral hasta 75 cm de profundidad.

Un epipedon úmbrico tiene todos los requisitos para epipedon mólico con la excepción de que la saturación con bases es menor de 50%.

5. Epipedon antrópico de más de 25 cm de espesor. Tiene todos los requisitos para epipedon mólico con excepción del requisito sobre P_2O_5 y agua disponible.

6. Epipedon hístico es una capa, saturada con agua por lo menos 30 días consecutivos en la mayoría de los años o con drenaje artificial, que no satisface los requisitos del criterio 1. Es (1) una capa de labranza o de mezcla hasta 20 cm, con 16% o más de carbón orgánico si la fracción mineral es 50% o más de arcilla u 8% o más de carbón orgánico si no hay arcilla o contenido de carbón orgánico proporcional si el contenido de arcilla es intermedio, o (2) una capa de materiales orgánicos de espesor de 20 cm o más, no enterrada por una capa mineral de 40 cm o más de espesor.

7. Epipedon de "plaggen" es un horizonte de espesor mayor de 50 cm formado por adiciones de material mineral en estiércol que resultó del uso de tepes en lugar de paja. Los indicios de este epipedon incluyen artefactos, mezclas de materiales diferentes o señales de pala en el horizonte y distribución en cuerpos geográficos rectangulares.

8. Horizonte argílico (con exclusión de horizonte nátrico) o fragipán con revestimientos de arcilla de más de 1 mm de ancho. Es un horizonte de acumulación de arcilla por lixiviación. Si es arenoso, tiene 15 cm o más de espesor. De otro modo, el espesor es por lo menos 7,5 cm o, hasta 15 cm, un décimo del espesor de los horizontes suprayacentes, el que sea mayor. Si hay horizonte eluvial superyacente formado del mismo material original, entonces, es una distancia vertical de 30 cm o menos, el incremento en contenido de arcilla de tal horizonte al horizonte argílico es por lo menos 3% de arcilla o, hasta 8% de arcilla, 20% o más del contenido en el horizonte eluvial, el que sea mayor. El horizonte argílico tiene indicios de lixiviación: (1) revestimientos de arcilla en las superficies verticales y horizontales de los peds y en poros, o (2) arcilla orientada (según el microscopio petrográfico) que ocupa 1% o más de la sección transversal, o (3) revestimientos de arcilla en la parte inferior si la relación con el horizonte eluvial es del tipo especificado arriba y el límite superior (en relación al horizonte eluvial) es irregular o interrumpido o si el contenido de arcilla es de más de 40%, la arcilla es caolinítica y la estructura es moderada o fuerte, en bloques o prismática, o (4) con granos de limo o arena sin revestimientos de arcilla en el horizonte superyacente si el contenido de arcilla es más de 40%, la arcilla es expansible y los "slickensides" o límites ondulados indican destrucción de revestimientos por presión, o (5) arcilla orientada en el contacto de granos de arena y en algunos poros si no hay peds.

En ausencia de un horizonte eluvial formado del mismo material original, el horizonte argílico tiene: (1) en alguna parte, revestimientos de arcilla en las superficies verticales y horizontales de los peds o, si no hay peds, en los poros, y (2) 1% o más de arcilla orientada en alguna parte o relación de arcilla fina (menos de 0,2 micras) a arcilla total 1,5 veces mayor que la relación del horizonte superyacente.

Un solo horizonte puede satisfacer los requisitos tanto para el horizonte argílico como para el fragipán.

9. Horizonte nátrico. Tiene todos los requisitos de horizonte argílico más (1) estructura prismática o columnar (o en bloques si se extienden lenguas de un horizonte con granos de limo y arena libres de revestimientos, más de 2,5 cm en el horizonte), y (2) dentro de 40 cm del límite superior, más de 15% de saturación con Na intercambiable o, si un horizonte C subyacente tiene más de 15% de saturación con Na, saturación con Mg más Na mayor que la saturación con Ca más acidez cambiable (pH 8,2).

10. Horizonte espódico a cualquier profundidad hasta 2 m (u horizonte plácico sobre un fragipán y con todos los requisitos para horizonte espódico con excepción del espesor). Es un horizonte de acumulación de materia amorfa que consta de materia orgánica con aluminio y en algunos casos hierro. Está debajo de un horizonte O, A1, A2, o Ap (o expuesto por erosión). Se encuentran el matiz más rojo y la pureza máxima hacia el límite superior o debajo de cualquier subhorizonte con intensidad de 2 o menos y, si la roca no se interpone, el matiz se vuelve menos rojo o la pureza disminuye con la profundidad dentro de 50 cm del límite superior. Tiene, debajo de 12,5 cm o debajo de cualquier horizonte Ap o a cualquier profundidad si la temperatura satisface el criterio 39, (1) un subhorizonte continuo, de más de 2,5 cm de espesor y cementado por materia orgánica con aluminio o hierro, o (2) materia amorfa (e isotrópica) en forma de revestimientos agrietados sobre granos de arena o de pelotillas oscuras de 20 a 50 micras de diámetro, o (3) en algún subhorizonte (a) el porcentaje de Fe más Al (base elemental) extraído por pirofosfato de sodio a pH 10, más de 0,2 veces el porcentaje de arcilla, (b) porcentaje de Fe más Al extraído por pirofosfato más de 0,5 veces el porcentaje extraído por ditionito-citrato, (c) pérdida de 25% o más de la capacidad de intercambio de cationes (a pH 8,2) por un tratamiento de agitación por la noche en una solución de ditionito-citrato, y (d) un índice de acumulación de materia amorfa mayor de 90. El índice es el producto del espesor (cm) por la diferencia entre la CIC (meq/100g suelo, a pH 8,2) y la mitad del porcentaje de arcilla.

11. Horizonte óxico a cualquier profundidad hasta 2 m (o inmediatamente debajo del epipedon si es la materia orgánica que impide satisfacer los requisitos en el epipedon), sin horizonte argílico ni nátrico sobrepuesto. Es un horizonte de acumulación de minerales resistentes y productos de meteorización, que no satisface los requisitos para horizontes argílico ni nátrico. Tiene (1) espesor de 30 cm o más, (2) retención de bases (CIC por NH_4Cl 1 N o por suma de Al y bases intercambiables) no más de 10 meq/100g de arcilla[3], (4) contenido

[3] Valor para el suelo dividido por la fracción de arcilla. Para el contenido de arcilla se usa ya sea el resultado del análisis granulométrico, sea la retención de agua a 15 bares multiplicado por 2,5 el valor que sea mayor.

de silicatos meteorizables como feldespatos, vidrio y minerales ferromagnésicos en la fracción entre 20 y 200 micras menos de 3% y contenido de muscovita menos de 6%, (5) falta de dispersión de la arcilla en agua en un subhorizonte por lo menos, (6) más de 15% de arcilla, (7) límites entre subhorizontes (con excepción de plintita, capas de gibsita o depósitos distintos) graduales o difusos, y (8) menos de 5% en volumen, de restos de la estructura de la roca.

12. Horizonte cámbico (o a nivel de orden, textura arenosa franca fina o más gruesa y criterio 49). Es un horizonte alterado que no satisface los requisitos para ninguno de los otros horizontes (ni epipedones) diagnósticos. Con la excepción de horizontes enterrados, no se encuentra encima ni debajo de los horizontes argílico, nátrico, espódico ni óxico. Tiene (1) textura más fina que arenosa franca fina, (2) estructura de roca en el sitio (incluye la estratificación de sedimentos) en menos de la mitad del volumen, (3) indicios de alteración: (a) colores dominantes de pureza menor de 1 (de 1 o menos si la intensidad en húmedo es 4 o más; de 2 o menos si hay moteados) y de matiz no más azul que 10y que no cambia con exposición al aire; y sin interrupciones en la disminución en el contenido de materia orgánica con la profundidad, o (b) pureza más alta o matiz más rojo o contenido de arcilla mayor que en los horizontes subyacentes, o (c) evidencia de la pérdida de carbonatos, o (d) en la ausencia de carbonatos, estructura pedogenética en vez de estructura de roca, y (4) espesor suficiente como para que la profundidad del límite inferior sea 25 cm o más o temperatura según el criterio 39.

13. Horizonte cálcico (o petrocálcico o gípsico) a cualquier profundidad, hasta: Nivel de orden: 100 cm.

Nivel de suborden y en Acuol: 40 cm junto con agua durante algún período del año (o drenaje artificial).

Nivel de gran grupo: 100 cm (150 cm para Xerol y en el caso de horizonte petrocálcico para Ustol), sin horizonte argílico ni nátrico sobrepuesto, junto con (1) carbonatos en toda la sección sobrepuesta después de la mezcla de los 18 cm superiores, o (2) textura más gruesa que arenosa franca muy fina.

Un horizonte cálcico es un horizonte de acumulación de carbonatos por lixiviación. Tiene espesor mayor de 15 cm, equivalente de $CaCO_3$ mayor de 15% y (a) un excedente, con respecto al horizonte C subyacente, de más de 5% del equivalente de $CaCO_3$, o (b) más de 5% en volumen de carbonatos secundarios blandos y pulverulentos o en formas colgantes o en concreciones.

14. Horizonte petrocálcico sin duripán sobrepuesto, a cualquier profundidad hasta 100 cm (150 cm en Alfisol y Molisol). Es un horizonte cálcico continuo y endurecido, cementado por carbonatos. No puede penetrarse con barreno o pala en seco. Fragmentos secos no se desmigajan en

agua. Se incluye un horizonte laminar en contacto con roca dura subyacente, de espesor de 2,5 cm o más y con un producto del espesor por el equivalente de $CaCO_3$, de 200% cm o más.

15. Horizonte gípsico (o petrogípsico) a cualquier profundidad hasta 1 m. Es un horizonte de acumulación de yeso. Tiene espesor mayor de 15 cm; un excedente, con respecto al horizonte C u otra capa subyacente, de 5% o más de yeso; y un producto del espesor por el contenido de yeso de 150% cm o más.

16. Horizonte petrogípsico. Es un horizonte gípsico endurecido al punto que sus fragmentos secos no se desmigajan en agua y las raíces no pueden pentrarlo.

17. Horizonte sálico a cualquier profundidad hasta 75 cm, sin horizonte cálcico ni gípsico encima de él, y saturación con agua a cualquier profundidad hasta 1 m por un mes o más durante el año. Es un horizonte de acumulación de sales más solubles que el yeso. Tiene espesor mayor de 15 cm, contenido de tales sales de 2% o más y un producto del espesor por el contenido, de 60% cm o más.

18. Duripán a cualquier profundidad hasta 1 m sin horizonte petrocálcico sobrepuesto (o, en Espodosol, duripán en el horizonte álbico y saturación con agua, o con drenaje artificial). Es un horizonte cementado por sílice. Tiene consistencia muy firme o extremadamente firme en humedo y sin tendencia de plasticidad o adhesividad en mojado. Los fragmentos secos no se desmenuzan en agua. Tiene revestimientos o depósitos de sílice soluble en álcali concentrado pero no soluble en ácido. Un tratamiento con ácido puede destruir la cementación (debida a carbonatos) hasta la mitad del volumen, no más. Un tratamiento con álcali o alteración de álcali y ácido puede destruir la cementación enteramente.

19. Fragipán (para órdenes, a cualquier profundidad hasta 1 m). Es un horizonte no superficial que parece ser cementado en seco pero se desmenuza en agua. Es muy firme y frágil en húmedo. Tiene densidad aparente alta en relación con los horizontes superyacentes. La permeabilidad es baja y las raíces son escasas. Hay fracturas blanqueadas verticales que forman prismas grandes de plano poligonal. La textura es intermedia. Faltan carbonatos.

20. A nivel de orden y suborden: Plintita continua y saturación con agua durante un período en la mayoría de los años, las dos a cualquier profundidad hasta 30 cm.

