

1. SUBJECT CLASSIFICATION	A. PRIMARY AGRICULTURE
	B. SECONDARY SOILS AND FERTILIZERS

2. TITLE AND SUBTITLE  
**A REVIEW OF SOILS RESEARCH IN TROPICAL LATIN AMERICA**

3. AUTHOR(S)  
**PEDRO A. SANCHEZ et.al.**

4. DOCUMENT DATE <b>JULY 1973</b>	5. NUMBER OF PAGES <b>204 pages</b>	6. ARC NUMBER ARC <b>LAT-651.4072-N36416-5</b>
--------------------------------------	--	---

7. REFERENCE ORGANIZATION NAME AND ADDRESS  
**NORTH CAROLINA STATE UNIVERSITY  
 SOILS SCIENCE DEPARTMENT  
 RALEIGH, NORTH CAROLINA 27607**

8. SUPPLEMENTARY NOTES (*Sponsoring Organization, Publishers, Availability*)  
**AVAILABLE IN SPANISH-SEE ARDA-VOL.II-NO.2 FOR ENGLISH LANGUAGE EDITION**

9. ABSTRACT  
 The publication is a comprehensive review of the available literature on soils research in the American tropics. This area comprises all countries of Latin America and the Caribbean excluding Argentina, Chile and Uruguay. A search was made of biological abstracts for work in the region. Approximately 1,000 abstracts were obtained on research published since 1960. Additional materials were obtained from Tropical Abstracts, the Latin American Bibliography of Agriculture and the authors' personal files. Emphasis is placed on the main food and feed crops of tropical America grown by small and medium sized farmers. The review covers the following topics of soil research: soil genesis, morphology and classification; soil physical properties; soil management under shifting cultivation; soil nitrogen in the tropics; nitrogen fertilization; soil acidity and liming; potassium; phosphorus; sulfur; and micronutrients.

10. CONTROL NUMBER <b>PN-AAA - 669</b>	11. PRICE OF DOCUMENT
---	-----------------------

12. DESCRIPTORS <b>Nitrogen, potassium, phosphorus, soil acidity, micronutrients, sulfur</b>	13. PROJECT NUMBER <b>931-17-120-525</b>
	14. CONTRACT NUMBER <b>AID/csd - 2806</b>
	15. TYPE OF DOCUMENT <b>RESEARCH REVIEW</b>

1973

Tech. Bul. No. 219

# Un Resumen de las Investigaciones Edafológicas en la América Latina Tropical

Editado por

*Pedro A. Sánchez*

Autores

*W. Victor Bartholomew  
Stanley W. Buol  
Fred R. Cox*

*Eugene J. Kamprath  
J. Fulton Lutz  
Pedro A. Sánchez*

Soil Science Department  
North Carolina State University, Raleigh, North Carolina, USA

bajo el

Contrato AID/csd 2806  
Agencia para el Desarrollo Internacional

## CONTENIDO

Precámbulo .....	vii
Prefacio .....	ix
1. GENESIS, MORFOLOGIA Y CLASIFICACION DE SUELOS – S. W. Buol .....	1
1.1 Generalización de áreas de suelos .....	1
1.2 Formación de suelos .....	4
1.3 Clasificación de suelos .....	11
1.4 Resumen .....	15
1.5 Bibliografía .....	25
2. PROPIEDADES FISICAS DEL SUELO – J. F. Lutz ...	43
2.1 Bibliografía .....	48
3. MANEJO DE SUELOS BAJO EL SISTEMA DE ROZA – P. A. Sánchez .....	51
3.1 Ciclaje de nutrientes entre el suelo y el bosque ...	52
3.2 Cambios en propiedades del suelo bajo cultivos migratorios .....	57
3.3 Los cultivos bajo agricultura migratoria .....	62
3.4 Conclusiones .....	65
3.5 Bibliografía .....	67
4. NITROGENO DEL SUELO EN LOS TROPICOS – W. V. Bartholomew .....	75
4.1 Materia orgánica del suelo y nitrógeno orgánico ..	76
4.2 Mineralización del nitrógeno orgánico .....	77
4.3 Nitrógeno en la lluvia y en el polvo .....	78
4.4 Fijación de nitrógeno simbiótico .....	78
4.5 Fijación asimbiótica de nitrógeno .....	79
4.6 Nitrificación e hidrólisis de la urea .....	81

4.7	Movimiento de nitrógeno en el suelo y procesos de pérdidas .....	81
4.8	Microorganismos y actividad microbial .....	82
4.9	Conclusiones .....	82
4.10	Bibliografía .....	84
5.	FERTILIZACION CON NITROGENO – P. A. Sánchez .	97
5.1	Cereales .....	97
5.2	Tubérculos y raíces .....	106
5.3	Leguminosas de grano .....	109
5.4	Pastos y forrajes .....	110
5.5	Conclusiones .....	115
5.6	Bibliografía .....	116
6.	ACIDEZ DEL SUELO Y ENCALADO – E. J. Kamprath	137
6.1	Acidez del suelo y cationes intercambiables .....	137
6.2	Efecto del encalado en la disponibilidad de fósforo	139
6.3	Respuestas al encalado .....	140
6.4	Resumen .....	142
6.5	Bibliografía .....	143
7.	FOSFORO – E. J. Kamprath .....	151
7.1	La Fijación del fósforo .....	151
7.2	Correlaciones con análisis de suelos .....	154
7.3	Respuesta a fertilización con fósforo .....	155
7.4	Resumen .....	159
7.5	Bibliografía .....	160
8.	POTASIO – F. R. Cox .....	177
8.1	Potasio del suelo .....	177
8.2	Respuestas a la fertilización .....	179
8.3	Resumen .....	183
8.4	Bibliografía .....	184
9.	AZUFRE – E. J. Kamprath .....	195
9.1	Conclusiones .....	196
9.2	Bibliografía .....	197

10.	MICRONUTRIENTES – F. R. Cox .....	199
10.1	Zinc .....	200
10.2	Boro .....	202
10.3	Molibdeno .....	203
10.4	Cobre .....	204
10.5	Hierro .....	204
10.6	Manganeso .....	205
10.7	Resumen .....	205
10.8	Bibliografía .....	207

## PREAMBULO

*Con fecha 30 de julio de 1970, la Universidad Estatal de Carolina del Norte, a través de su Departamento de Edafología, celebró un contrato con la Agencia Internacional de Desarrollo, por medio de su Oficina de Asistencia Técnica, a fin de implementar un programa de "Investigaciones Agro-Económicas sobre Suelos Tropicales". El amplio objetivo de este contrato, de cinco años de duración, era de proveer información relevante para suplementar y complementar los programas realizados por otra sección de este Departamento, apoyada por la AID, el Proyecto Internacional para la Evaluación y Mejoramiento de la Fertilidad del Suelo.*

*Reconociendo que el primer paso en cualquier programa de desarrollo es un amplio conocimiento de las informaciones existentes en las materias a considerarse, la primera fase del programa fue diseñada como una revisión de la literatura pertinente. El objetivo específico de esta revisión fue el de proveer una base actual para una interpretación analítica de la información actual y las necesidades futuras concernientes a las características y manejo de suelos tropicales para la producción de cultivos básicos.*

*Los datos obtenidos de las investigaciones publicadas y suplementadas por experiencias personal en la América Latina, han permitido a los autores preparar sumarios relacionados a varios tópicos en edafología que han contribuido a los planes de desarrollo para proyectos de investigaciones específicos en la región. Creemos que este informe puede ser de utilidad también para otras personas con intereses comunes.*

*C. B. McCants, Jefe  
Departamento de Edafología*

## PREFACIO

*El propósito de esta publicación es el de recopilar la literatura disponible sobre investigaciones edafológicas, realizadas en los Trópicos Americanos. Esta área comprende todos los países de la América Latina y del Caribe con excepción de Argentina, Chile y Uruguay. Por medio de un convenio con la Junta de Ciencias y Tecnología de Carolina del Norte, se obtuvieron copias de los "Biological Abstracts" de trabajos realizados en la región. Se obtuvieron aproximadamente mil resúmenes de investigaciones publicados desde 1960. Estos resúmenes fueron codificados de acuerdo con una clave preparada de antemano e incorporado a un sistema de almacenamiento y recobro computerizado. Se obtuvo material adicional de "Tropical Abstracts", la Bibliografía Latinoamericana de Agricultura, y los archivos personales de los autores.*

*El formato adoptado consiste en citar únicamente las referencias más representativas o importantes en el cuerpo del trabajo, y citar todos los materiales revisados en la bibliografía.*

*Los autores están conscientes de que muchas publicaciones de gran interés no han sido incluidas porque no son fácilmente accesibles a las bibliotecas y jornales de abstractos.*

*Se enfatizaron los principales cultivos alimenticios en América Latina producidos por pequeños y medianos agricultores. Cuando fue posible, la literatura fue revisada por áreas generalizadas de suelos delineados en el primer capítulo. La literatura de otras regiones tropicales y otros lugares fue citada cuando se consideraba relevante.*

*Los autores tienen la esperanza de que esta publicación resulte en una síntesis adecuada del estado actual de investigaciones edafológicas de la región y que las sugerencias para prioridades futuras en investigaciones serán de utilidad para los científicos latinoamericanos dedicados a suelos. Esta versión en castellano es una traducción del original en inglés efectuada por la Sra. Eva R. de Desrosiers.*

*Pedro A. Sánchez, Editor*

## CAPITULO 1

### GENESIS, MORFOLOGIA Y CLASIFICACION DE SUELOS

*S. W. Buol*

Profesor de Pedología, Universidad Estatal de Carolina del Norte

Los enfoques multifacéticos para la caracterización del suelo que se han usado en las diversas partes del mundo, han creado problemas en la determinación de datos que pueden utilizarse para una evaluación global.