A nivel de gran grupo: Plintita (continua en Oxisol; que constituye más de la mitad del volumen de un subhorizonte en Alfisol, Inceptisol y Ultisol) a cualquier profundidad hasta 125 cm.

Plintita es un material bien meteorizado no endurecido sino que puede endurecerse con repetidos ciclos de desecación y humectación.

Constituye un horizonte en sí o agregados dentro de un horizonte. Consiste en arcilla rica en óxidos de Fe con contenido variable de cuarzo y otros minerales resistentes.

21. Horizonte plácico:

Andept: A cualquier profundidad hasta 1 m.

Acuod y a nivel de suborden: Sobre un horizonte espódico, un fragipán o un horizonte álbico; y saturación con agua o drenaje artificial.

Humod y ortod: En el horizonte espódico.

Un horizonte plácico es una capa delgada cementada (por hierro o manganeso con materia orgánica) de color oscuro o rojizo o pardusco. El espesor es de 2 a 10 mm o, a lo mucho, de 1 a 40 mm. No depende de la estratificación del material de partida ni existe en capas múltiples. Es una sola capa, ondulada o irregular, más o menos paralela a la superficie y, por lo general, dentro de 50 cm de profundidad. Es impermeable o lentamente permeable al agua y raíces.

22. Horizonte ágrico. Es un horizonte, resultante de la labranza, de acumulación por lixiviación, de arcilla y humus. Está inmediatamente debajo de la capa arada y contiene 5% o más en volumen de acumulaciones de arcilla y humus (con intensidad de 4 o menos y pureza de 2 o menos en húmedo) en láminas o en revestimientos en huecos de lombrices.

23. Molisol: Horizonte álbico sobre un horizonte argílico o nátrico, los dos horizontes con moteados o con concreciones de hierro o manganeso de diámetro mayor de 2 mm.

Acualf y Acult: Horizonte álbico (o ausencia del criterio 4) sobre un horizonte argílico, con cambio brusco de textura entre los dos horizontes y con permeabilidad del horizonte argílico lenta o muy lenta.

Un horizonte álbico es un horizonte de remoción de óxido de hierro y arcilla situado encima de un horizonte argílico, horizonte espódico, fragipán o una capa relativamente impermeable. Por la ausencia de cutanes, el color del horizonte es el color de los granos de limo y arena. Por lo general, resulta un contraste en color con cualquier horizonte argílico o espódico subyacente.

24. Horizonte sulfúrico a cualquier profundidad hasta 50 cm. Es un horizonte de pH (1:1 en agua) menor de 3,5 y con acumulaciones de jarosita, $KFe_3(SO_4)_2(OH)_2$, de color pajizo (matiz de 2,5Y o más amarillo y pureza de 6 o más). Resulta de la oxidación de sulfuros.

25. Materiales sulfurosos a cualquier profundidad hasta 50 cm (100 cm en Histosol). Son materiales saturados con agua con contenido de S, por la mayor parte en la forma de sulfuros, de 0,75% o más y más de 1/3 del contenido de carbonatos (equivalente de $CaCO_3$). Potencialmente puede formar el horizonte sulfúrico. Con la oxidación los sulfuros cambian a sulfatos y el pH baja.

26. Material fíbrico dominante sobre los materiales hémico y sáprico en la sección entre 30 y 90 cm o entre la superficie y (1) la roca, o (2) una capa mineral de espesor mayor de 40 cm, o (3) hielo (25 cm debajo del límite de congelación dos meses después del solsticio del verano) si uno de éstos está a una profundidad menor de 90 cm.

    Material fíbrico es un material orgánico (1) en el cual las fibras de tejidos vegetales constituyen más de 2/3 del volumen de materia orgánica y, después de frotamiento constituyen más de 4/10 del volumen, y (2) que cede un extracto con pirofosfato de sodio de color (absorbido en papel cromatográfico) de intensidad y pureza de 7/1, 7/2, 8/1, 8/2 u 8/3.

27. Material hémico dominante sobre los materiales fíbrico y sáprico en la sección entre 30 y 90 cm o entre la superficie y (1) roca, o (2) una capa mineral de espesor mayor de 40 cm, o (3) hielo (25 cm debajo del límite de congelación dos meses después del solsticio del verano) si uno de éstos está a una profundidad menor de 90 cm.

    Material hémico es un material orgánico intermedio entre los materiales fíbrico y sáprico.

28. Material sáprico es un material orgánico (1) en el cual las fibras constituyen menos de 1/3 del volumen o, después de frotación, constituyen menos de 1/10 del volumen, y (2) que cede un extracto con pirofosfato de sodio de color (absorbido en papel cromatográfico), de intensidad menor o pureza mayor de 5/1, 6/2 o 7/3.

29. Material fíbrico con más de 3/4 del volumen de fibras del musgo Sphagnum en toda la sección orgánica hasta 90 cm (o, si es menos profundo, hasta 25 cm debajo del límite de congelación dos meses después del solsticio del verano).

30. Material humilúvico que constituye la mitad o más de un horizonte de espesor de 2 cm o más. Es materia orgánica iluvial, es decir, trasladada por lixiviación de las partes superiores del perfil. Tiene una edad medida por radiocarbono, menor que los materiales superyacentes. Se encuentra en algunos suelos cultivados ácidos con drenaje artificial.

31. (Disponible para una adición)

32. Saturación con bases relativamente altas (CIC por NH_4OAc a pH 7,0 con excepción de órdenes y Boralf).

A nivel de orden (CIC por suma de cationes a pH 8,2): Temperatura media anual menor de 8°C o saturación de 35% o más a la menor profundidad de las siguientes: en suelos sin fragipán, de 180 cm, 125 cm debajo del límite superior del horizonte argílico o el contacto con roca continua y coherente; en suelos con fragipán, de 75 cm debajo del límite superior del fragipán o el contacto con roca continua y coherente.

Boralf (CIC por suma de cationes a pH 8,2): Saturación de 60% o más en todo el horizonte argílico y algún horizonte está seco alguna vez en la mayoría de los años.

Andept: Saturación de 50% o más en algún subhorizonte entre 25 y 75 cm de profundidad.

Ocrept: (1) Saturación de 60% o más en algún subhorizonte entre 25 y 75 cm de profundidad, o (2) con carbonatos.

Propept: Saturación de 50% o más en toda la sección entre 25 y 100 cm o la roca si ésta se encuentra a una profundidad menor.

Ortox: Saturación de 35% o más en toda la sección hasta una profundidad de 125 cm; sin epipedon antrópico.

Ustox: Saturación de 50% o más (35% o más, si hay menos de 35% de arcilla) y epipedon úmbrico o mólico más oscuro (en 1 unidad o más de intensidad o pureza en húmedo) que el horizonte óxico.

33. Cuando no se riega y en la mayoría de los años:

Entisol y Oxisol: Seco (tensión de 15 bares o más) en toda la sección de control[4] durante más de la mitad del tiempo en que la temperatura a 50 cm de profundidad es mayor de 5°C y húmedo en alguna parte de la sección de control menos de 90 días consecutivos cuando la temperatura a 50 cm es continuamente más de 8°C.

A nivel de orden: Con régimen de humedad indicado arriba (y horizonte superficial ligeramente duro a suelto o con estructura si hay horizonte argílico o nátrico) o sin horizonte argílico ni nátrico y (1) con horizonte sálico a cualquier profundidad hasta 75 cm y saturación con agua a cualquier profundidad hasta 100 cm por un mes o más,

4/ La sección de control para humedad tiene su límite superior a la profundidad de penetración en suelo seco (15 bares) de 25 mm de agua en 24 horas y su límite inferior a la penetración en suelo seco de 75 mm de agua en 48 horas o, en los dos casos, hasta un contacto con roca continua y coherente, horizonte petrocálcico o duripán a una profundidad menor. Si el límite superior está en tal contacto, el contacto mismo sirve para el control. La penetración varía con la textura: la sección puede ser entre 10 y 30 cm si hay más de 18% de arcilla y no más de 20% de arena (fina y más gruesa), entre 20 y 60 cm en suelos intermedios y entre 30 y 90 cm en suelos arenosos.

o (2) con régimen de humedad según el criterio 34 ó 35 y con conductividad del extracto de saturación de 2 mm ho/cm o más a 25°C en algún subhorizonte, superior a roca continua y coherente, a cualquier profundidad hasta 125 cm en suelos arenosos, 90 cm en suelos francos y 75 cm en suelos arcillosos.

Vertisol: con grietas verticales cerradas menos de 60 días consecutivos cuando la temperatura a la profundidad de 50 cm es continuamente mayor de 8°C.

34. Cuando no se riega y en la mayoría de los años:

Vertisol: Con grietas verticales abiertas por lo menos 90 días acumulativos.

Otros órdenes: Seco (tensión de 15 bares o más) en alguna parte de la sección de control[4/] por 90 días acumulativos o más; o en Alfisol, Tropept y Molisol, con horizonte cálcico o gípsico o un horizonte de acumulación de carbonatos a cualquier profundidad hasta 150 cm(o, en Alfisol y Molisol, dentro de 50 cm de la base de un horizonte argílico o cámbico).

35. Cuando no se riega y en la mayoría de los años, temperatura media anual menor de 22°C y una diferencia de temperatura media entre verano e invierno de 5°C o más a 50 cm de profundidad (o en el contacto con roca continua y coherente si es menos profundo) y:

Vertisol: Grietas verticales que se abren y cierran una vez por año, quedan abiertas por lo menos 60 días consecutivos entre el solsticio de verano y el equinoccio siguiente y quedan cerradas por lo menos 60 días consecutivos entre el solsticio de invierno y el equinoccio siguiente.

Otros órdenes: Seco (tensión de 15 bares o más) en toda la sección de control[4/] por lo menos 60 días consecutivos entre el solsticio del verano y el equinoccio siguiente y húmedo en toda la sección de control por lo menos 60 días consecutivos entre el solsticio de invierno y el equinoccio siguiente.

36. Saturación con agua (o con drenaje artificial), durante algún período del año cuando la temperatura a 50 cm de profundidad es más de 5°C y, con colores en húmedo. (Los requisitos de pureza no se aplican si el color es más rojo que 10YR debido a un material de partida rojo que queda rojo después de una extracción por citrato-ditionita):

Alfisol y Ultisol: (1) con moteados, concreciones de hierro y manganeso más gruesas de 2 mm, o pureza de 2 o menos inmediatamente debajo de cualquier horizonte Ap o A1 que tenga intensidad (en condición aplastada) menor de 3,5 y (2) en el horizonte argílico o nátrico (a) pureza dominante (en las superficies o dentro de los peds) de 1 o menos o de 2 o menos si hay moteados, o (b) en Ultisol, si la temperatura media anual es 15°C o más, moteados definidos o destacados con matiz dominante de 2,5Y o 5Y.

Entisol: En todos los horizontes debajo de 25 cm, colores de pureza de 0 o de matiz más azul que 10Y que cambian con exposición al aire; o a cualquier profundidad hasta 50 cm: (1) pureza menor de 1 (de 1 o menos si la intensidad es 4 o más) o con moteados y pureza de 2 o menos, o (2) con textura arenosa franca fina o más gruesa y (a) matiz más amarillo que 10YR y pureza de 1 o menos o con moteados y pureza de 3 o menos, o (b) matiz más azul que 10Y, o (c) cualquier color propio de los granos de arena sin revestimientos.

Espodosol: (1) Epipedon hístico, o (2) moteados en el horizonte álbico o en la parte superior del horizonte espódico, o (3) si la parte superior del horizonte espódico carece de hierro y manganeso libres o tiene intensidad menor de 4, (a) no hay revestimientos de óxidos de hierro en los granos de limo y arena en ninguna parte del horizonte espódico o del material inmediatamente subyacente que tenga intensidad de 4 o más y, si el horizonte espódico no está en contacto con un horizonte Ap, tiene una transición del horizonte álbico de espesor de 1 cm o más, o (b) hay moteados finos o medianos de hierro o manganeso en el material inmediatamente subyacente al horizonte espódico.

Histosol: Saturación con agua (o con drenaje artificial) durante 6 meses del año o más. (El suborden, Folist, no permite este criterio y en adición (1) no permite saturación con agua por más de unos pocos días después de lluvias abundantes y (2) requiere, a cualquier profundidad hasta 1 m, roca o material fragmentado con el material orgánico en los intersticios).

Inceptisol: Epipedon hístico o, a cualquier profundidad hasta 50 cm, pureza dominante de 1 o menos o, si hay moteados, de 2 o menos.

Molisol: (1) Epipedon hístico, o (2) saturación con sodio de más de 15% en la parte superior del epipedon mólico y que disminuye conforme aumenta la profundidad hasta más de 50 cm, o (3) pureza de 2 o menos en la parte inferior del epipedon mólico y con moteados definidos o destacados en ésta o con moteados de pureza menor de 2 (de 2 o menos si la intensidad es 5 o más) inmediatamente debajo del epipedon, o (4) pureza de 1 o menos en la parte inferior del epipedon mólico e inmediatamente subyacente a él (o, si hay horizonte cálcico en esta posición, a cualquier profundidad hasta 75 cm), (a) pureza menos de 1 (de 1 o menos si el matiz es 2,5Y o más amarillo), o (b) moteados y pureza menor de 1,5 (de 2 o menos si el matiz es 2,5Y; de 3 o menos si es 5Y o más amarillo), o (c) pureza sin límite si el matiz es más azul que 10Y o si el color es el de los mismos granos sin revestimientos.

Oxisol: (1) Epipedon hístico, o (2) pureza de 2 o menos inmediatamente debajo de cualquier epipedon que tenga intensidad menos de 3,5, o (3) a cualquier profundidad hasta 50 cm, moteados definidos o destacados y pureza dominante de 3 o menos.

37. Temperatura media anual de 8°C o más y una diferencia de la temperatura media entre verano e invierno, menor de 5°C a 50 cm de profundidad (30 cm en Histosol) o en el contacto con roca continua y coherente si éste es menos profundo.

38. Temperatura media anual menor de 8°C.

39. Temperatura media anual menor de 8°C y:

Histosol: (1) Con una capa congelada en la sección que va hasta la roca, hasta una capa mineral de espesor de más de 40 cm o hasta una profundidad de 130 cm (160 cm si en los 60 cm superiores hay 3/4 o más de fibras de musgos o densidad aparente menor de 0,1 g/cc) dos meses después del solsticio del verano, o (2) nunca congelado debajo de una profundidad de 5 cm.

Otros órdenes: Temperatura media del verano menor de 8°C o menor de 15° si no hay horizonte O (saturado con agua, menor de 6° o menor de 13° si no hay horizonte O).

40. Espodosol: Relación (base elemental) de Fe (extraído por citrato-ditionito) a C menor de 0,2 en algún subhorizonte del horizonte espódico que constituya 50% o más del área de cada pedon o que aparezca en lenguas inmediatamente debajo de una capa arada de color en húmedo de 3 o menos en intensidad y 2 o menos en pureza.

Inceptisol y Ultisol: Contenido de carbón orgánico de 12 Kg o más por metro cuadrado dentro de una profundidad de 1 m con exclusión de materiales orgánicos superficiales o, para Ultisol, contenido de carbón orgánico de 0,9% en los 15 cm superiores del horizonte argílico.

Oxisol: Contenido de carbón orgánico de 20 Kg o más por metro cuadrado dentro de una profundidad de 1 m con exclusión de materiales orgánicos superficiales; y saturación con bases (CIC por NH_4OAc a pH 7,0) menor de 35% en el horizonte óxico; y temperatura media anual menor de 22°C.

41. Con fragmentos no orientados de horizontes diagnósticos entre 25 y 100 cm de profundidad.

42. Contenido de carbón orgánico mayor de 0,2% a una profundidad de 125 cm o irregular con la profundidad; pendiente menor de 25%; y temperatura media anual mayor de 0°C.

43. En toda la sección desde 25 cm (o el fondo de la capa arada si es más profundo) hasta 100 cm (o roca continua y coherente si es menos profunda), textura arenosa franca fina o más gruesa con menos de 35% (en volumen) de fragmentos más gruesos que 2 mm. (Pueden ser pocas láminas franco arenosas de menos de 1 cm de ancho).

44. Entisol: En toda la sección entre 20 y 50 cm de profundidad, valor de n mayor de 0,7 y contenido de arcilla de 8% o más; y temperatura media anual mayor de 0°C.

El valor de n es el porcentaje de humedad del campo más 0,2 del porcentaje de arcilla menos 20, dividido por el porcentaje de arcilla, más 3 veces el porcentaje de materia orgánica.

$$n = (H + 0,2A - 20) / (A + 3\ MO)$$

Si el valor de n es mayor de 0,7 la resistencia es tan baja que una masa del suelo en la mano se puede exprimir totalmente entre los dedos.

Inceptisol: Con arcilla que deseca irreversiblemente con formación de agregados más gruesos de 2 mm.

45. Más de 95% de cuarzo (u otros minerales insolubles que no se pueden meteorizar y liberar Al o Fe) en la fracción arena.

46. Pureza del color dominante en húmedo menos de 1,5 en toda la sección hasta 30 cm, en la mitad o más de cada pedon.

47. A cualquier profundidad hasta 35 cm o roca continua y coherente, (1) densidad aparente menor de 0,85 g/cc y complejo de intercambio dominado por materia amorfa, o (2) contenido de materiales piroclásticos que incluyen vidrio de 60% o más en las fracciones limo, arena y grava. La dominancia de la materia amorfa (a rayos X) se indica por (1) un cociente de CIC (a pH 8,2) dividido por la fracción de arcilla (por métodos convencionales) de 150 meq/100 g de arcilla (2) pH de 1 g de suelo en 50 ml de Naf (1 N) más de 9,4 después de 2 minutos si hay arcilla suficiente para retención de 20% de agua a 15 bares, y (3) relación entre la retención de agua (a 15 bares) y el porcentaje de arcilla mayor de 1, y (4) más de 1% de materia orgánica, y (5) una reacción endotérmica a temperatura baja en el análisis térmico diferencial.

48. No tixotrópico en ningún horizonte y con promedio de retención de agua a 15 bares menor de 20% en la sección entre 25 y 100 cm (o roca si se encuentra a una profundidad menor).

49. Saturación con sodio de más de 15% en la mitad o más de la sección hasta 50 cm y que disminuye conforme aumenta la profundidad hasta más de 50 cm y saturación con agua a cualquier profundidad hasta 100 cm por 1 mes o más del año cuando el suelo no está congelado.

50. En las fracciones más finas de 7,5 cm, contenido de $CaCO_3$ mayor de 40% en un epipedon mólico de no más de 50 cm de espesor o inmediatamente debajo de él; sin horizonte argílico ni horizonte cálcico.

51. Volumen de excrementos y huecos de lombrices y madrigueras rellenas, de 50% o más en el epipedon mólico debajo de Ap (para Borol, gran cantidad de excrementos en un epipedon de espesor de más de 50 cm) y de 25% o más en un horizonte de transición inferior si el epipedon no yace sobre roca continua, coherente y dura.

52. Relación (base elemental) entre Fe (extraído por citrato-ditionito) y C de más de 6 en todos los subhorizontes del horizonte espódico.

53. Alfisol: Colores, en todo el horizonte argílico, de matiz más rojo que 5YR, de intensidad en húmedo menor de 4 y de intensidad en seco no más de 1 unidad más clara.

Ultisol: Intensidad de color en húmedo menor de 4 en todo el epipedon e intensidad en seco del horizonte argílico menor de 5 y no más de 1 unidad más clara que la intensidad en húmedo.

54. Lenguas de un horizonte álbico que se extienden dentro del horizonte argílico.

55. Sin horizonte álbico continuo; con límite superior del horizonte argílico interrumpido; y en el horizonte argílico nódulos separados, de 2,5 cm a 5 hasta 30 cm de diámetro, que tienen acumulación de hierro en una zona exterior de manera que esta zona es ligeramente endurecida y de color más vivo (matiz más rojo o pureza más alta) que la zona interior.

56. A cualquier profundidad hasta 100 cm (125 cm en Ortox) capas cementadas o nódulos de grava (que constituyen 20% o más del volumen de un subhorizonte) que constan de 30% o más de gibsita; y sin plintita continua en la sección hasta 30 cm.

57. Retención de bases (es decir, CIC por NH_4Cl o por suma de Al y bases intercambiables) de no más de 1 meq/100 g de arcilla [3] en algún subhorizonte del horizonte óxico y, en Ortox, sin estructura en el horizonte óxico.

58. Algún subhorizonte más oscuro y con más carbón orgánico que el subhorizonte superyacente.

59. Boralf y Borol: Profundidad desde la superficie mineral hasta el horizonte argílico de más de 60 cm y textura más fina que arenosa franca fina en toda esta sección (para Boralf, en algún subhorizonte de esta sección).

Otros subórdenes: (1) Profundidad hasta la roca, mayor de 50 cm; y horizonte argílico que tiene más de 35% de arcilla en la parte superior y, en el límite superior, un incremento de: (a) 10% de arcilla o más si es un límite con la capa arada, (b) 15% de arcilla o más en una distancia vertical de 2,5 cm, (c) 20% de arcilla o más en una

distancia vertical de 7,5 cm. (2) Horizonte argílico en el cual, hasta una profundidad de 150 cm, el contenido de arcilla no disminuye a un valor de 80% o menos del contenido máximo (o, para Alfisol y Ultisol, si disminuye, hay en los subhorizontes deficientes en arcilla indicios de eluviación de arcilla o más de 5%, en volumen, de plinita) y: (a) el matiz es más rojo que 10YR y la pureza es mayor de 4, (b) hay moteados de matiz de 7, 5YR o más rojo o de pureza mayor que 5, (c) el matiz es 2,5YR o más rojo y la intensidad es menos de 4 en húmedo y de 5 en seco en la mayoría del horizonte, (d) el contenido de minerales que se pueden meteorizar en la fracción de 20 a 200 micras en los 100 cm superiores del horizonte argílico es menos de 10%.

Estos requisitos se aplican en esta manera:

Argid:	1a o 1b
Udalf:	2a, 2b o 2c.
Ustalf:	1b, 1c, 2a, 2b, o 2c.
Xeralf:	1b, 1c, 2a o 2b.
Udol:	2a o 2b.
Ustol:	1b, 1c, 2a o 2b.
Xerol:	1b, 1c, 2a o 2b.

Subórdenes de Ultisol: 2d.

Cuadro 1. Criterios para órdenes

Orden	Criterios																					
	1	2	3	4	7	8	9	10	11	12	13	14	15	17	18	19	20	24	25	32	33	44
Alfisol	O	O	O	P	O	A	A	O	O	I	P	P	P	I	P	P	O	O	O	R	O	O
Aridisol	O	O	O	O	O	A	A	O	O	A	A	A	A	A	A	I	O	O	O	P	R	O
Entisol	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	P	P	P	P
Espodosol	O	I	I	P	O	P	I	R	I	I	I	I	I	I	P	P	I	O	O	P	I	O
Histosol	R																					
Inceptisol	O	O	O	A	A	O	O	O	O	A	A	A	O	O	A	A	O	A	O	P	O	O
Molisol	O	O	R	O	O	P	P	O	O	P	P	P	P	P	P	I	O	O	O	P	P	O
Oxisol	O	I	P	P	O	O	O	O	A	I	I	I	I	I	I	I	A	O	O	P	P	O
Ultisol	O	O	O	P	O	R	I	O	O	I	I	I	I	I	I	P	O	O	O	O	I	O
Vertisol	O	R	P	P	I	P	P	O	O	P	P	P	P	I	P	I	O	O	O	P	P	O

R = Requisito

A = Requisito alternativo

P = Criterio permisible

I = Criterio permisible pero muy improbable

O = Criterio no permisible o imposible por definición

Cuadro 2. Criterios para subórdenes y grandes grupos de Alfisol.