Por cuanto las teorías generalizadas relacionadas a la morfología del suelo y su composición en términos generales de clima, material originario, edad, etc., son vitales para el crecimiento y desarrollo de la ciencia de pedología, estas generalizaciones son de ayuda muy limitada en la comprensión de los problemas agro—económicos asociados con las condiciones existentes en los suelos. Sin embargo, cuando se comprenden las relaciones entre las propiedades del suelo con los factores de formación del suelo, y éstas se relacionan con la situación que va a estudiarse, ofrecen economías en costos analíticos debido a la extrapolación permitida por estas asociaciones. Sin embargo, algunos datos de “valores básicos” deben ser recolectados en cualquier situación a fin de validar la extrapolación por medio de la teoría de génesis.

Se ve una necesidad continua, tanto para generar más datos de caracterización de suelos en combinación con mapas y otros medios para asociar estos datos con la distribución por área en el paisaje, así como para continuar las investigaciones para establecer las asociaciones de causa y efecto que determinan las propiedades del suelo, facilitando así la extrapolación de los resultados a un costo mínimo.

#### 1.1 GENERALIZACION DE AREAS DE SUELOS

Cuando se definen los trópicos como aquellos puntos en la tierra que se encuentran entre los Trópicos de Cáncer y Capricornio, hay sólo una característica del suelo que puede aplicarse en su totalidad. Esta es la temperatura casi uniforme del perfil del suelo, a profundidad, durante

todo el año. Simplemente, la variación de la temperatura tomada a 50 centímetros bajo la superficie del suelo varía menos de 5°C de verano a invierno. Esta temperatura se encuentra dentro de pocos grados de la temperatura promedio anual del aire, y así puede ser muy calurosa, cerca de 30°C en las tierras bajas, y fría en las cumbres permanentemente nevadas de las montañas intertropicales de los Andes en la América Central y del Sur. Sin embargo, no importa cual sea la temperatura, ésta varía poco de una estación a otra, en contraste con la de los suelos de la zona templada.

Las siguientes áreas generales fueron delimitadas a fin de ilustrar las principales áreas de interés en la zona tropical de América Central y del Sur.

#### **Sabanas de Suelos Infértiles**

Esta condición se caracteriza más en el Campo Cerrado del Brasil y los Llanos Orientales de Colombia. Las condiciones de baja fertilidad del suelo, a menudo complicados por un alto contenido de hierro y aluminio son predominantes. La estación seca es por lo menos de dos a tres meses de duración. Estas áreas tienen una topografía regular y los suelos son profundos y friables. El uso limitado de estas zonas puede atribuirse a la insuficiencia casi total de nutrimentos de estos suelos, excepto en algunas áreas esparcidas con alto contenido de bases, para permitir una agricultura primitiva (sin fertilizantes). Por lo tanto, hay una baja densidad de población en la mayoría de estas áreas, excepto por ocurrencias de suelos con acumulación alta de bases, tales como en las áreas de Eustrtox (Latosol Roxo) del Cerrado Brasileño.

#### **Selvas Tropicales Húmedas**

Existen vastas áreas de selvas escasamente pobladas en la cuenca Amazónica. La infraestructura de transporte se ha limitado casi por completo a los ríos, aunque actualmente se están realizando esfuerzos para construir carreteras. Las condiciones del suelo de estas áreas no están bien documentadas. Informes contradictorios y exámenes personales en parte de esta área en el Perú oriental nos llevan a la hipótesis de que algunos de estos suelos son relativamente fértiles. Ya que casi todos los informes se han limitado a las áreas próximas a los ríos, hay una alta probabilidad de bias en esta información.

### **Areas Montañosas con Suelos Derivados de Ceniza Volcánica**

La cadena central de los Andes que se extiende a través de América Central y del Sur, tipifica esta área en general. Climáticamente estas áreas varían de acuerdo a la altura y también de acuerdo a los efectos bastante dramáticos de "sombra de lluvias". En general, los suelos son de fertilidad suficiente para permitir una agricultura primitiva. Esta condición puede deberse a antecedentes genéticos de poca edad debido a la naturaleza reciente del material madre volcánico y/o a una rápida erosión geológica de las laderas empinadas que exponen minerales relativamente no intemperizados a la explotación por las raíces de las plantas. capacidad administrativa y no son atractivas a los agrónomos porque su empinada topografía impide la implantación de agricultura moderna mecanizada. La agricultura moderna también está inhibida por la dificultad en manejar los fosfatos en estos suelos con altos contenidos de minerales arcillosos amorfos activos.

### **Llanos Temporalmente Inundados**

Grandes áreas de llanos casi planos, caracterizados por los Llanos Occidentales de Venezuela y la parte de los Llanos Colombianos al norte del río Meta, presentan problemas especiales. En general, los suelos son bastante fértiles y libres de componentes complicantes, tales como contenidos altos de Al y Fe y concentraciones amorfas. El clima de tipo monzón causa que estas áreas estén sujetas alternativamente a severas sequías e inundaciones. La magnitud de estas áreas recarga a la imaginación para encontrar posibilidades de controlar el agua. La población es escasa y las facilidades de transporte limitadas. Parece que, con excepción de las áreas donde el control del agua es factible, poco puede hacerse para aumentar el desarrollo de la agricultura.

### **Desiertos**

Existen algunas áreas desérticas con precipitación anual total muy baja, en todas las alturas y bajo una amplia gama de temperaturas. Estos suelos a menudo son bastante fértiles y la única necesidad primordial es de proveerles con sistemas de irrigación. Algunos problemas de salinidad y alcalinidad pueden notarse, así como es de esperar cierta fijación de fertilizantes cuando está presente carbonato libre. Estas áreas son poco pobladas, con excepción de los valles irrigados, muchos de los cuales tienen una agricultura moderna intensiva.

## 1.2 FORMACION DE SUELOS

Los factores que afectan y los procesos involucrados en la formación de suelos en los trópicos son iguales a los conocidos por pedólogos en las áreas templadas. Aunque existen algunas diferencias cuantitativas, por lo general son de poca magnitud. Los estudios genéticos parecen tratar de buscar las ocurrencias extraordinarias o dramáticas y clasificarlas como ocurrencias únicas.

La mayoría de las investigaciones y experiencias en pedología sobre las cuales se basan nuestros textos y otros materiales didácticos, han provenido de las zonas templadas. Realmente es probable que no haya ningún pedólogo completamente desprovisto de experiencias en zonas templadas ya sea directa o indirectamente, mientras que muchos pedólogos no tienen ninguna experiencia en las zonas tropicales y muchos tienen un conocimiento muy limitado de partes ínfimas de los trópicos. Por lo tanto, es probablemente inadvertente, que vamos a tratar de relacionar las condiciones de las zonas tropicales a las más familiares de nuestras experiencias en las zonas templadas.

Tal vez un enfoque más directo a la génesis del suelo, sería el de observar todos los procesos de formación de suelos como funciones continuas. La actividad de cada una es determinada por el ambiente actual en el que puede proceder. A fin de proceder, cada proceso necesita material originario en el que pueda imponer cambios; la energía necesaria capaz de causar un cambio en el material originario; y ya sea un producto secundario inerte para cambiar aún más, o capaz de servir como material originario para otro proceso. A fin de que el proceso pueda ser medido y registrado por los pedólogos, el cambio del material originario a secundario debe ser ponderable. Por lo tanto, a fin de evaluar la formación de suelos en cualquier punto, es necesario conocer la naturaleza del material originario y del material secundario. Esto se complica aún más porque la tasa de reacción no puede medirse excepto como promedios cuando pueden discernirse lapsos de tiempo definidos.

Sólo un factor de diferencia está presente en todas las zonas tropicales versus las zonas templadas. Es la falta de fluctuación por estaciones en el componente temperatura del clima. Así, los suelos tropicales en alguna temperatura promedial anual más alta que congelada, están continuamente expuestos a agua líquida y no están sujetos al proceso de mezcla física (cryopedoturbación) por cristales de hielo en expansión (Smith, 1965).

### **Influencia de la Vegetación**

También se nota que existen patrones similares en el tipo de vegetación de las zonas tropicales y zonas templadas con respecto a la distribución de materia orgánica en los perfiles del suelo. Los árboles perennes dejan toda, o casi toda la producción anual de materia orgánica en la superficie del suelo, mientras que en las praderas la descomposición anual de los sistemas radiculares coloca una mayor proporción del crecimiento vegetativo en el subsuelo donde la descomposición no se acelera por la alta temperatura de la superficie. Así, la distribución de materia orgánica en las sabanas, tales como el Campo Cerrado del Brasil y los Llanos de Colombia, son similares a los del Medio Oeste de los Estados Unidos (Moura, 1968; Guerrero, 1971).