Suborden y gran grupo	Criterios																		
	4	9	14	18	19	20	22	23	32	34	35	36	37	38	39	53	54	55	59
Acualf										P	P	R		P					
Boralf										P	O	O		R					
Udalf										O	O	O		O					
Ustalf										R	O	O		O					
Xeralf										P	R	O		P					
Albacualf	P	O		O	O	O		R					O				O		
Duracualf	P	P		R	I	O		P					P				P		
Fragiacualf	P	O		O	R	O		P					O				P		
Glosacualf	P	O		O	O	O		P					O				R		
Natracualf	P	R		O	I	O		O					P				O		
Ocracualf	O	O		O	O	O		O					O				O		
Plintacualf	P	I		I	I	R		P					P				P		
Tropacualf	P	O		O	P	O		P					R				P		
Umbracualf	R	O		O	O	O		O					O				O		
Crioboralf		O			O				P						R		O		O
Eutroboralf		O			O				R						O		O		O
Fragiboralf		I			R				I						P		P		O
Glosoboralf		O			O				O						O		O		O
Natriboralf		R			O				O						P		O		O
Paleboralf		O			P				P						P		R		R
Agrudalf		P			P		R						P				P	P	P
Ferrudalf		O			P		O						O				P	R	P
Fragiudalf		O			R		O						P				O	O	P
Fraglosudalf		O			R		O						P				R	O	P
Glosudalf		O			O		O						O				R	O	P
Hapludalf		O			O		O						O				O	O	O
Natrudalf		R			I		O						P				O	O	O
Paleudalf		O			O		O						O				O	O	O
Tropudalf		O			O		O						R				P	P	P
Durustalf		P	O	R		O										P			P
Haplustalf		O	O	O		O										O			Q
Natrustalf		R	P	O		O										O			O
Paleustalf		O	A	O		O										P			A
Plintustalf		I	I	O		R										P			P
Rodustalf		O	O	O		O										R			O
Durixeralf		P	O	R		O										P			P
Haploxeralf		O	O	O		O										O			O
Natrixeralf		R	P	O		O										O			O
Palexeralf		O	A	O		O										O			A
Plintoxeralf		I	I	O		R										P			P
Rodoxeralf		O	P	O		O										R			P

Cuadro 3. Criterios para subórdenes y grandes grupos de Aridisol

Suborden y gran grupo	Criterios							
	8	9	13	14	15	17	18	59
Argid	A	A						
Ortid	O	O						
Durargid		O		I			R	P
Haplargid		O		O			O	O
Nadurargid		R		I			R	O
Natrargid		R		O			O	O
Paleargid		P		A			O	A
Calciortid			R	O	O	O	O	
Cambortid			O	O	O	O	O	
Durortid			P	O	P	O	R	
Gipsiortid			P	O	R	O	O	
Paleortid			P	R	P	O	O	
Salortid			P	I	P	R	I	

Cuadro 4. Criterios para subórdenes y grandes grupos de Entisol.

Suborden y gran grupo	Criterios											
	25	33	34	35	36	37	39	41	42	43	44	45
Acuent	A				A			P	P	P		
Arent	O				O			R	P	P		
Fluvent	O				O			O	R	O		
Ortent	O				O			O	O	O		
Psament	O				O			O	P	R		
Criacuent	O					O	R		P	P	O	
Fluvacuent	O					P	O		R	O	O	
Haplacuent	O					O	O		O	O	O	
Hidracuent	O					P	P		P	I	R	
Psamacuent	O					P	O		P	R	O	
Sulfacuent	R					P	P		P	P	P	
Tropacuent	O					R	O		O	O	O	
Criofluvent		P	P	P		O	R					
Torrifluvent		R	P	P		P	O					
Tropovluvent		O	O	O		R	O					
Udifluvent		O	O	O		O	O					
Ustifluvent		O	R	O		P	O					
Xerofluvent		O	P	R		O	O					
Criortent		P	P	P		O	R					
Torriortent		R	P	P		P	O					
Troportent		O	O	O		R	O					
Udortent		O	O	O		O	O					
Ustortent		O	R	O		P	O					
Xerortent		O	P	R		O	O					
Criopsament		P	P	P		O	R					P
Cuarcipsament		O	P	P		P	O					R
Torripsament		R	P	P		P	O					P
Tropopsament		O	O	O		R	O					O
Udipsament		O	O	O		O	O					O
Ustipsament		O	R	O		P	O					O
Xeropsament		O	P	R		O	O					O

Cuadro 5. Criterios para subórdenes y grandes grupos de Espodosol.

Suborden y gran grupo	Criterios							
	18	19	21	36	37	39	40	52
Acuod	A		A	A			P	P
Ferrod	O		O	O			O	R
Humod	O		O	O			R	O
Ortod	O		O	O			O	O
Criacuod	P	O	O		O	R	P	
Duracuod	R	P	P		P	O	P	
Fragiacuod	O	R	O		P	P	P	
Haplacuod	O	O	O		O	O	R	
Placacuod	O	P	R		P	P	P	
Sideracuod	O	O	O		O	O	O	
Tropacuod	O	O	O		R	O	P	
Criohumod		O	O		O	R		
Fragihumod		R	O		O	P		
Haplohumod		O	O		O	O		
Placohumod		P	R		P	P		
Tropohumod		P	O		R	O		
Criortod		O	O			R		
Fragiortod		R	O			P		
Haplortod		O	O			O		
Placortod		P	R			P		

Cuadro 6. Criterios para subórdenes y grandes grupos de Histosol.

Suborden y gran grupo	Criterios									
	24	25	26	27	29	30	36	37	38	39
Fibrist	O	O	R	O	P		R			
Folist	I	I	P	P	O		O			
Hemist	A	A	P	A	O		R			
Saprist	O	O	O	O	O		R			
Borofibrist					O	O		O	R	O
Criofibrist					O	O		O	P	R
Luvifibrist					I	R		P	P	P
Medifibrist					O	O		O	O	O
Sphagnofibrist					R	O		P	P	P
Tropofibrist					O	O		R	O	O
Borofolist								O	R	O
Criofolist								O	P	R
Tropofolist								R	O	O
Borohemist	O	O				O		O	R	O
Criohemist	O	O				O		O	P	R
Luvihemist	O	O				R		P	P	P
Medihemist	O	O				O		O	O	O
Sulfihemist	O	R				I		P	P	P
Sulfohemist	R	I				P		P	P	P
Tropohemist	O	O				O		R	O	O
Borosaprist								O	R	O
Criosaprist								O	P	R
Medisaprist								O	O	O
Troposaprist								R	O	O

Cuadro 7. Criterios para subórdenes y grandes grupos de Inceptisol.

Suborden y gran grupo	Criterios																			
	4	5	7	18	19	20	21	24	32	34	35	36	37	39	40	44	47	48	49	58
Acuept	P	P	P					A				A	P				P		A	
Andept	P	P	P					O				O	P				R		O	
Ocrept	O	O	O					O				O	O				O		O	
Plaguept	O	O	R					O				O	P				O		O	
Tropept	P	P	O					O				O	R				O		O	
Umbrept	A	A	O					O				O	O				O		O	
Andacuept	P				O	O		O					P	O			R		O	
Criacuept	P				O	I		O					O	R			P		P	
Fragiacuept	P				R	I		O					P	P			P		I	
Halacuept	P				O	O		O					P	O			P		R	
Haplacuept	O				O	O		O					O	O			O		O	
Humacuept	R				O	O		O					O	O			O		O	
Plintacuept	P				O	R		O					P	O			I		I	
Sulfacuept	P				I	I		R					P	P			P		P	
Tropacuept	P				O	O		O					R	O			O		O	
Criandept				P			P		P					R		P		P		
Durandept				R			I		P					O		I		P		
Distrandept				O			O		O					O		O		O		
Eutrandept				O			O		R					O		O		O		
Hidrandept				O			I		P					O		R		I		
Placandept				O			R		P					O		O		P		
Vitrandept				O			O		P					O		O		R		
Criocrept				O	O				P	P	P			R						
Durocrept				R	O				P	P	P			P						
Distrocrept				O	O				O	O	O			O						
Eutrocrept				O	O				R	O	O			O						
Fragiocrept				I	R				I	I	P			P						
Ustocrept				O	O				P	R	O			O						
Xerocrept				O	O				P	P	R			O						
Distropept									O	P					O					O
Eutropept									R	O					P					O
Humitropept									O	P					R					O
Sombritropept									P	P					P					R
Ustropept									R	R					P					O
Criumbrept					O						P			R						
Fragiumbrept					R						P			P						
Haplumbrept					O						O			O						
Xerumbrept					O						R			O						

Cuadro 8. Criterios para subórdenes y grandes grupos de Molisol.

Suborden y gran grupo	Criterios													
	8	9	13	14	18	23	34	35	36	38	39	50	51	59
Acuol			A			O	P	P	A	P		P		
Albol			O			R	P	P	P	P		O		
Borol			O			O	P	O	O	R		O		
Rendol			O			O	P	P	P	P		R		
Udol			O			O	O	O	O	O		O		
Ustol			O			O	R	O	O	O		O		
Xerol			O			O	P	R	O	P		O		
Argiacuol	R	O	O		O						O			
Calciacuol	O	O	R		O						O			
Criacuol	P	P	P		P						R			
Duracuol	P	P	P		R						O			
Haplacuol	O	O	O		O						O			
Natracuol	O	R	O		O						O			
Argialbol		O												
Natralbol		R												
Argiborol	R	O	O								O		P	O
Calciborol	O	O	R								O		O	O
Crioborol	P	P	P								R		P	O
Haploborol	O	O	O								O		O	O
Natriborol	O	R	O								O		P	O
Paleborol	P	O	O								P		P	R
Vermiborol	O	O	P								O		R	O
Argiudol	R												P	O
Hapludol	O												O	O
Paleudol	P												P	R
Vermudol	O												R	O
Argiustol	R	O	O	O	O								P	O
Calciustol	O	O	R	P	O								P	O
Durustol	P	P	P	O	R								P	P
Haplustol	O	O	O	O	O								O	O
Natrustol	O	R	O	P	O								P	O
Paleustol	P	O	O	A	O								P	A
Vermustol	O	O	O	O	O								R	O
Argixerol	R	O	O	O	O									O
Calcixerol	O	O	R	P	O									O
Durixerol	P	P	P	O	R									P
Haploxerol	O	O	O	O	O									O
Natrixerol	O	R	O	P	O									O
Palexerol	P	O	O	A	O									A

Cuadro 9. Criterios para subórdenes y grandes grupos de Oxisol.

Suborden y gran grupo	Criterios									
	4	20	32	33	34	36	40	56	57	58
Acuox		A		I	P	A	P			
Humox		O		O	O	O	R			
Ortox		O		O	O	O	O			
Torrox		O		R	P	O	I			
Ustox		O		O	R	O	P			
Gibsiacuox	P	P						R		
Ocracuox	O	O						O		
Plintacuox	P	R						O		
Umbracuox	R	O						O		
Acrohumox								O	R	O
Gibsihumox								R	P	O
Haplohumox								O	O	O
Sombrihumox								P	P	R
Acrotox	P		P					O	R	
Eutrortox	P		R					O	O	
Gibsiortox	P		P					R	P	
Haplortox	O		O					O	O	
Umbriortox	R		O					O	O	
Acrustox			P						R	
Eutrustox			R						O	
Haplustox			O						O	

Cuadro 10. Criterios para subórdenes y grandes grupos de Ultisol.