### **Diferencias en Edad**

Como punto de debate, puede decirse que el tiempo por sí sólo no causa activamente ninguna diferencia en el suelo. El tiempo sólo provee una dimensión en la cual operan los procesos. Con esto en mente, debemos observar que por lo menos en una base de área hay un mayor número de suelos viejos en la América Tropical que en la América Templada (Smith, 1965). Con la notable excepción de las áreas volcánicas, los trópicos están compuestos de muchas áreas de topografía relativamente plana y así con tasas de erosión bajas, que anteceden a la edad Pleistocena. Las zonas templadas generalmente son influidas por glaciaciones continentales y fluctuaciones en el nivel del mar tan recientes como hace 10.000 años. Por este mismo hecho, la glaciación continental trae a la superficie material que aún no ha sido sujeto a la intemperie. La erosión de la superficie y deposición, sin embargo, causa que el material, en la mayoría de los casos, sea retirado después de estar expuesto a la intemperie en un lugar, y redistribuido en otra superficie para sufrir aún nuevas alteraciones. Podemos suponer que de los materiales originarios transportados, los que se encuentran en las zonas tropicales de América estuvieron mucho más expuestos a la intemperie antes de la formación actual, que las posiciones equivalentes en la América Templada.

### **Material Originario y Mineralogía**

**Ceniza volcánica.** La génesis del suelo formado de este tipo de material originario, en comparación con otros mejor estudiados, parece ser excepcional. Existe alguna confusión, ya que la composición química de los materiales volcánicos es bastante variable.

Martini (1969) informó que generalmente, algunos factores del suelo pueden ser relacionados a la naturaleza andesítica, basáltica y riolítica de la ceniza. La ceniza andesítica, que es alta en vidrio volcánico y baja en cuarzo, sílice, hierro y bases, tiende a formar suelos altos en materia amorfa y bajo en cuarzo, sílice y hierro. Se forman complejos de materia orgánica estable con compuestos amorfos y los suelos tienen colores oscuros y altas capacidades de intercambio.

Las cenizas basálticas son altas en plagioclase, piroxeno y minerales anfíbolos. Los contenidos de hierro, calcio y magnesio son altos y rápidamente evoluciona un suelo arcilloso, de bajo contenido de cuarzo y alto en hierro.

La ceniza riolítica es alta en cuarzo y feldespato. Suelos arenosos, grises y ácidos tienden a formarse de tales depósitos.

Se ha informado que existen extremas variaciones con respecto a la capacidad de intercambio y saturación de bases en suelos derivados de ceniza volcánica. Bornemisza y Morales (1969) informan de valores de CIC menores de 2 meq/100 gramos en ceniza volcánica reciente, mientras que Kobo (1964) informa sobre un rango de 30 a 60 meq/100 gramos. Martini (1970) informa que existe una disminución de CIC con la edad de los suelos volcánicos. Esto está de acuerdo con Besoain (1964) quien informa sobre una alta concentración de materiales amorfos (alofano) en las primeras etapas de intemperización de ceniza volcánica que generalmente se transforma en kaolinita o halloysita con el lapso del tiempo (Vicente y Besoain, 1961).

La montmorillonita frecuentemente se asocia con climas áridos y semiáridos donde la ceniza tiene una tasa alta de sílice/alumina (Besoain, 1969).

El alofano es un mineral distinto que no ha sido bien estudiado. Las conclusiones de Ross y Kerr (1934) de que "Alofano no tiene una estructura atómica definida o composición química, y que es una solución mutua de sílica, alumina, agua, bases y radicales ácidos accesorios" todavía predominan a pesar de diversos estudios (Kitagawa, 1971). Esta falta de uniformidad aún en la habilidad de definir y caracterizar un componente de tanta amplitud e importancia en suelos desarrollados de ceniza volcánica, es uno de los principales problemas sin resolución que enfrenta a los pedólogos y minerólogos de suelos (DeVilliers, 1971). Técnicas empíricas tales como la de Alexaidés y Jackson (1965) proveen alguna base sobre la que se puede evaluar la

presencia de alofano, pero se necesitan mejores técnicas para avanzar la evaluación de tales suelos.

Martini (1969) ha demostrado que muchas de las propiedades de suelos de ceniza volcánica se asocian con factores externos de formación de suelos igual que en otras clases de suelos. Sin embargo, debe notarse que Bornemisza y Pineda (1969) encontraron que cuando había más que el 15 por ciento de alofano presente en el suelo, la mineralización de nitrógeno orgánico se retardaba.

Suelos derivados de rocas ígneas. Parece que hay dos tipos distintos de situaciones en estas áreas. Los bajos valores de CIC asociados con mineralogía kaolinítica son la regla general. La saturación de bases declina a medida que aumenta la intensidad de intemperización y ya que la kaolinita es un mineral más estable en los suelos que la montmorillonita, hay una tendencia general de encontrar suelos con bajo CIC, de tipo kaolínico, con baja saturación de bases. Sin embargo, los suelos con altos contenidos de montmorillonita y alto CIC, por lo general son más altos en bases. En la Amazonía del Brasil, Fassbender y otros (1970) describen dos grupos de suelos. Los bajos en CIC y altos en Al y los altos en CIC con más de 65 por ciento de saturación de bases. Observaciones similares fueron hechas en la Cuenca del Amazonas en Perú Oriental por Sánchez y Buol (1971).

Tal relación no es universalmente verídica, sin embargo. Por ejemplo Moura (1968) informa del 93 al 99 por ciento de saturación de bases en un Eustrtox del Brasil Central donde la arcilla predominante era kaolinita y los valores CIC eran bastante bajos. En este respecto, es importante recordar que el tipo de mineral arcilloso, i.e. CIC, puede ser una reliquia de una formación antigua de arcilla y la actual población de iones refleja la historia inmediata del suelo. Las poblaciones de iones son influenciadas drásticamente por prácticas de manejo tales como el encañado y la fertilización. También, en los suelos estudiados por Moura, parece que la microestructura juega un papel importante en la retención de los iones básicos.

### **Influencia del Clima en la Composición del Suelo**

Las diferencias entre áreas tropicales y templadas, además de la naturaleza de isoterma de los trópicos, dependen del sitio. No sería pertinente cargar al lector con largos recuentos de condiciones húmedas y desérticas, etc., para enfatizar los factores climáticos. Un estudio sobre este punto parece ser pertinente a esta discusión; Jenny y

otros (1948) encontraron en una comparación de suelos colombianos con suelos de Norteamérica con los mismos valores de temperatura y humedad, que los suelos colombianos tienen un contenido más alto de nitrógeno y materia orgánica que los suelos de Norteamérica. Estos autores manifestaron sorpresa al no poder ver el contenido de nitrógeno expresado en el color del suelo y expresaron de acuerdo con Vaegler (1930) quien dijo que el humus tropical es incoloro.

Lo anterior es una conjetura, por parte del autor, pero parece razonable que este fenómeno se explica cuando se considera que las comparaciones de temperatura fueron hechas sobre una base de promedio anual. Por lo tanto, a fin de tener temperaturas promedio anuales similares en ambientes templados y tropicales, las temperaturas mucho más altas son experimentadas en alguna época del año en las zonas templadas que en las zonas tropicales. Ya que las reacciones biológicas y químicas siguen la muy citada regla de Van't Hoff de 2 a 3 veces la velocidad por cada 10°C de elevación de temperatura, el siguiente razonamiento parece estar en orden.

Cuando se considera que muchas de las sabanas de América del Sur están secas de 3 a 5 meses al año, por tanto inhibiendo la descomposición al igual que el invierno de las zonas templadas, y que durante los meses restantes tienen una temperatura más baja que los veranos de las zonas templadas de la misma temperatura anual promedial, se tiene menos energía disponible para la descomposición en la zona tropical.

Si se compara la cantidad de carbono orgánico en el primer metro de algunos perfiles bien drenados de Iowa, Estados Unidos (SSIR, 1966), Sureste de los Estados Unidos (SSIR, 1967) y Brasil (Ministério da Agricultura 1966, 1970), se observan algunas contradicciones muy interesantes a las creencias comunes. El contenido de carbono orgánico de 0,3 a 0,42 por ciento está presente en el metro superior de arenas Roja y Amarilla, Podzolicos Rojo--Amarillo, y Latosol Rojo Oscuro en Mato Grosso, Brasil. Del 0,5 al 1,0 por ciento de C orgánico está presente en Latosoles de Brasilia, mientras que las tierras comunes bien drenadas del Sureste de los Estados Unidos tienen un alcance de 0,1 a 0,3 por ciento de CO y los suelos de las praderas de Iowa (Mollisoles) van de 0,6 a 1,0 por ciento de CO en el metro superior.

Por tanto, aunque actualmente no se han realizado cálculos extensivos de estos valores, parece claro que existe un contenido mucho mayor de materia orgánica en muchas de las situaciones tropicales bien

drenadas de lo que existe en nuestros suelos comunes del Sureste de los Estados Unidos. Aunque estos suelos tropicales aparecen bastante rojos y desprovistos de materia orgánica, ellos contienen una cantidad considerable de materia orgánica y ya que las tasas C/N son generalmente de 10 a 15, una gran cantidad de nitrógeno está potencialmente disponible. Una posible fuente de error, que no se considera por las tasas razonables de C/N, es que los altos contenidos de Mn puedan crear una lectura errónea alta del %C por los métodos de oxidación usados.