Suborden y gran grupo	Criterios										
	4	19	20	23	34	35	36	37	40	53	59
Acult					P	P	R		P		
Humult					P	P	O		R		
Udult					O	O	O		O		
Ustult					R	O	O		O		
Xerult					P	R	O		O		
Albacult	P	O	O	R				P			P
Fragiacult	P	R	O	P				P			P
Ocracult	O	O	O	O				O			O
Paleacult	P	O	O	O				P			R
Plintacult	P	I	R	P				P			P
Tropacult	P	O	O	O				R			O
Umbracult	R	O	O	O				O			O
Haplohumult								O			O
Palehumult								P			R
Tropohumult								R			O
Fragiudult		R	I					P		P	P
Hapludult		O	O					O		O	O
Paleudult		O	O					P		P	R
Plintudult		O	R					P		P	P
Rodudult		O	O					P		R	O
Tropudult		O	O					R		O	O
Haplustult			O							O	O
Paleustult			O							P	R
Plintustult			R							P	P
Rodustult			O							R	O
Haploxerult											O
Palexerult											R

Cuadro 11. Criterios para subórdenes y grandes grupos de Vertisol.

Suborden y gran grupo	Criterios			
	33	34	35	46
Torrert	R	P	O	
Udert	O	O	O	
Ustert	O	R	O	
Xerert	P	P	R	
Cromudert				O
Peludert				R
Cromustert				O
Pelustert				R
Cromoxert				O
Peloxerert				R

BIBLIOGRAFIA

1. ETCHEVEHERE, PEDRO H. (Traductor), 1962. Séptima Aproximación. Un Sistema Comprensible de Clasificación de Suelos. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria, Miscelánea no. 3. Buenos Aires, Argentina.

2. MALDONADO P., FAUSTO, 1970. La adaptación al castellano de los nombres usados en la 7a Aproximación. (Mecanografiado).

3. SOIL SURVEY STAFF, 1960. Soil Classification. A Comprehensive System. 7th Approximation. Soil Conservation Service, United States Department of Agriculture, USGPO, Washington, D. C.

4. SOIL SURVEY STAFF, 1967. Supplement to Soil Classification System (7th Approximation). Soil Conservation Service, United States Department of Agriculture, USGPO, Washington, D. C.

5. SOIL SURVEY STAFF, 1968. Supplement to Soil Classification System (7th Approximation). Histosols. Soil Conservation Service, United States Department of Agriculture, USGPO, Washington, D. C.

6. VESSEL, ANTON, 1968. Curso de Génesis y Clasificacion de Suelo. Clasificación de Suelos. Catastro y Recursos Naturales, División de Suelos y Uso de la Tierra. Managua, Nicaragua.

LA ADAPTACION AL CASTELLANO DE LOS NOMBRES USADOS EN LA 7a. APROXIMACION

Fausto Maldonado P.*

INTRODUCCION

El sistema de clasificación de suelos conocido como la "7a. Aproximación" contó al elaborarse con el concurso de científicos de diversos países. Por esta razón ha llegado a ser considerado, desde que vió la luz como un método de correlación en la clasificación de los suelos en todo el mundo.

Indudablemente esta característica cosmopolita del sistema ha facilitado, en gran parte, la clasificación de los suelos y además ha permitido la comparación de los estudios de morfología y génesis de los suelos del mundo.

Al mismo tiempo, la divulgación del sistema y su empleo en muchos países ha originado ciertos problemas en lo que se refiere a la necesidad de traducir o adaptar los nombres de la 7a. Aproximación a otros idiomas. Esta necesidad se hace sentir más hoy al surgir las propuestas de emplear este sistema de clasificación de suelos en la América Latina (1,2).

Este trabajo no trata de establecer normas. Hay quien piensa que no se necesita adaptar ningún nombre de la 7a. Aproximación a otro idioma. Generalmente esta persona sabe inglés y quiere demostrarlo pero, en la práctica, en algunos países que hablan otros idiomas se ha tratado de adaptar los nombres a éstos (6). Es por una razón muy simple; la mayor parte de los nombres se basan en raíces griegas o latinas, aunque la construcción del nombre de una categoría dada sea arbitraria, como veremos más adelante.

CONSIDERACIONES GENERALES

Partiendo de la idea de que el sistema de clasificación está formado a partir de raíces griegas y latinas en su mayor parte, tendremos que hacer ciertas observaciones con respecto a la ortografía y la pronunciación pues en inglés, como en francés, se mantiene mayor fidelidad en cuanto a la ortografía griega o latina que en el castellano, una de cuyas características es la de simplificar la ortografía. Con la pronunciación sucede a veces lo contrario, pues el castellano ha sido más fiel a las lenguas que le dieron origen. Esto ocasiona problemas ya que se presenta el caso de palabras con significado y ortografía distintos en inglés pero que en castellano pueden tener ortografía similar. Por ejemplo, se escribiría "paralítico" para designar lo que en inglés es "paralytic" y también lo que es "paralithic".

---

* Anteriormente Edafólogo Asistente en el Centro de Enseñanza e Investigación del Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas de la OEA, Turrialba, Costa Rica.

En cuanto a la pronunciación, no hay duda de que muchos nombres van a ser distintos de lo que se pronuncia en inglés, como sucede con los prefijos ulti, (de ultimus, último) o ud (de udus, húmedo).

La diferencia nace de que el castellano es una lengua romance mientras que el inglés, siendo de origen germánico, tiene influencia indirecta del latín.

Al hablar de la pronunciación tenemos que mencionar también la ortografía diferente que conduce a pronunciación a veces diferente, a veces similar. Por ejemplo, el prefijo griego correspondiente a agua, hidr en castellano, es hydri en inglés y se pronuncia de manera diversa; el prefijo acu, del latín agua, con el mismo significado, se escribe de manera distinta en los dos idiomas y se pronuncia en forma similar, pero no siempre: tenemos así que el nombre aquent se escribe así en la edición inglesa de la 7a. Aproximación y nosotros debemos decidirnos por mantener nuestra pronunciación y escribir acuent o mantener la ortografía y pronunciar akent.

Otro problema que hay que considerar concierne a ciertas diferencias de otro tipo. Podemos anotar en primer lugar que en castellano no hay palabras que terminen con una consonante fuerte (p, t), y esta es una característica propia de otros idiomas también (italiano, portugués). El problema se vuelve mayor cuando después de p, tenemos t en la misma sílaba, como sucede con todos los nombres de subórdenes del orden inceptisoles: andept, tropept, etc.

Algo similar a lo anterior sucede, esta vez al comienzo de una palabra, cuando empieza con s seguida de consonante. En castellano no existe ninguna palabra con esta combinación y las que se derivan del latín son equivalentes a las de otros idiomas, han recibido siempre la adición de la letra e que forma la sílaba con la s. Ejemplos: stella (latín): estrella; speculum, specchio (latín, italiano): espejo; studio, study (italiano, inglés) estudio; specific (inglés): específico.

La simplificación ortográfica del castellano a veces puede ocasionar dificultades, como en el caso de 'paralithic' y 'paralytic', que hemos visto, pero casi siempre ayuda muchísimo aunque exige transformaciones que se hacen más notables en el lenguaje científico. A continuación anotamos ciertos equivalente sea de letras simples, sea de dobles o combinaciones que normalmente se escriben de manera diversa en castellano y otros idiomas:

y = i	=	hydraté, hydrated	=	hidratado
		typique, typic	=	típico
mm = m	=	ammonia	=	amoníaco
nn = n	=	anniversaire	=	aniversario

ch	=	c	=	christian	=	cristiano
ss	=	s	=	assimilate	=	asimilar
ff	=	f	=	difference	=	diferencia
th	=	t	=	anthropology	=	antropología
ph	=	f	=	photography	=	fotografía
k	=	c	=	kaleidoscope kaolin	= =	caleidoscopio caolín
qua, e	=	cua, e	=	aquatic	=	acuático
gg	=	g	=	agglomerate	=	aglomerado
ll	=	l	=	allegro allophane	= =	alegre alofana

No vamos a repetir aquí las reglas de nomenclatura de las diversas clases de la 7a Aproximación y sólo diremos que los nombres se forman de manera hasta cierto punto arbitraria pues el tomar un "elemento formador", una sílaba del nombre del orden, para que con un prefijo forme el del suborden, y así en adelante, no es cosa corriente en ninguna ciencia. Sin embargo, esta forma de construcción no ocasiona mayores dificultades en la adaptación a otros idiomas.

El problema es mayor con los nombres de los subgrupos y familias en que el nombre del grupo no se añade un prefijo sino un adjetivo calificativo. En este caso hay que tener en cuenta el orden de las palabras en castellano y en inglés (el adjetivo va normalmente después del sustantivo en el primero) y además considerar que hay más de un adjetivo en el nombre de una familia de suelos.

Con estas consideraciones pasaremos a dar una lista de los nombres de los horizontes de diagnóstico, de las clases una por una y de las propiedades o características anotadas en la 7a. Aproximación (8) y sus suplementos de 1964, 67 y 68 (10, 11, 12).

HORIZONTES

Horizontes diagnósticos

Se podría extender la acepción que tienen diagnosis y diagnóstico en botánica (3) a la edafología, específicamente a la clasificación de los suelos.

En cuanto a los nombres, la ortografía castellana basta para saber la pronunciación:

Inglés	Español
epipedon	epipedon
mollic	mólico
anthropic	antrópico
umbric	umbrico
ochric	ocrico
histic	hístico
plaggen	epipedon de "plaggen"

No consideramos conveniente traducir "plaggen epipedon" por epipedon plágeno, y si se ha mantenido en inglés con la forma original creemos que se debe hacer lo mismo en castellano ("Plaggen" es nombre alemán).

Horizontes de profundidad

argillic	argílico
spodic	espódico*
agric	ágrico
oxic	óxido
cambic	cámbico
natric	nátrico

Otros horizontes

calcic	cálcico
gypsic	gípsico

*Ver la aclaración correspondiente a los Espodosoles con respecto a las letras iniciales.

Inglés	Español
salic	sálico
albic	álbico
petrocalcic	petrocálcico
placic	plácico

Capas endurecidas

La 7a. Aproximación señala dos tipos de capas endurecidas. No nos parece correcto adaptar del inglés el nombre genérico de estas capas y llamarlas "panes" (9) pero con el nombre específico si podemos mantenerlo como en inglés:

Duripan (s)	Duripán (es)
Fragipan (s)	Fragipán (es)

OTRAS CARACTERISTICAS DEL SUELO

Abrupt textural change creemos que se puede traducir por cambio brusco de textura y no cambio abrupto (9) que en castellano tiene sentido más restringido (3).

Gilgai. Es un nombre local, como rendzina o podzol y debe permanecer como tal aunque presente un problema de pronunciación puesto que el sonido de la primera letra de esta palabra no tiene representación gráfica en castellano.

Self-mulching. No nos parece que esta característica puede traducirse por "auto-inversión" (9), o al menos no corresponde a la definición de la Sociedad Norteamericana de la Ciencia del Suelo (4). Sin embargo, no encontramos una palabra o frase para reemplazarla. Teixeira (7) traduce este término como autoprotección y aunque no es una traducción literal, da una idea bastante clara del fenómeno conocido con este nombre.

Mottles. La palabra moteado para designar un material con manchas de color distinto al que predomina en un horizonte dado se usa ahora mucho y creemos que ésta es una razón para seguir utilizándola. No sucede lo mismo con mota (mottle), que en castellano tiene un sentido muy distinto (3). Creemos que mottles puede traducirse con más propiedad por manchas.

Permafrost. El lenguaje técnico-científico abunda en términos compuestos en cierto modo arbitrariamente y éste es uno de esos casos. Sin embargo, creemos que el uso puede darnos la pauta a seguir pues es más fácil decir permafrost que congelado permanentemente. Sin embargo, puede ser que llegue a presentarse algún cambio en las letras finales st.

Plinthite. Con esta palabra se puede hacer lo mismo que con tantos nombres de rocas y adaptarlo de la manera más simple: plintita, tal como se ha hecho con laterita, andesita, etc.

Slickensides. Tal vez lo mejor sea mantener el mismo nombre sin cambio pues no se podría encontrar una sola palabra para reemplazarlo. Una frase sería más bien larga.

Sequum. Este nombre, pese a derivarse del latín, presenta dificultad en su adaptación. En inglés hay algunas palabras tomadas del latín, con terminación similar y que en plural la cambian, como datum y data, sequum y sequa. Alguien que conozca bien el latín puede aconsejarnos sobre el uso de este término. Hasta tanto puede mantenerse tal como en inglés.

Lithic contact. No hay dificultad en traducir esto como contacto lítico, siendo una palabra que se deriva del griego y que la tenemos en castellano.

Paralithic contact. El nombre significa "parecido a piedra" y tal vez es más fácil decir contacto litoide, con significado similar; esto para evitar el sentido de paralítico, el que sufre parálisis.

CATEGORIAS

Ordenes

La única diferencia general de los nombres de los órdenes, se presenta en su plural:

Inglés		Castellano	
Entisol	(s)	Entisol	(es)
Vertisol	(s)	Vertisol	(es)
Inceptisol	(s)	Inceptisol	(es)
Aridisol	(s)	Aridisol	(es)
Mollisol	(s)	Molisol	(es)

Inglés	Castellano
Spodosol (s)	Espodosol (es).
Alfisol (s)	Alfisol (es)
Ultisol (s)	Ultisol (es)
Oxisol (s)	Oxisol (es)
Histosol (s)	Histosol (es)

Hay dos órdenes (subrayados) cuyos nombres pueden variar al adaptarlos al castellano: Molisol no puede escribirse con "ll" que se pronuncia de manera distinta a una doble l de otros idiomas. Espodosol es un ejemplo del caso de palabra que empieza con s seguida de consonante, forma que no existe en castellano.

Subórdenes

En todos los nombres de subórdenes habrá que decidir si se toma el nombre en singular y sólo se adapta el plural o si se transforman el singular y el plural. Para los americanos, que han recibido mayor influencia de lenguas extranjeras o indígenas en el "castellano" que hablan, esto no representa un problema mayor pues hay sonidos que no existen en castellano y sí en las lenguas mencionadas; por ejemplo el sonido de la j (delante de vocal, en francés), el de sh en inglés, etc. Sin embargo, hay una tendencia natural a adaptar muchísimas palabras al castellano y aun entre especialistas se oye hablar de andeptos, acueptos, etc. Tal vez esto sea sólo en el orden de los Inceptisoles debido al elemento de formación que se extrae del nombre del orden. Como se trata de nombres propios puede no ser necesario formar plurales y así decir: los (suelos) Xerert, los Andept, unos Humod, etc.

Creemos que se pueden mantener todos los nombres de subórdenes tal como en inglés en lo que se refiere al elemento de formación; pero habrá que cambiar la ortografía en el prefijo que se añade para formar el nombre. Además surge la dificultad de la formación del plural: humods o humodes? Ustalfs o ustalfes? Se dice en inglés podsols, latosols y nosotros decimos podsoles, latosoles, esto puede guiarnos al formar el plural, tendremos entonces los siguientes subórdenes (11):

1. Orden Entisoles

Aquent (s)	Acuent (es)
Arent (s)	Arent. (es)

Fluvent (s)	Fluvent (es)
Orthent (s)	Ortent (es)
Psamment (s)	Psament (es)

2. Vertisoles

Torrert (s)

Udert (s) Sólo cambia el plural añadiendo es

Ustert (s)

Xerert (s)

3. Inceptisoles

Como se mencionó, hay un problema más notable en este grupo debido al elemento de formación ept. Algunas personas añaden una o al final para adaptarlo al castellano y así hablan de andepto, acuepto, etc.

Personalmente opinamos que se debe mantener la escritura y pronunciación de ese elemento de formación, pero el uso de sistema tal vez llegue a cambiarlo. Anotamos por tanto los nombres con las dos formas:

Andept	Andept (o)
Aquept	Acuept (o)
Ochrept	Ocrept (o)
Tropept	Tropept (o)
Umbrept	Umbrept (o)

En cuanto a Plaggept, debería escribirse en castellano Plaguept (o) para mantener la pronunciación original alemana y esto lo decidirá lo que llegue a dominar con el uso, sea la pronunciación, sea la forma de escribir.

El plural de los nombres se hará según las reglas normales, añadiendo es si se decide mantener la terminación original, s si se cambia la terminación.

4. Aridisoles

Argid (s)	Argid (es)
Orthid (s)	Ortid (es)

Hay que mencionar que la pronunciación de estos dos nombres será diferente en castellano y en inglés, y lo mismo el plural.

5. Molisoles

El elemento de formación será en castellano ol y no oll, que se pronuncia de otra manera.

Alboll (s)	Albol (es)
Aquoll (s)	Acuol (es)
Boroll (s)	Borol (es)
Rendoll (s)	Rendol (es)
Udoll (s)	Udol (es)
Ustoll (s)	Ustol (es)
Xeroll (s)	Xerol (es)

6. Espodosoles

Aquod (s)	Acuod (es)
Ferrod (s)	Ferrod (es)
Humod (s)	Humod (es)
Orthod (s)	Ortod (es)

7. Alfisoles

Aqualf (s)	Acualf (es)
Boralf (s)	Boralf (es)
Udalf (s)	Udalf (es)

Ustalf	(s)	Ustalf	(es)
Xeralf	(s)	Xeralf	(es)

8. Ultisoles

Aquult	(s)	Acult	(es)

La tendencia a la simplificación puede obligar a suprimir una u de este nombre. Cambios en la formación de los nombres se han producido ya en la versión original en inglés de la 7a. Aproximación y pueden permitirse en castellano (10).

Humult	(s)	Humult	(es)
Udult	(s)	Udult	(es)
Ustult	(s)	Ustult	(es)
Xerult	(s)	Xerult	(es)

9. Oxisoles

Aquox		Acuox	(es)
Humox		Humox	(es)
Orthox		Ortox	(es)
Torrox		Torrox	(es)
Ustox		Ustox	(es)

10. Histosoles (12)

Fibrist	(s)	Fibrist	(es)
Folist	(s)	Folist	(es)
Hemist	(s)	Hemist	(es)
Saprist	(s)	Saprist	(es)

Grupos

En nuestra opinión, debe desaparecer la categoría que se denominaba grandes grupos (Great Groups), pues éstos supondrían la existencia de grupos pequeños y en la 7a. Aproximación no cabe tal distinción, pues la categoría inmediatamente inferior es la de los subgrupos y no como antes que faltaba esta categoría y las familias no estaban definidas exactamente.

Una vez definida la adaptación de los nombres de órdenes y subórdenes sólo basta transcribir los prefijos usados para los nombre de grupos. Por convenir al ahorro de espacio anotaremos sólo aquellos que sufrirán transformación ortográfica (11):

anthr	antr
aqu	acu
chrom	crom
cry	cri
dystr, dys	distr, dis
fragloss	fraglos
gibbs	gibs
gloss	glos
hydr	hidr
hyp	hip
moll	mol
ochr	ocr
pell	pel
plag	plag, plague
plinth	plint
quartz	cuarz - cuarci
rhod	rod
sphagno	esfagno

Subgrupos

Se anotarán, como en los grupos, sólo los adjetivos que sufren modificación ortográfica, indicando eso sí que todos los nombres transformarán su terminación ic en ico.

allic	álico
glossic	glósico
grossarenic	grosarénico
lithic	lítico
plinthic	plíntico
stratic	estrático
pachic	páquico

El prefijo thapto, usado en forma específica (11) se escribirá tapto.

Los nombres de las familias pueden ya traducirse libremente y en ciertos casos (clases de temperatura p. ej.) la adaptación es fácil.

Con todo, podemos anotar algunos separándolos según la característica que definen:

1. Textura: arenosa, franca gruesa, franca fina, limosa gruesa, limosa fina, arcillosa fina y muy fina.

2. Mineralogía: ferrítica, gibsítica, oxídica, gípsica, escoriácea (cindery), haloisítica, caolinítica, montmorillonítica, etc.

Noy hay un adjetivo que reemplace a "ashy" en el sentido expreso en la 7a. Aproximación (11), pues los adjetivos castellanos (ceniciento, cinéreo, cenizo) sólo se refieren al color. Habrá que buscar aún la palabra apropiada.

3. Temperatura: frígida, mésica, térmica, hipertérmica.

CONCLUSION

Como se dijo al principio, este trabajo no trata de establecer normas; sólo es un conjunto de observaciones que pueden ser útiles para quien trabaje empleando la 7a. Aproximación en la clasificación de los suelos. Por esto, cualquier sugerencia o anotación sobre lo tratado

será bienvenida, pues esperamos que así el sistema de clasificación sea verdaderamente comprensivo y al traducir no habrá el error que cometió quien tradujo el primer libro del "U.S. Comprehensive System of Soil Classification" *

* En efecto, comprehensive no es lo mismo que comprehensible y significa comprensivo, "que comprende, contiene o incluye" (3) y se usa para calificar a un sistema que trata de abarcar a todos los suelos del mundo.

LITERATURA CITADA

1. ASOCIACION LATINOAMERICANA DEL SUELO. Capítulo de Centroamérica y México, 1968. Recomendaciones de la mesa de trabajo sobre clasificación de suelos. San José, Costa Rica. Septiembre de 1968. (Mimeografiado).

2. IICA/FAO/UNDP-1969. Panel sobre suelos de cenizas volcánicas. Turrialba, Costa Rica.

3. REAL ACADEMIA ESPAÑOLA - 1958. Diccionario Manual e Ilustrado de la Lengua Española, 2a edición. Madird, España, Calpe.

4. SOIL SCIENCE SOCIETY OF AMERICA - 1965. Glossary of soil science terms. Soil Science Society of American Proceedings 29(3):330-351.

5. SMITH, G.D. - 1960. A new soil classification scheme progress report. Transactions of the 7th Congress of Soil Science IV, 105-111.

6. TAVERNIER, R. 1963. The 7th Approximation, its application in Western Europe. Soil Sci. 96(1):35-39.

7. TEIXEIRA, A.J. DA SILVA. 1967. Glossario de Termos da Pedología. Servico de Informacao Agricola. Ministerio de Economia. Lisboa, Portugal. 127 p.

8. U.S.D.A. SOIL SURVEY STAFF. Soil Conservation Service 1960. Soil Classification. A comprehensive System. 7th Approximation. 265 p. 1962.

9. _____. 7a. Aproximación. Un sistema comprensible de clasificación de suelos. Versión castellana del Dr. Pedro H. Etchevehere. 144 p. - apéndices I y II.

10. _____. 1964. Supplement to Soil Classification. 7th Approximation.

11. _____. 1967. Supplement to Soil Classification System. 7th Approximation. 207 p.

12. _____. 1968. Supplement to Soil Classification System. 7th Approximation. Order Histosols. 22 p.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS SOBRE NUTRICION MINERAL EN FORRAJES Y QUIMICA DE SUELOS TROPICALES

1. Pearson, R. W. (1.975). Soil acidity and liming in the humid tropics. Cornell University, Ithaca, New York. 66p.
2. Smith, F. W. (1.977). Role of plant chemistry in the diagnosis of nutrient disorders in tropical legumes. (Copia disponible para Xerox en sección Suelos-Nutrición Plantas).
3. Nutrition of Tropical and Subtropical Pastures. (1.973). Series of bibliographies. Agency for International Development. Washington, D. C. U.S.A. 38 p.

3a. Shaw, N. H. and Bryan W. W. (eds.) (1.1976). Tropical pasture research. Principles and methods. Alden Pref, Oxford, Great Britain. 454 p.