### Influencias Topográficas

Dos relaciones distintas de familias de minerales arcillosos parecen asociarse con suelos mal drenados. Además, estas relaciones parecen ser comprendidas mejor cuando la posición geomórfica del suelo mal drenado se considera más bien que las moteaduras de baja croma del perfil. Para estos suelos mal drenados asociados con napas freáticas altas, la mineralogía tiende a ser más o menos la misma que los suelos circundantes bien drenados (Martini, 1969). Sin embargo, cuando el mal drenaje es el resultado de condiciones anaeróbicas engendradas por horizontes de subsuelo impermeable, la mineralogía puede ser montmorillonítica (Sánchez y Buol, 1971). Esta relación puede ser comprendida si se considera la presencia de montmorillonita, especialmente en altas cantidades en horizontes arcillosos, como una zona que debido a su naturaleza expansiva restringe la lixiviación, protegiéndose así de la intemperie. Estos suelos toman los colores grises característicos del mal drenaje pero en realidad, muy poca agua sale del área y el potencial para lixiviar productos intemperizados es bajo.

### Latosoles y Laterita – “Suelos Tropicales Especiales”

Los términos Latosol y laterita, erróneamente, pero con frecuencia, se toman como sinónimos. “La laterita es un material altamente intemperizado, rico en óxidos secundarios de hierro, aluminio, o ambos. Está casi desprovisto de bases y de silicatos primarios, pero puede contener grandes cantidades de cuarzo y kaolinita. Es duro, o capaz de endurecerse al exponerse a mojadura y secado”. (Alexander y Cady, 1962). Por lo tanto, es un material, y no realmente un suelo.

Los Latosoles son un grupo de suelos altos en óxidos secundarios y bajos en sílica que pueden o no contener material de laterita como parte del perfil. Actualmente, el término Latosol es el nombre usado

por algunos taxonomistas, notablemente brasileños, para aquellos suelos que tienen un horizonte latosólico B opuesto a un horizonte textural B argílico.

**Nomenclatura moderna.** Debido a la antigua confusión respecto a estos términos y falta de uniformidad en la definición de laterita, se han eliminado del uso taxonómico en el actual sistema taxonómico de los Estados Unidos (USDA 1970). El término "plintita", definido como "material cementado sesquióxido, duro, o capaz de endurecerse con repetidas mojadadas y secadas", reemplaza gran parte del material que antiguamente se conocía con el término de laterita. El orden taxonómico Oxisol reemplaza a muchos Latosoles y el horizonte óxido tiene una definición comparable con, y todavía sujeta a refinaciones en conjunto con el horizonte latosólico B de los brasileños.

Para muchos, esto puede parecer un factor de confusión ideado por taxonomistas del suelo para la mistificación de los no-taxonomistas.

Existen numerosos monumentos a la confusión e interpretación errónea de términos antiguos, y uno merece especial atención. De acuerdo con un artículo de McNeil (1964), se puede concluir que no es posible ninguna agricultura moderna en gran parte de Florida, Georgia, Alabama y Louisiana así como en casi todo Hawaii, Puerto Rico o Cuba, porque el suelo se endurece cuando se cultiva.

De mi experiencia personal, he visto a un notable geólogo hacer referencia a suelos en el sur de Arizona como lateríticos o reliquia de Latosol porque eran "rojos", cuando el análisis demostró que contenían menos del 5 por ciento de óxido de hierro libre, los valores de pH eran casi neutros, y las familias de minerales arcillosos tenían concentraciones más altas de illita y otros minerales fácilmente intemperizados. Cualquier uso de los términos más antiguos demanda un escrutinio cuidadoso por parte del investigador moderno.

**Proceso de endurecimiento de la Plintita (laterita).** La propiedad de un material de suelo de endurecerse cuando es mojado y secado, es un punto de no poca importancia al considerarse la planificación del uso potencial de un área. La plintita está presente ya sea cuando hay altas concentraciones de hierro en la roca madre o cuando el hierro es translocado a un área. Generalmente se forma en conjunto con un nivel de agua freática fluctuante (Daniels y otros, 1970; Alexander y Cady, 1962). Así, tales prácticas como la instalación de drenaje, pueden causar un secado significativo, seguido aparentemente por crecimiento

de cristales sesquióxidos, y la formación de una capa endurecida. Esto puede comprobarse fácilmente, retirando el material sospechoso, mojándolo a punto de saturación y dejándolo secar. Si después de haber repetido este proceso de cinco a diez veces, el material todavía es suficientemente friable para desmenuzarse con la mano, el material no podrá ser calificado como plintita y probablemente no causará problemas de endurecimiento. En la mayoría de las áreas cultivadas, los agricultores frecuentemente habrán identificado este material y estarían usando la plintita como material para la construcción de carreteras por sus propiedades de endurecimiento.

**Distribución de plintita.** La laterita, los Latosoles y la laterización (los procesos ambiguos adscritos por muchos a esta formación) ocupan una gran parte de la visibilidad en la literatura. Aunque la plintita es un factor bastante común en los subsuelos en algunos Ultisoles de los Estados Unidos, su ocurrencia no fue reconocida por muchos años en dicho país. Parece que no está presente en gran parte de Europa, y por lo tanto fue un factor nuevo y diferente encontrado en los primeros estudios tropicales. Como tal, fue muy discutido y exagerado tanto en palabras como en sus acciones.

Debido a que la cuantificación del término plintita es bastante reciente, no es posible dar una evaluación cuantitativa de su extensión en área. Visitas personales han demostrado ocurrencias definidas en el Brasil, México y Colombia. En todos los casos, sin embargo, ocurrió en proporciones menores y en relaciones geomórficas definidas similares a las descritas en los Estados Unidos (Daniels y otros, 1970).

### 1.3 CLASIFICACION DE SUELOS

La idea de clasificación puede atribuirse a la naturaleza humana. Además de este deseo natural, el acto de clasificar permite que se asocien cosas similares para propósitos de comparación, estudio y extrapolación. Si las propiedades usadas para agrupar suelos en un sistema de clasificación son las mismas que las propiedades que afectan el uso de los suelos, es obvio que los grupos creados en el sistema tendrán respuestas similares para usos similares. Por ejemplo, si el contenido de aluminio del suelo afecta el crecimiento del maíz, los suelos agrupados por un contenido similar de aluminio tendrán un crecimiento de maíz comparable, asumiendo que el Al es la única diferencia causativa en el crecimiento. Esta suposición de un simple factor variable generalmente no es válida en el caso del análisis

económico suelo—fertilizante—plantas. Además, un sistema de clasificación de suelos debe ser útil para más de un cultivo y así se usan muchas propiedades del suelo para delimitar el criterio de grupo.

### Tipos de Sistemas de Clasificación

Los sistemas de clasificación para suelos pueden separarse por su parte por lo menos en dos tipos. Uno es de acuerdo al uso del suelo. Muchos ejemplos están disponibles, desde el de los antiguos chinos que trataron de clasificar las tierras para propósitos fiscales. Igualmente, la clasificación como suelos para maíz, suelos para cerezas, suelos para algodón y suelos para jardines, caen en esta categoría.

La imagen más común de clasificación de suelos es como un vehículo para llegar a un conocimiento de cómo los diversos suelos se relacionan en la naturaleza para ofrecer alguna esperanza de asociar factores que los diversos suelos tienen en común.

Simplificando, podría decirse que los enfoques a la clasificación del suelo en el primer caso involucran el uso de criterios relacionados al uso que el hombre puede hacer del suelo para propósitos específicos, y, en el segundo caso, los criterios de cómo el hombre cree que el suelo ha desarrollado sus propiedades. En cualquier caso, es importante señalar que la clasificación es humana. Así, puede decirse que, mientras el hombre encuentra ya sea nuevos usos para los suelos o nuevos métodos para medir sus características, y hacer hipótesis de nuevas teorías sobre la formación del suelo, continuará revisando los sistemas de clasificación de suelos (Smith 1965).

Con la excepción de algunos sistemas puramente empíricos del primer tipo, es decir la clasificación de ingeniería de los materiales del suelo, todos los sistemas de clasificación de suelos actuales tienen un elemento de ambos enfoques, ya sea directa o indirectamente incluidos en los criterios usados para diferenciar grupos de suelos o taxa. Los sistemas de clasificación más usados en América Latina son el sistema Brasileño (Bennema y Camargo, 1964; Costa Je Lemos, 1968) basado en el sistema de los Estados Unidos del año 1938, el Nuevo Sistema de Séptima Aproximación (Soil Survey Staff, 1960, 1964, 1967 y 1970) de los Estados Unidos introducido en 1960, y la leyenda del mapa mundial de la FAO (Dudal, 1968a, 1968b, 1969). Cada sistema, hasta cierto punto, tiene criterios importantes comunes y por lo tanto su traducción no es demasiado complicada. Ya que cada sistema fue

diseñado en una época diferente por distintas personas y para servir necesidades diferentes, es necesario hacer algunas comparaciones de antecedentes para comprender lo que pueda parecer como diferencias sin solución.

El sistema norteamericano del año 1938 (Baldwin y otros, 1938) revisado en 1949 (Thorp y Smith, 1949) se adhería a un fuerte bias de génesis. Se había desarrollado primordialmente de datos y experiencia europeos y norteamericanos, y dejaba amplios grupos para las regiones tropicales. En efecto, este sistema de agrupación de suelos de regiones tropicales a una o dos categorías por criterios climáticos ha dado a los estudiantes de pedología la impresión errada de la uniformidad y singularidad de los suelos tropicales. Las modificaciones brasileñas a este sistema han elaborado sobre las clases de suelos más prevalentes en los trópicos americanos y han establecido subgrupos en esta área.

La Séptima Aproximación de los Estados Unidos publicada en 1960 y revisada desde entonces (Soil Survey Staff, 1960, 1964, 1967 y 1970) para uso interno en los Estados Unidos, ha disminuido el bias de criterio genético del sistema del año 1938 y ha enfocado la atención en las propiedades de perfil del suelo. Aún más, y de gran importancia, ha establecido límites cuantitativos de variación dentro de cada categoría para que todos los grupos, a cualquier nivel del sistema, sean mutuamente exclusivos. Al hacer esto, se han agrupado suelos de regiones tropicales en las mismas categorías superiores con suelos similares de las zonas templadas. Esto permite una transferencia más fácil de información de un área a otra. El sistema generalmente separa los equivalentes tropicales de suelos templados ya sea al tercer nivel (gran grupo) o quinto nivel (familia). Lamentablemente, la agrupación de algunos suelos extensos encontrados en zonas tropicales son tratados a grosso modo porque su ocurrencia es limitada a los Estados Unidos. Se están haciendo provisiones para un mejoramiento ordenado de estos grupos, como en todos los otros grupos, cuando existan nuevos datos.

El sistema de la FAO no fue diseñado como un sistema de clasificación sino más bien como un sistema de dos niveles para ser usado en la correlación de mapas de pequeña escala. Comprende una nomenclatura casi completamente nueva diseñada para pacificar a todos los principales países del mundo (Dudal, 1968b). Ya que fue diseñado para usarse en el nombramiento de unidades de mapas generales, no es tan detallado como el sistema de los Estados Unidos, que sirve los detalles requeridos en mapas detallados en una escala de cuatro pulgadas por milla. Así, mientras que el sistema de los Estados Unidos

contiene unas 10.000 categorías para suelos de los Estados Unidos, el sistema de la FAO tiene únicamente 103 categorías (Dudal, 1970) para todos los suelos del mundo. En general, esto es comparable al tercer nivel del sistema de los Estados Unidos.

El sistema de la FAO, como el sistema de los Estados Unidos y las modificaciones brasileñas del sistema del 1938, tienen elementos de cuantificación y atención a características de perfiles no comunes en los primeros sistemas o algunos de los sistemas actuales usados en Europa. Además, gran parte de esta cuantificación ha sido desarrollada mientras que se efectuaban comunicaciones, así que los sistemas son fácilmente traducibles. Por ejemplo, el horizonte latosólico B del sistema brasileño, es definido en una manera similar al horizonte óxico del sistema de los Estados Unidos, un requisito del orden Oxisol en ese sistema. El sistema de la FAO contiene criterios cuantitativos para sus unidades y subunidades paralelas a los criterios de los Estados Unidos en casi todas las acepciones (Cuadros 1 y 2). Cuando partes del sistema brasileño no encajan con el sistema actual de los Estados Unidos, se relacionan al antiguo sistema de los Estados Unidos del 1938, que es fácilmente comprendido por la mayoría de los pedólogos norteamericanos (Cuadros 3 y 4).

#### Valor de la Clasificación de Suelos

La práctica de clasificar suelos en cualquier sistema, es de valor únicamente si: 1) obliga a la persona a estudiar las características del suelo; 2) produce un mejor entendimiento de la relación de las propiedades del suelo; y 3) provee una base sólida para la extrapolación de información de un área a otra. Obviamente el tercer punto, es de primordial importancia para el aspecto agro-económico de nuestro interés en la investigación de la fertilidad de los suelos tropicales. Así, una clasificación interpretativa, es más adecuada que los sistemas multifacéticos diseñados para estudiar los suelos por sí solos. Reconociendo esta necesidad en el área de planificación de recursos, la mayoría de los programas de investigación de suelos en cada país, usan la capacidad de uso de la tierra en el sistema económico para clasificar sus tierras. Este tipo de sistema, aunque bastante cualitativo en práctica, satisface una necesidad definida. Basándose en diversos criterios de pendiente, profundidad del suelo, textura, y propiedades químicas adversas, los suelos son calificados en un orden de 1, 2, 3, etc., para demostrar los que no tienen limitaciones para la agricultura, que sería el No. 1, hasta los que tienen severas limitaciones. En cuanto sea posible, las limitaciones específicas y los potenciales son señalados para cada

clase por parte del personal que está realizando el estudio de reconocimiento. A pesar de que sirven un propósito muy valioso, tales sistemas pueden interpretarse únicamente bajo limitaciones geográficas y socio—económicas y, por lo general, es difícil hacer una correlación de un área a otra. También, ya que tienen interpretaciones específicas de orden administrativo, son sujetas a invalidación a medida que ocurren cambios de orden administrativo o económico. La principal omisión en muchos casos es que no presentan las características cuantitativas del suelo para ser estudiadas por un investigador. Esencialmente delinean mapas y clasifican una interpretación.

Este autor considera que no existe, ni puede haber, un sistema ideal de clasificación de suelos. La calidad de cualquier sistema de clasificación se determina únicamente por su habilidad de ser útil para cierta necesidad en particular. Mientras haya más de un uso para el suelo, habrá más de un juego de criterios necesarios para un sistema de clasificación de suelos, o necesidad de tener más de un sistema de clasificación.

#### 1.4 RESUMEN

Existe una gran variedad de características de suelos en las zonas tropicales. Con la excepción de la poca variación anual de temperatura del suelo, que es lo único típico de las condiciones tropicales, no hay ninguna otra propiedad que parece ser compartida por los suelos tropicales. En la mayoría de los casos, las características de los suelos tropicales tienen una contraparte en los suelos templados; sin embargo, varias propiedades son realmente más significativas en los trópicos que en las zonas templadas. Esto es especialmente cierto con las características de capacidad baja de intercambio de cationes y la estructura fina granular del horizonte óxico, que es rara en los suelos templados. La alta concentración libre de óxido de hierro y la presencia de formaciones endurecidas de hierro en algunas áreas tropicales, son raras en las partes geológicamente más nuevas de las zonas templadas, pero similares a las encontradas en las áreas más antiguas de la zona templada. Los contenidos de materia orgánica son más altos en muchas llanuras tropicales que en suelos más antiguos húmedos de la zona templada.

Los conceptos de genética del suelo expresados para las zonas tropicales, se resumen que son los mismos que los de las zonas

templadas. Este autor es partidario del resumen de génesis de suelos tropicales presentado por Carter y Pendleton (1956):

“¿Por qué, si las cosas son tan simples como las presentamos, ha habido tanta confusión? El concepto de un proceso tropical llegó a enfocarse en el término de “laterita”. La laterita fue y es un factor, una cosa específica, y no un proceso. El proceso fue inventado por aquellos que nunca habían visto el factor y que, peor aún, lo aplicaron a toda clase de fenómenos que supuestamente, pero no en realidad, son semejantes a la laterita como descrita originalmente”.

Los factores de suelos tropicales son similares o iguales a los de las zonas templadas y pueden predecirse o interpretarse por teorías de génesis al mismo grado que los suelos templados.

La clasificación de suelos en la América Tropical es fragmentada pero no tan drásticamente como parece a primera vista. Oficialmente, existen tres sistemas importantes que se usan en la América Tropical, pero ya que éstos tienen un alto grado de correlación, la información puede ser extrapolada con poca dificultad. Además, ha habido, y hay un gran esfuerzo de parte de la mayoría de los pedólogos latinoamericanos de conocer el sistema de los Estados Unidos. El único obstáculo es la falta de traducciones rápidas y transmisión de enmiendas recientes al sistema de los Estados Unidos.

Hay una gran falta de comunicación entre las investigaciones de orden agro-económico y la clasificación de suelos y delineación de mapas que permite a tal investigación la extrapolación que requiere. Es evidente la necesidad de un mejor entendimiento y mayor cooperación. Parece que la clasificación técnica de suelos se mantiene simple, usando únicamente la morfología del suelo y la composición conocida y demostrada, para tener una influencia económica en las interacciones de suelo-planta-fertilizante que ayudarán a sobrellevar este abismo.

CUADRO 1. Comparación de los horizontes de FAO y 7a. Aproximación (según Buol y otros, 1973).

FAO/UNESCO	Séptima Aproximación
horizonte A melánico	epipedón mólico
horizonte A bien desarrollado (sombri- brico)	epipedón úmbrico
horizonte A débil (pálido)	epipedón ócrico
horizonte A orgánico	epipedón hístico
horizonte B nátrico	horizonte nátrico
horizonte B argilúvico	horizonte argílico
horizonte B "plánico" (cambio de textura abrupta)	descrito pero no nominado
horizonte B "glósico" (lenguas sobre el límite)	descrito pero no nominado
horizonte plíntico	plintita
horizonte B cámbico (excepto los horizontes gley, excluidos)	horizonte cámbico
horizonte "gleyic"	(sólo para FAO/UNESCO, para horizon- tes con pronunciada indicación de hume- dad en los primeros 50 cm a partir de la superficie).
horizonte B espódico	horizonte espódico
horizonte B óxico	horizonte óxico
horizonte cálcico	horizonte cálcico
horizonte gípsico	horizonte gípsico
horizonte sálico	horizonte sálico
horizonte gíbsico	(sólo para FAO/UNESCO, para capas con 30% o más gibsita, ó 29% o más agregados del tamaño de grava, por volumen, conte- nido 30% o más gibsita).

CUADRO 2. Cuadro de Correlación FAO – 7a. Aproximación (según Dudal, 1969).