4. Dorrington W. (1.963). Minor elements and their effects on the growth and chemical composition of herbóge plants. Commonwealth Agricultural Bureaux, Hurley, Berkshire. 89 p.
5. Boyer, J. (1.973). O potassio nos solos tropicais. Informacoes Agronomicas, Instituto Internacional da Potasa, Bondy Franda.
6. Mays D. A. (ed.) (1.974). Forage Fertilization. American Society of Agronomy, Madison, Wisconsin. 621 p.
7. Wright, M. J. (ed.) (1.976). Plant adaptation to mineral strews in problem soils. Cornell University, Ithaca. 420 p.
8. Brown, J.C., Ambler, J.E. Chaney, R.L. and Foy, C.D. (1972) Differential responses of plant genotypes to micronutrients. In "Micronutrients in Agriculture" J.J. Mortvedt, P. M. Giordano, and W. L. Lindsay (Eds.)pp 389-418 (Soil Sci. Soc. Am., Madison, Wisconsin).
9. Andrew, C.S. (1.977). The effect of sulphur on the growth, sulphur and nitrogen concentrations, and critical sulphur concentrations of some tropical and temperate pasture legumes. Aust. J. Agric. Res. 28:807-820

10. Andrew, C. S. and Hegarty, M. P. (1.969). Comparative responses to manganese excess of eight tropical and four temperate pasture legume species.
Aust. J. Agric.Res. 20: 687-696.

11. Andrew, C. S. Johnson, A. D. and Sandland, R. L. (1.973). Effect of aluminum on the growth and chemical composition of some tropical and temperate pasture legumes.
Aust. J. Agric. REs. 24:325-339.

12. Andrew, C. S. and Robins, M. F. (1.969a). The effect of phosphorus on the growth and chemical composition of some tropical pasture legumes. I. Growth and critical percentages of phosphorus.
Aust. J. Agric. Res. 20:664-674.

13. Andrew, C. S. and Robins, M. F. (1.969b). The effect of phosphorus on the growth and chemical composition of some tropical pasture legumes. II. Nitrogen, calcium, potassium and sodium contents.
Aust. J. Agric. Res. 20:675-685.

14. Johansen, C., Kerridge, P. C., Luck. P. E., Cook, B. G., Lowe, K. F. and Ostrowski, H. (1.977). The residual effect of molybdenum fertilizer on growth of tropical pasture legumes in a subtropical environment.
Aust. J. Exp. Agric. Anim. Husb. 17:961-968.

15. Playne, M. J. (1.970). The sodium concentration in some tropical pasture species with reference to animal requirements.
Aust. J. Exp. Agric. Anim. Husb. 10:32-35.

16. Sânchez, P. A. (1.976). Properties and management of soils in the tropics. John Wiley and Sons, New York, London, Sydney, Toronto.

17. Foy, C. D. (1.974 a). Effects of aluminum on plant growth. In E. W. Carson (ed.), The plant root and its environment, pp. 601-642, Univ. Press of Va., Box 3608, Univ. Station, Charlottesville, Va.

18. Foy, C. D. (1.974 b). Effects of soil calcium on plant growth. In E. W. Carson (ed.), The plant root and its environment pp. 565-600, Univ. Press of Va., Box 3608. Univ. Station, Charlottesville, Va.

19. Foy, C. D., and J. C. Brown. (1.964). Toxic factors in acid soils. II. Differential aluminun tolerance of plant species. Soil Sci. Soc. Amer. Proc. 28:27-32.

20. Kamprath, E. J. (1.970). Exchangeable aluminun as a criterion for liming leached mineral soils. Soil Sci. Soc. Amer. Proc. 34:252-254.

21. Kamprath, E. J., and C. D. Foy. (1.972). Lime fertilizer-plant interactions in acid soils. In R. A. Olsen, et al. (ed.) Fert. Tech. and Use, Second Edition, pp. 105-151, Soil Sci. Soc. Amer., Madison, Wis.

22. McLean, E. O.. (1.976). Chemistry of soil aluminun. Comm. Soil Sci. and Pl. Anal. 7:619-636.

23. Olmos, I. L. J., e Marcello N. Camargo. (1.976). Ocorrencia de aluminio toxico nos solos do Brazil; sua caracterizacao e distibuicao.
Ciencia e Cultura. 28:171-180.

24. Shoop, G. J., C. R. Brooks, R. E. Blaser, and G. W. Thomas. (1.961). Differential responses of grasses and legumes to liming and phosphorus fertilization. Agron. J. 53:111-115.

25. Siman, A., F. W. Craddock, and W. A. Hudson. (1.974). The development of manganese toxicity in pasture legumes under extreme climatic conditions. Plant and Soil 41:129-140.

26. Woolhouse, H. W. (1.969). Differences in the properties of the acid phosphates of plant roots and their significance in the evolution of edaphic ecotypes. In I. H. Rorison et al. (ed.). Ecological aspects of the mineral nutrition of plants. Blackwell Scientific Publications, Oxford. Brit. Ecol. Soc. Symp. 9:357-380.

27. Brown, J. C., J. E. Ambler, R. L. Chaney, and C. D. Foy. (1.972). Differential responses of plant genotypes to micronutrients. p. 389-418. In J. J. Mort vedt, et al. (ed.) Micronutrients in agriculture. Soil Sci. Soc. Amer., Madison, Wis.

28. Clarkson, D. T. (1.969). Metabolic aspects of aluminun toxicity and some possible mechanisms for resistance. Symp. British Ecol. No. 9. p. 381-397. In I. H. Rorison, et al. (ed.) Ecological aspects of the mineral nutrition of plants. Blackswell Scientific Publ., Oxford and Edinburgh.

29. Andrew, C. S. (1.965). Mineral nutrition of sub-tropical pasture species.
J. Aust. Inst. Agric. Sci. 31, 3-10.

30. Andrew, C. S. (1.968). Problems in the use of chemical analyses for diagnosis of plant nutrient disorders.
J. Aust. Inst. Agric. Sci. 34, 154-62.

31. Andrew, C. S. and Robins, M. F. (1.969 b). The effect of potassium on the growth and chemical composition of some tropical and temperate pasture legumes. I. Growth and critical percentages of potassium.
Aust. J. Agric. Res. 20, 999-1007.

32. Andrew, C. S. and Robins, M. F. (1.971). The effect of phosphorus on the growth, chemical composition, and critical phosphorus percentages of some tropical pasture grasses.
Aust. J. Agric. Res. 22, 693-706.

33. Bar Akiva, A. (1.971). Functional aspects of mineral nutrients in use for the evaluation of plant nutrient requirement. In " Recent Advances in Plant Nutrition" (Ed. R. M. Samish) Proceedings of the Sixth International Colloquium on Plant Analysis and Fertilizer Problems. Vol 1: 115-142.

34. Bates, T. E. (1.971). Factors affecting critical nutrient concentrations in plants and their evaluation: a review. Soil Sci. 112, 116-30.

34. Bieleski, R. L. (1.971). Enzyme changes in plants following changes in their mineral nutrition. In "Recent Advances in Plant Nutrition" (R. M. Samish, Ed). Proceedings of the Sixth International Colloquium on Plant Analysis and Fertilizer Problems. Vol 1: 143-153.

35. Bouma, D., and Dowling. E. J. (1976). The relationship between the phosphorus status of subterranean clover plants and the dry weight responses of detached leaves in solution with and without phosphate.
Aust. J. Agric. Res. 27, 53-62.

36. Dijkshoorn, W., and Van Wijk, A. L. (1.976). The sulphur requirements of plants as evidenced by the sulphur-nitrogen ratio in the organic matter: a review of published data. Plant Soil 26, 129-57.

37. Fisher, M. J. (1.970). The effects of superphosphate on the growth and development of Townsville stylo (Stylosanthes humilis) in pure ungrazed swards at Katherine, N. T.
Aust. J. Exp. Agric. Anim. Husb. 10, 716-24.

38. Hylton, L. D., Ulrich, A., and Cornelius, D. R. (1.965). Comparison of nitrogen constituents as indicators of the nitrogen of Italian ryegrass, and relation of top to root growth.
Crop Sci. 5, 21-22.

39. Johansen, C. (1.976). Concentrations of nutrient elements in parts of siratro as affected by phosphorus supply and plant age.
Commun. Soil Sci. Plant Anal. 7, 527-45.

40. Macy, P. (1.936). The quantitative mineral nutrient requirements of plants. Pl. Physiol. 2, 749-64.

41. Reuther, W. Ed. (1.961). "Plant Analysis and Fertilizer Problems". American Society of Biological Sciences: Washington D. C.)

42. Robinson, P. J. and Jones R. K. (1.972). The effect of phosphorus and sulphur fertilization on the growth and distribution of dry matter, nitrogen, phosphorus, and sulphur in Townsville stylo (Stylosanthes humilis).
Aust. J. Agric. Res. 23, 633-40.

43. Samish, R. M., Ed.(1.971), Recent Advances in Plant Nutrition. (Gordon Breach Science Publications Inc.: New York, N. Y.)

44. Smith, F. W. (1.974). The effect of sodium on potassium nutrition and ionic relations in rhodes grass. Aust. J. Agric . Res. 25, 407-14.

45. Smith, F. W. (1.975). Tissue testing for assessing the phosphorus status of green panic, buffel grass and setaria. Aust. J. Exp. Agric. Anim. Husb. 15, 383-90.

46. Smith, F. W., and Dolby, G. R. (1.977). Derivation of diagnostic indices for assessing the sulphur status of Panicum maximum var. Trichoglume. Commun. Soil Sci. Plant Anal. 8, 221-40.

47. Smith, P. F. (1.962). Mineral analysis of plant tissues. Ann. Rev. Pl. Physiol. 13, 81-108.

48. Spencer, K., Jones, M. B. and Freney, J. R. (1.977). Diagnostic indices for sulphur status of subterranean clover. Aust. J. Agric. Res. 28, 401-12.

49. Steenbjerg, F. (1.951). Yield curves and chemical plant analyses. Plant Soil 3, 97-109.

50. Sumner, M. E. (1.974). An evaluation of Beaufil's physiological diagnosis technique for determining the nutrient requirement of crops. In "Plant Analysis and Fertilizer Problems", Ed. J. Wehrmann. pp 437-446 (German Society of Plant Nutrition: Hannover).

51. Sumner, M. E. (1.977 a). Use of the DRIS system in foliar diagnosis of crops at high yield levels. Commun. Soil Sci. Plant Anal. 8, 251-68.

52. Terman, G. L. (1.973). Comments on yield nutrient concentration relationships in plants. Agron. J. 65, 1011-12.

53. Terman, G. L. and Nelson, L. A. (1.976). Comments on use of multiple regression in plant analysis interpretation. Agron. J. 68, 148-50.

54. Ulrich, A. (1.942). Nitrate content of grape leaf petioles as an indicator of the nitrogen status of the plant. Am. Soc. Hort. Sci. Proc. 41, 213-18.

55. Ulrich, A, (1.945). Critical phosphorus and potassium levels in ladino clover. Proc. Soil Sci. Am. 10, 150-61.

56. Ulrich, A. (1.952). Physiological bases for assessing the nutritional requirements of plants. Ann. Rev. Pl. Physiol. 3, 207-28.

57. Ulrich, A. (1.968). Sulphur nutrition of Italian ryegrass measured by growth and mineral content. Plant Soil 29, 274-84.

58. Ulrich, A., and Hilss, F. J. (1.976). Principles and practices of plant analysis in "Soil Tests and Plant Analysis", Part II (Soil Sci. Soc. Amer. Special Pub. No. 2) pp. 11-24.

59. White, R. E., and Haydock, K. P. (1.970). Phosphate concentration in siratro as a guide to its phosphate status in the field. Aust. J. Exp. Agric. Anim. Hubs. 10, 426-30.

60. Williams, R. F. (1.955). Redistribution of mineral elements during development. Ann. Rev. Pl. Physiol. 6, 25-42.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS SOBRE NUTRICION MINERAL EN FORRAJES Y QUIMICA DE SUELOS TROPICALES

Andrew, C.S. (1965) Mineral nutrition of sub-tropical pasture species. J. Aust. Inst. Agric. Sci. 31, 3-10.