Mapa de suelos del Mundo (Unidades, diciembre 1968)	USDA 7a. Aproximación (Unidades, marzo 1967)
<b>FLUVISOLES</b>	
Fluvisoles Dístricos	Fluvents – ácidos (1)*
Fluvisoles Eútricos	Fluvents – no ácidos
Fluvisoles Calcáreos	Fluvents – calcáreos
Fluvisoles Gléycos	(Fluventic) Aquentes (2)
<b>REGOSOLES</b>	
	Orthents (3)
	Psamments (excepto Oxic Quarzipsamments y Alfic Psamments)
Regosoles Dístricos	– ácido (1)
Regosoles Eútricos	– no ácido
Regosoles Calcáreos	– calcáreo
<b>ARENOSOLÉS</b>	
Arenosoles Dístricos	Oxic Quarzipsamments
Arenosoles Eútricos	Alfic Psamments
<b>GLEYSOLES</b>	
Gleysoles Túdricos	Pergelic Cryaquepts Pergelic Cryaquolls
Gleysoles Thiónicos	Familias sulfurosas de los Aquentes y Aquepts
Gleysoles Háplicos	Haplaquepts no Fluventic Aquentes (2)
Gleysoles Húmicos	Humaquepts (excepto los Hísticos) Haplaquolls (excepto los hísticos y Cállicos)
Gleysoles Cállicos	Calciaquolls (5) Calcic Hapaquolls
Gleysoles Plínticos	Plinthaquepts
Gleysoles Hísticos	Histic Humaquepts & Histic Cryaquepts (excepto los Pegelic) Histic Cryaquolls y Histic Haplaquolls

\* Las cifras en paréntesis se refieren a las notas explicativas

Mapa de suelos del Mundo (Unidades, diciembre 1968)	USDA 7a. Aproximación (Unidades, marzo 1967)
RENDZINAS	Rendolls
RANKERS	Entic Haplumbrepts (normalmente también Líticos)
ANDOSOLES Andosoles Háplicos  Andosoles Vítricos Andosoles Gléyicos	Dystrandeps (6) Eutrandeps Hydrandeps Vitrandeps Andaquepts
VERTISOLES	Vertisols (7)
VERTISOLES Yermosoles Háplicos Yermosoles Cálcidos  Yermosoles Gypsicos  Yermosoles Lúvicos	no Mollic Camborthids no Mollic Calciorthids con horizonte Cál- cico no Mollic Calciorthids con horizonte Gípsico no Mollic Haplargids
XEROSOLES Xerosoles Háplicos Xerosoles Cálcidos Xerosoles Gypsicos Xerosoles Lúvicos	Mollic Camborthids Mollic Calciorthids con horizonte Cál- cico Mollic Calciorthids con horizonte Gípsico Mollic Haplargids
SOLONCHAKS Solonchaks Háplicos Solonchaks Húmicos  Solonchaks Takíricos Solonchaks Gleycos	Salorthids Salorthidic Calciustolls Salorthidic Haplustolls Salorthids (8) Fases salinas de los Aquepts o Aquepts (9)

Mapa de suelos del Mundo (Unidades, diciembre 1968)	USDA 7a. Aproximación (Unidades, marzo 1967)
<b>SOLONETZ</b>	
Solonetz Háplicos	Natriboralfs, Natrudalfs, Natrustalfs, Natrixeralfs
Solonetz Húmicos	Natralbolls, Natriborolls, Natrustolls Natrixerolls, Natragrids, Nadurargids Natric Paleargids, Natric Palexerolls
Solonetz Gleycos	Natric Paleargids, Natric Palexerolls Natraqualfs Natraquolls
<b>PLANOSOLES (10)</b>	
Planosoles Háplicos	Albaqualfs (y algunos Paleosoles abruptic Aquic) (10)
Planosoles Húmicos	Argialbolls (y algunos Paleosoles abruptic Aquic) (10)
Planosoles Solódicos	(11)
<b>CASTANOZEMS (12)</b>	
Castanozems Háplicos	Haplustolls (excepto los Salorthidic)
Castanozems Cálcidos	Calciustolls (excepto los Salorthidic)
Castanozems Lúvicos	Argiustolls
<b>CHERNOZEMS (12)</b>	
Chernozems Háplicos	Haploborolls Vermiborolls
Chernozems Cálcidos	Calciborolls
Chernozems Lúvicos	Argiborolls
Chernozems Gleycos	Calcic Argiaquolls
<b>PHAEOZEMS (12)</b>	
Phacozems Háplicos	Hapludolls Vermudolls (en sección, 13)
Phaeozems Calcáreos	Vermudolls (en sección, 13)
Phaeozems Lúvicos	Argiudolls
Phaeozems Gléycos	Argiaquolls (excepto los Cálcidos)

Mapa de suelos del Mundo (Unidades, diciembre 1968)	USDA 7a. Aproximación (Unidades, marzo 1967)
<b>CAMBISOLES</b>	
Cambisoles Háplicos	Dystrachrepts (excepto los Andicos)
Cambisoles Lútricos	Eutrochrepts (sin carbonatos en el horizonte Cábico) (excepto los Andicos)
Cambisoles Calcáreos	Eutrochrepts (con carbonatos en el horizonte Cábico)
Cambisoles Vérticos	Vertic Eutrochrepts
Cambisoles Húmicos	Haplumbrepts (excepto los Andicos)
Cambisoles Andicos	Andic Dystrachrepts, Eutrochrepts y Haplumbrepts
<b>LUVISOLES</b>	
Luvisoles Háplicos	Hapludalfs
Luvisoles Chrómicos	Agrudalfs
	Haploxeralfs
	Haplustalfs (excepto los Oxicos)
	Rhodoxeralfs (excepto los Oxicos)
	Rhodustalfs (excepto los Oxicos)
Luvisoles Férricos	Oxic Haplustalfs
	Oxic Rhodustalfs
	Oxic Rhodoxeralfs
Luvisoles Albicos	Eutroboralfs
Luvisoles Plínticos	Plinthoxeralfs, Plinthustalfs
Luvisoles Gléycos	Ochraqualfs, Umbraqualfs
<b>PODZOLUVISOLES</b>	
Podzoluvisoles Háplicos	Glossudalfs, Ferrudalfs
Podzoluvisoles Gléycos	Glossoboralfs
	Glossaqualfs
<b>PODZOLES</b>	
Podzoles Humo- férricos	Orthods (excepto los Plácicos) (en sección, 14)
Podzoles Ocricos	Orthods (en sección, 14)
Podzoles Férricos	Ferrodos
Podzoles Húmicos	Humods (excepto los Plácicos)
Podzoles Plácicos	Placorthods
	Placohumods
	Placaquods
Podzoles Gléycos	Aquods (excepto los Plácicos)

Mapa de suelos del Mundo (Unidades, diciembre 1968)	USDA 7a. Aproximación (Unidades, marzo 1967)
<b>ACRISOLES</b>	
Acrisoles Háplicos	Hapludults, Rhodudults Haplustults, Rhodustults Haploxerults, Rhodoxerults
Acrisoles Húmicos	Humults
Acrisoles Plínticos	Plinthudults, Plinthaquults
Acrisoles Gléycos	Aquults (excepto Plinthaquults)
<b>NITOSOLES</b>	
Nitsoles Dítricos	Oxic Palehumults, Oxic Paleudults, Oxic Paleustults
Nitsoles Eútricos	Oxic Palexerults Oxic Paleudalfs Oxic Paleustalfs
<b>FERRALSOLES (15)</b>	
Ferralsoles Háplicos	
Ferralsoles Ochricos	Haplorthox, Acrorthox, Gibbsiorthox
Ferralsoles Rhódicos	Eutrorthox (en parte)
Ferralsoles Húmicos	Humox
Ferralsoles Plínticos	Plinthaquox
<b>HISTOSOLES</b>	
Histosoles Dítricos	Histosols – ácidos
Histosoles Eútricos	Histosols – no ácidos
<b>LITOSOLES</b>	
Litosoles Dítricos	Subgrupos Plínticos,
Litosoles Eútricos	clases muy superficiales

#### Cuadro 2. NOTAS EXPLICATIVAS

- (1) El pH 4,2 en KCl sirve de límite para reparar los grupos dítricos y eútricos dentro de los Fluvisoles y los Regosoles. Este límite del USDA para las mismas categorías (pH 5.5 en agua). El pH 4,2 fue adoptado en analogía con la reparación usada en Canadá de los Histosoles dítricos y eútricos. A diferencia de los Psamments, las clases de reacción también se aplican aquí a los Regosoles y Fluvisoles de textura gruesa con el propósito de uniformar.

- (2) Aunque los Aquentes no tienen subgrupos fluvénticos, se ha tratado aquí de usar la distribución (fluvéntica) o materia orgánica en los Aquentes para distinguir los Fluvisoles Gleyicos. (Los Aquentes no fluvénticos se agrupan con los Gleysoles Háplicos).
- (3) La separación entre Orthents y Psammentes se ha hecho usando clases texturales. Los Arentes se agrupan con las unidades.
- (4) Los Haplaquepts no se muestran separadamente, se delinean como fases sódicas. Tampoco los Hydraquents tienen un lugar específico; parte de ellos cae entre los Gleysoles Thiónicos. Los Psammaquents se muestran como una clase de textura gruesa en uno de los otros Gleysoles.
- (5) Para los Gleysoles Cálcidos el límite de profundidad del horizonte cálcico se ha establecido en 100 centímetros, así que tanto los Calciaquolles como los Haplaquolles Cálcidos caen dentro de esta unidad.
- (6) Se ha sentido la necesidad de hacer aún otra subdivisión dentro de los Andosoles Háplicos a fin de reflejar la separación entre Dystrandeps, Etrandeps y Hydrandeps. Parecía, sin embargo, que no había suficiente información disponible para hacer tal subdivisión en la escala del mapa.
- (7) Se ha tratado de hacer aún otra subdivisión entre Pell- y Chrom--Vertisoles. Aquí, de nuevo, parecía que en una escala mundial es difícil de obtener la información necesaria para hacerlo.
- (8) Solonchaks Takyricas cubren los Takyres de la Unión Soviética (suelos salinos de textura pesada, que forman costras en la superficie y muestran rajaduras poligonales). Posiblemente se correlacionan con Salorthids.
- (9) Los suelos salinos saturados con agua por más de un mes al año no pueden clasificarse como Salorthids. Los Solonchaks Gleyicos por lo tanto, probablemente se correlacionan con las fases salinas de Aquepts o Aquentes.
- (10) No se ha previsto un lugar específico en el Mapa Mundial de Suelos para los grupos Pálidos Aquellos que muestran cambios abruptos de textura y factores "áquicos" o "albáquicos" pueden encajar en las definiciones de Planosoles.
- (11) Los Planosoles Solódicos deben cubrir lo que se ha llamado Solodes. Muchos de estos suelos encajan en los Argialbolles pero se separan aquí en una saturación de sodio que excede el 6 por ciento en alguna parte del horizonte B. Algunos subgrupos albaquálicos nátricos o argialbólicos nátricos (e.g. dentro de Xeralfs o Ustalfs) también pueden encajar en los Planosoles Solódicos (nátrico aquí se entiende como subgrupos con saturación de sodio alto pero que no tienen un horizonte nátrico).
- (12) Los subgrupos no--cálcidos de Xerolls se correlacionan como variante climático de plaeozems. Los subgrupos cálcidos, sin embargo, caen dentro de los Chernozemis o Castanozems, según el color de su horizonte superficial.
- (13) Sólo los Vermudollos Calcáreos se correlacionan con los Phaeozems Calcáricos. Los otros Vermudollos se agrupan con los Phaeozems Háplicos.

- (14) Con los Podzoles Ocrícos se ha tratado de separar, dentro de los Orthods, los suelos anteriormente llamados "Podzólicos Café". Una definición se está ensayando en base de la tasa Fe/Al que en los "Podzólicos Café" parece ser más alta que en los otros Spodosoles.
- (15) La definición de Ferralsoles encaja con la de Oxisoles. La subdivisión de los Ferralsoles, sin embargo, sigue una delineación diferente. Los Ferralsoles Ródicos, normalmente formados de materiales básicos, cubren la mayor parte de los Eutrorthox. Los Ferralsoles Háplicos y Ocrícos cubren los Haplorthox Acrorthox y Gibbsiorthox. Los Ferralsoles Ocrícos cubren parte de las familias kaolíníticas que generalmente ocurren bajo condiciones de humedad permanente en las regiones ecuatoriales.

CUADRO 3. Séptima Aproximación — correlación con el sistema del 1938 (según el Soil Survey Staff, 1960).

Orden actual	Aproximación equivalente (Baldwin y otros, 1938)
1. Entisoles	Suelos A zonales y algunos Gley bajos en humus.
2. Vertisoles	Grumosoles
3. Inceptisoles	Ando, suelos pardos ácidos, algunos forestales pardos, gley bajos en humus, y gley húmicos.
4. Aridisoles	Suelos de Desierto, Desierto Rojizos, Sierozems, Solanchak, algunos pardos y pardo rojizos y los Solonetz asociados.
5. Molisoles	Chesnut, Chernozem, Brunizem (de pradera), Rendzinas, algunas pardas, Pardo Forestales y los Solonetz y Gley húmicos asociados.
6. Espodosoles	Podzoles, suelos Podzólico pardos y Podzoles saturados con agua.
7. Alfisoles	Podzoles pardo grisáceos, grises forestales, pardos no cálcicos, Chernozens degradados, Planosoles asociados y algunos Half-Bog.
8. Ultisoles	Podzoles Rojo-amarillos, Lateritas Rojo-amarillentas de los Estados Unidos y Planosoles asociados, Half-Bog.
9. Oxisoles	Suelos lateríticos y Latosoles
10. Histosoles	Suelos Bog, suelos orgánicos.

**CUADRO 4. Categorías Superiores del Sistema de Clasificación de Suelos del Brasil (según Bennema y Camargo, 1964).**

- 
1. Suelos con horizonte B Latosólico (incluyendo Latosol Roxo y la mayoría los Latosoles normales con CIC de la arcilla menor que 6,5 meq/100 g).
  2. Suelos con horizonte B textural con plintita.
  3. Suelos con horizonte B textural sin plintita (incluyendo Rubrozems, Terra Roxa Estructurada y otros).
  4. Suelos con horizonte B nátrico.
  5. Suelos con horizonte B incipiente.
  6. Suelos con horizonte endurecido debajo del horizonte A.
  7. Grumosoles.
  8. Litosoles.
  9. Regosoles.
  10. Arenas.
  11. Podzoles (incluyendo los Hidromórficos).
  12. Otros suelos Hidromórficos (incluyendo los Orgánicos).
- 

## 1.5 BIBLIOGRAFIA

- Abbot, A. T. 1958. Occurrence of gibbsite on the island of Kauai, Hawaii Islands. *Econ. Geol.* 53:842–853.
- Abruña, F. R., Vicente–Chandler, J., Pearson, R. W. *et al.* 1970. Crop response to soil acidity factors in Ultisols and Oxisols: I. Tobacco. *Soil. Sci. Soc. Amer. Proc.* 34(4):629–635.
- Ahmad, N. 1969. Genesis, chemical properties and mineralogy of Caribbean grumosols. *Soil Sci.* 107(3):166–174.

- Ahmad, N. and Davis, C. E. 1970. Form of potassium fertilizers and soil moisture content on potassium status of a Trinidad soil. *Soil Sci.* 109(2):121–126.
- Ahmad, N. and Jones, R. L. 1969. A plinthtaquilt of the Aripo savannas, North Trinidad: II. Mineralogy and genesis. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.* 33(5):765–768.
- Ahmad, N. and Jones, R. L. 1967. Forms of occurrence of inorganic P and its chemical availability in the limestone soils of Barbados. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.* 31:184–188.
- Ahmad, N. and Jones, R. L. 1969. Genesis, chemical properties and mineralogy of limestone-derived soils. Barbados, West Indies. *Tropical Agriculture* 46(1):1–15.
- Ahmad, N., Jones, R. L. and Beavers, A. H. 1966. Genesis, mineralogy and related properties of West Indian soils: II. Montserrat series, derived from glauconitic sandstone, Central Trinidad. *J. Soil Sci.* 19(1):1–8.
- Ahmad, N., Jones, R. L. and Beavers, A. H. 1968. Genesis, mineralogy, and related properties of West Indian soils: I. Montserrat series, derived from glauconitic sandstone, Central Trinidad. *J. Soil Sci.* 19(1):1–8.
- Ahmad, N., Jones, R. L., and Beavers, A. H. 1968. Genesis, mineralogy, and related properties of West Indian soils: II. Maracas series, formed from micaceous schist and phyllite, northern range, Trinidad. *J. Soil Sci.* 19(1):9–19.
- A.I.M.E. 1952. Symposium: Problems of clay and laterite genesis. Amer. Inst. Mining and Metallurgical Engineers. N. Y. 204–235.
- Alamos, P. O., Behrens-Le Bas, H., Acevedo, E. H. *et al.* 1967. Relaciones suelo-fósforo en suelos derivados de cenizas volcánicas. *Agr. Tec. (Chile)* 27(3):120–129.
- Alexander, L. T. and Cady, J. G. 1962. Genesis and hardening of laterite in soils. *USDA Techn. Bull.* 1282.
- Alexander, L. T., Cady, J. G., Whittig, L. D. *et al.* 1956. Mineralogical and chemical changes in the hardening of laterite. *Trans. 6th Intl. Congr. Soil Sci. (Paris)* E:67–72.
- Alexiades, C. A. and Jackson, M. L. 1965. Quantitative clay mineralogical analysis of soils and sediments. *Clays and Clay Minerals* 14:35–42.
- Alias, L. J. 1963. Algunos aspectos de la mineralogía de terra rossa. *Anal. Edafol. Agrobiol.* 22(7/8):277–291.
- Alimen, H. 1957. *The prehistory of Africa.* Hutchinson & Co. Ltd., London. 427 pp.
- Allen, V. 1957. Minerals in laterites in the state of Bolivar, Venezuela. *Geological Soc. Amer. Bull.* 68:1693.