Andrew, C.S. (1968) Problems in the use of chemical analyses for diagnosis of plant nutrient disorders. J. Aust. Inst. Agric. Sci. 34, 154-62.

Andrew, C.S. (1977). The effect of sulphur on the growth, sulphur and nitrogen concentrations, and critical sulphur concentrations of some tropical and temperature pasture legumes. Aust. J. Agric. Res. 28:807-820.

Andrew, C.S. and Hegarty, M.P. (1969). Comparative responses to manganese excess of eight tropical and four temperate pasture legume species. Aust. J. Agric. Res. 20:687-696.

Andrew, C.S., Johnson, A.D. and Sandland, R.L. (1973). Effect of aluminium on the growth and chemical composition of some tropical and temperate pasture legumes. Aust. J. Agric. Res. 24:325-339.

Andrew, C.S. and Kamprath, E.J. 1978. Mineral Nutrition of Legumes on Tropical and Sub-tropical Soils. SCIRO, Victoria, Australia. 415 p.

Andrew, C.S. and Robins, M.F. (1969a). The effect of phosphorus on the growth and chemical composition of some tropical pasture legumes. I. Growth and critical percentages of phosphorus. Aust. J. Agric. Res. 20:664-674.

Andrew, C.S. and Robins, M.F. (1969b). The effect of phosphorus on the growth and chemical composition of some tropical pasture legumes. II. Nitrogen, calcium, magnesium, potassium and sodium contents. Aust. J. Agric. Res. 20:675-685.

Andrew, C.S. and Robins, M.F. (1969b). The effect of potassium on the growth and chemical composition of some tropical and temperate pasture legumes. I. Growth and critical percentages of potassium. Aust. J. Agric. Res. 20, 999-1007.

Andrew, C.S. and Robins, M.F. (1971) The effect of phosphorus on the growth, chemical composition, and critical phosphorus percentages of some tropical pasture grasses. Aust. J. Agric. Res. 22, 693-706.

Bar Akiva, A. (1971) Functional aspects of mineral nutrients in use for the evaluation of plant nutrient requirement. In "Recent Advances in Plant Nutrition" (Ed. R.M. Samish) Proceedings of the Sixth International Colloquium on Plant Analysis and Fertilizer Problems. Vol 1: 115-142.

Bates, T.E. (1971) Factors affecting critical nutrient concentrations in plants and their evaluation: a review. Soil Sci. 112, 116-30.

Bieleski, R.L. (1971) Enzyme changes in plants following changes in their mineral nutrition. In "Recent Advances in Plant Nutrition" (R.M. Samish, Ed). Proceedings of the Sixth International Colloquium on Plant Analysis and Fertilizer Problems. Vol 1: 143-153.

Bouma, D., and Dowling, E.J. (1976) The relationship between the phosphorus status of subterranean clover plants and the dry weight responses of detached leaves in solution with and without phosphate. Aust. J. Agric. Res. 27, 53-62.

Boyer, J. 1973. O potássio nos solos tropicais. Informaçoes Agronómicas, Instituto Internacional da Potasa, Bondy França.

Brown, J.C., Ambler, J.E., Chaney, R.L. and Foy, C.D. (1972) Differential responses of plant genotypes to micronutrients. In "Micronutrients in agriculture" J.J. Mortvedt, P.M. Giordano, and W.L. Lindsay (Eds.) pp 389-418 (Soil Sci. Soc. Am., Madison, Wisconsin).

Clarkson, D.T. 1969. Metabolic aspects of aluminum toxicity and some possible mechanisms for resistance. Symp. British Ecol. Soc. No.9. p.381-397. In I. H. Rorison, et al. (ed.) Ecological aspects of the mineral nutrition of plants. Blackswell Scientific Publ., Oxford and Edinburgh.

Dijkshoorn, W., and Van Wijk, A.L. (1967) The sulphur requirements of plants as evidenced by the sulphur - nitrogen ratio in the organic matter: a review of published data. Plant Soil 26, 129-57.

Dorrington W. 1963. Minor elements and their effects on the growth and chemical composition of herbage plants. Commonwealth Agricultural Bureaux, Hurbey, Berkshire. 89 p.

Fisher, M.J. (1970) The effects of superphosphate on the growth and development of Townsville stylo (Stylosanthes humilis) in pure ungrazed swards at Katherine, N.T. Aust. J. Exp. Agric. Anim. Husb. 10, 716-24.

Foy, C.D. 1974a. Effects of aluminum on plant growth. In E.W. Carson (ed.), The plant root and its environment, pp. 601-642, Univ. Press of Va., Box 3608, Univ. Station, Charlottesville, Va.

Foy, C.D. 1974b. Effects of soil calcium on plant. In E.W. Carson (ed.), The plant root and its environment, pp. 565-600, Univ. Press of Va., Box 3608, Univ. Station, Charlottesville, Va.

Foy, C.D., and J.C. Brown. 1964. Toxic factors in acid soils. II. Differential aluminum tolerance of plant species. Soil Sci. Soc. Amer. Proc. 28:27-32.

Hylton, L.D., Ulrich, A., and Cornelius, D.R. (1965). Comparison of nitrogen constituents as indicators of the nitrogen status of Italian ryegrass, and relation of top to root growth. Crop Sci. 5, 21-22.

Johansen, C. (1976) Concentrations of nutrient elements in parts of siratro as as affected by phosphorus supply and plant age. Commun. Soil Sci. Plant Anal. 7, 527-45.

Johansen, C., Kerridge, P.C., Luck, P.E., Cook, B.G., Lowe, K.F. and Ostrowski, H. (1977). The residual effect of molybdenum fertilizer on growth of tropical pasture legumes in a sub-tropical environment. Aust. J. Exp. Agric. Anim. Husb. 17:961-968.

Kamprath, E.J. 1970. Exchangeable aluminum as a criterion for liming leached mineral soils. Soil Sci. Soc. Amer. Proc. 34:252-254.

Kamprath, E.J., and C.D. Foy. 1972. Lime fertilizer-plant interactions in acid soils. In R.A. Olsen, et al. (ed.) Fert. Tech. and Use, Second Edition, pp. 105-151, Soil Sci. Soc. Amer., Madison, Wis.

Macy, P. (1936) The quantitative mineral nutrient requirements of plants. Pl. Physiol. 2, 749-64.

Mays. D. A. (ed.) 1974. Forage Fertilization. American Society of Agronomy, Madison, Wisconsin, 621 p.

McLean, E.O. 1976. Chemistry of soil aluminum. Comm. Soil Sci. and Pl. Anal. 7:619-636.

Nutrition of tropical and subtropical pastures. 1973. Series of bibliographies. Agency for Internacional Development. Washington, D.C. USA. 38p.

Olmos, I.L.J., e Marcello N. Camargo. 1976. Ocorrencia de aluminio toxico nos solos do Brazil; sua caracterizacao e distribuicao. Ciencia e Cultura. 28:171-180.

Peasson, R.W. 1975. Soil Acidity and liming in the Humid Tropics. Cornell Univ. Ithaca, New York. 66p.

Playne, M.J. (1970). The sodium concentration in some tropical pasture species with reference to animal requirements. Aust. J. Exp. Agric. Anim. Husb. 10:32-35.

Reuther, W. Ed. (1961). "Plant Analysis and Fertilizer Problems". (American Society of Biological Sciences: Washington, D.C.)

Robinson, P.J. and Jones R.K. (1972) The effect of phosphorus and sulphur fertilization on the growth and distribution of dry matter, nitrogen, phosphorus, and sulphur in Townsville stylo (Stylosanthes humilis). Aust. J. Agric. Res. 23, 633-40.

Samish, R.M., Ed. (1971) Recent Advances in Plant Nutrition. (Gordon Breach Science Publications Inc.: New York, N.Y.).

Sánchez, P.A. (1976). Properties and management of soils in the tropics. John Wiley and Sons, New York, London, Sydney, Toronto.

Shaw, N.H. and W.W. Bryan. (eds.). 1976. Tropical Pasture Research. Principles and Methods. Alden Press, Oxford, Great Britain. 454 p.

Shoop, G.J., C.R. Brooks, R.E. Blaser, and G.W. Thomas. 1961. Differential responses of grasses and legumes to liming and phosphorus fertilization. Agron. J. 53:111-115.

Siman, A., F.W. Craddock, and W.A. Hudson. 1974. The development of manganese toxicity in pasture legumes under extreme climatic conditions. Plant and Soil 41:129-140.

Smith, F.W. (1974) The effect of sodium on potassium nutrition and ionic relations in rhodes grass. Aust. J. Agric. Res. 25, 407-14.

Smith, F.W. (1975) Tissue testing for assessing the phosphorus status of green panic, buffel grass and setaria. Aust. J. Exp. Agric. Anim. Husb. 15, 383-90.

Smith, F.W. 1977. Role of plant chemistry in the diagnosis of nutrient disorder in tropical legumes. (Copia disponible para xerox en Sección Suelos-Nutrición Plantas).

Smith, F.W., and Dolby, G.R. (1977). Deriviation of diagnostic indices for assessing the sulphur status of Panicum maximum var. Trichoglume. Commun. Soil Sci. Plant Anal. 8, 221-40.

Smith, P.F. (1962). Mineral analysis of plant tissues. Ann. Rev. Pl. Physiol. 13, 81-108.

Spencer, K., Jones, M.B. and Freney, J.R. (1977) Diagnostic indices for sulphur status of subterranean clover. Aust. J. Agric. Res. 28, 401-12.

Steenbjerg, F. (1951) Yield curves and chemical plant analyses. Plant Soil. 3, 97-109.

Sumner, M.E. (1974) An evaluation of Beaufil's physiological diagnosis technique for determining the nutrient requirement of crops. In "Plant Analysis and Fertilizer Problems", Ed. J. Wehrmann. pp 437-446 (German Society of Plant Nutrition: Hannover).

Sumner, M.E. (1977a) Use of the DRIS system in foliar diagnosis of crops at high yield levels. Commun. Soil Sci. Plant Anal. 8, 251-68.

Terman, G.L. (1973) Comments on yield nutrient concentration relationships in plants. Agron. J. 65, 1011-12.

Terman, G.L. and Nelson, L.A. (1976) Comments on use of multiple regression in plant analysis interpretation. Agron. J. 68, 148-50.

Ulrich, A. (1942) Nitrate content of grape leaf petioles as an indicator of the nitrogen status of the plant. Am. Soc. Hort. Sci. Proc. 41, 213-18.

Ulrich, A. (1945) Critical phosphorus and potassium levels in ladino clover. Proc. Soil Sci. Soc. Am. 10, 150-61.

Ulrich, A. (1952) Physiological bases for assessing the nutritional requirements of plants. Ann. Rev. Pl. Physiol. 3, 207-28.

Ulrich, A. (1968) Sulphur nutrition of Italian ryegrass measured by growth and mineral content. Plant Soil 29, 274-84.

Ulrich, A., and Hills, F.J. (1967) Principles and practises of plant analysis In "Soil Tests and Plant Analysis", Part II (Soil Sci. Soc. Amer. Special Pub. No.2) pp. 11-24.

White, R.E., and Haydock, K.P. (1970) Phosphate concentration in siratro as a guide to its phosphate status in the field. Aust. J. Exp. Agric. Anim. Husb. 10, 426-30.

Williams, R.F. (1955) Redistribution of mineral elements during development. Ann. Rev. Pl. Physiol. 6, 25-42.

Woolhouse, H.W. 1969. Differences in the properties of the acid phosphates of plant roots and their significance in the evolution of edaphic ecotypes. In I.H. Rorison et al. (ed.) Ecological aspects of the mineral nutrition of plants. Blackwell Scientific Publications, Oxford. Brit. Ecol. Soc. Symp. 9:357-380.

Wright, M.J. (ed.). 1976. Plant adaptation to mineral stress in problem soils. Cornell University, Ithaca. 420 p.