- Alvarado, Alfredo H. 1972. Evaluación sobre clasificaciones de suelos en Costa Rica. Boletín Técnico Vol. 5, No. 4., Universidad de Costa Rica.
- Andriessse, J. P. 1969. A study of the environment and characteristics of tropical podzols in Sarawak (East Malaysia). *Geoderma* 2:201–227.
- Anonymous. 1965. Folha geológica de Adrianópolis. *Bol. Univ. Paraná Geol.* 16.
- Anonymous. 1965. Folha geológica de Riberão do Rocha. *Bol. Univ. Paraná Geol.* 15.
- Anonymous. 1965. Folha geológica do Varzeão. *Bol. Univ. Geol.* 14.
- Anonymous. 1967. Contribuição ao estudo dos solos de Altamira. (Região fisiografica do Xingu). *Circ. Inst. Pesqui. Exp. Agropec. Norte.* 10:8–47.
- Aomine, S. and Yoshinapa, N. 1955. Clay minerals of some well drained volcanic ash soils in Japan. *Soil Sci.* 79:349–358.
- Aubert, G. 1963. Soil with ferruginous or ferrallitic crusts of tropical regions. *Soil Sci.* 95:235–242.
- Aubert, G. 1967. Tropical soils. *Trans. 8th Int. Congr. Soil Sci.* 1964. 1:213–229.
- Aubert, G., and Segalen, P. 1966. Proposed scheme of classification for ferrallitic soils. *Orstom* 4(4):97–112.
- Aubert, G. and R. Tavernier. 1972. Soil survey, pp. 17–44. *Soils of the Humid Tropics.* U.S. Nat. Acad. Sci., Wash., D.C.
- Ayers, A. S. and Hagihara, H. H. 1953. Effects of the anion on the sorption of potassium by some humic and hydrol humic latosols. *Soil Sci.* 75:1–17.
- Baldwin, M., Kellogg, C. E. and Thorp. J. 1938. Soil classification. *Yearbook of Agriculture.* U.S. Dept. of Agric. 979–1001.
- Barreto, A. 1959. Summary of recent investigations on Brazilian soils. *Soil Sci.* 48(19):317–321.
- Beek, J. and L. Brama. 1968. *Nature and Geography of South America, Soils*, pp. 82–112. *Biography and Ecology in South America.* Vol. 1. W. Junk, N. V., Pub. The Hague, Netherlands.
- Benavides, R. A. 1967. Algunas características de suelos vertisoles de la Provincia de Entre Ríos, a través del estudio de sus perfiles. *INTA Cent. Reg. Entrerriano Estac. Exp. Agropecuar. Parana Ser. Tec.* 17.
- Benavides, S. T. 1973. Mineralogical and chemical characteristics of some soils of the Amazonia of Colombia. Ph.D. Thesis N. C. State Univ. Soil Sci. Dept. 216 p.
- Bennema, J. 1963. The red and yellow soils of the tropical and subtropical uplands. *Soil Sci.* 95(4):250–257.

- Bennema, J. 1966. Report to the Government of Brazil on the classification of Brazilian Soils. FAO. Rept. 2197, Rome, Italy. 83 p.
- Bennema, J. e Camargo M. 1964. Segundo esboço parcial de classificação de solos brasileiros. Ministério da Agricultura, Rio de Janeiro, Brazil.
- Bennet, H. H. and Allison, R. 1926. Soils of Cuba. Tropical Science Foundation.
- Besoain, E. M. 1964. Clay formation in some Chilean soils derived from volcanic materials. *New Zealand J. Sci.* 7(1):79–88.
- Besoain, E. M. 1969. Clay mineralogy of volcanic ash soils. Proc. of Panel on Volcanic Ash Soils in Latin America. Turrialba, 1964. B.1.1–B.1.16.
- Besoain, E., Serratos, J. M., e Hidalgo A. 1964. Espectros de absorción infrarroja de la fracción arcilla de suelos volcánicos de Chile. *Anal. Edafol. Agrobiol.* 23(5/6):293–303.
- Birrell, K. S. 1964. Some properties of volcanic ash soils. FAO. World Soil Resources Rept. 14:74–81.
- Birrell, K. S. and Fieldes, M. 1952. Allophane in volcanic ash soils. *J. Soil Sci.* 3:156–166.
- Blasco, M. L. 1968. Preliminary communication on the Amazon soils of Colombia. *An. Edafol. Agrobiol.* 27:47–55.
- Blasco, M. L. 1969. Chemical properties of volcanic ash soils. Proc. of Panel on Volcanic Ash Soils of Latin America. B.8.1.–B.8.9.
- Bonnet, J. A. 1939. The nature of laterization as revealed by chemical, physical, and mineralogical studies of a lateritic soil profile from Puerto Rico. *Soil Sci.* 48:25–40.
- Bonnet, J. A. 1950. Latosols of Puerto Rico. 4th Intl. Congr. Soil Sci. 1:281–285.
- Bornemisza, E. and Fassbender, H. W. 1970. Uptake of fertilizer phosphate from nine soils from the humid tropics. *Agrochimica* 14(2–3):259–268.
- Bornemisza, E. and Fuentes, R. 1968. Cation exchange capacity of Costa Rican soils and subsoils at different pH values in the presence of organic matter or after its destruction. *Agronomy Abstracts* 1968:80.
- Bornemisza, E. and Igue, K. 1967. Oxidos de hierro y aluminio libres en suelos tropicales. *Turrialba.* 17(1):23–30.
- Bornemisza, E., Laroche, F. A., and Fassbender, H. W. 1967. Effects of liming on some chemical characteristics of Costa Rican latosol. *Soil and Crop Sci. Soc. Fla. Proc.* 27:219–226.
- Bornemisza, E. and Morales, J. C. 1969. Soil chemical characteristics of recent volcanic ash. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.* 33:528–531.

- Bornemisza, E. and Pineda, R. 1969. The amorphous minerals and the mineralization of nitrogen in volcanic ash soils. Proc. of Panel on Volcanic Ash Soils in Latin Amer. Turrialba. B.7.1. – B.7.7.
- Botelho da Costa, J. V. and Cardoso Prañco, E. P. 1965. Note on the concepts of ferrallitic soils and oxisols. *Pedologie, Gan. Spec.* 3:181–184.
- Branner, J. C. 1919. Outlines of the geology of Brazil to accompany the geologic map of Brazil. *Geologic Soc. Amer. Bull.* 30:189–338.
- Brouwer, R. 1955. Radiation intensity and transpiration. *Netherlands Jour. Agr. Sci.* 4:43–47.
- Brown, C. B. 1959. Genesis of limestone profiles in the tropics. *Proc. Indiana Acad. Sci.* 69:286–289.
- Brown G. 1955. Report of the clay minerals group subcommittee on nomenclature of clay minerals. *Clay Mins. Bull.* 2:294–302.
- Buol, S. W., Hole, F. D., and McCracken, R. J. 1973. Soil genesis and classification. Iowa State Press, Ames. 360 p.
- Buringh, P. 1970. Introduction to the study of the soils in Tropical and Subtropical Regions. Center for Agric. Pub. and Dic., Wageningen. The Netherlands, 99 p.
- Cady, J. G. 1951. Rock weathering and soil formation in the North Carolina Piedmont Region. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.* 15:137–342.
- Calhoun, F. G., V. W. Carlisle and C. Lunc, 1972. Properties and genesis of selected Colombian Andosols. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.* 36:480–485.
- Camargo, F. C. 1960. Considerations about tropical land use, p. 58. Ecological indications of need for a new approach to tropical land use. Project 39, Tech. Corp. Program. Inter. Am. Inst. of Agr. Sci., Turrialba, Costa Rica.
- Cameron, R. E., Blank, G. B., and Gensel, D. R. 1966. Desert soil collection at the JPL (Jet Propulsion Lab.) soil science laboratory. Tech. Rep. Jet. Propul. Lab. Calif. Inst. Technol. 32–977:1–53.
- Cappannini, D. A., Beamonde, E. L., y Asensio, A. 1964. El perfil del suelo desarrollado sobre la arcilla Querandense de la terraza baja costera de la provincia de Buenos Aires. *Pub. Inst. Suelos Agrotec. Buenos Aires.* 85:1–15.
- Carr, R. M. and Fyre, W. S. 1958. Some observations on the crystallization of amorphous silica. *Amer. Miner.* 43:908–9116.
- Carter, G. F. and Pendleton, R. L. 1956. The humid soil—process and time. *Geog. Rev.* 46:488–507.
- Casado—Pérez, B. 1966. Fijación y fraccionamiento de fósforo en suelos derivados de cenizas volcánicas. *An. Fac. Quim. Farm Univ. Chile.* 18:314–320.

- Chen, T-T. and Huang, H. K. 1968. Measurement of base saturation degree of paddy latosols and its significance to rice growth. *Trans. 9th. Int. Congr. Soil Sci.* 4:95-102.
- Colmet-Daage, F. 1969. The nature of the clay fraction of some volcanic ash soils of the Antilles, Ecuador and Nicaragua. *Proc. of Panel on Volcanic Ash Soils in Latin America. FAO/OAS. Turrialba. B.2*
- Comerma, J. A. 1968. Pedogénesis de dos asociaciones de suelos en el N. -Centro de Venezuela. *Agron. Trop. (Venez.)* 18(1):3-56.
- Cook, M. A., Cutler, I. B., Hill, G. R. *et al.* 1953. A mechanism of cation and anion exchange capacity. *J. Phys. Chem.* 57:1-6.
- Corcoran, R. E. and Libby, F. W. 1956. Ferruginous bauxite deposits in the Salem Hills, Marion County, Oregon. *Oregon Dept. Geol. & Min. Inds. Bull.* 46.
- Cortes, A. and D. P. Frawzmeier. 1972. Climosequence of ash-derived soils in the Central Cordillera of Colombia. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.* 36:653-659.
- Cortés, A., León, G., y Hernández, R. 1966. Suelos derivados de rocas y cenizas volcánicas andesíticas de la zona oriental del Ictacchiuati. *Agrociencia.* 1(1):143-153.
- Costa de Lemos, R. 1968. The main tropical soils of Brazil. *World Soil Res. Reports* 32:95-106.
- Cummings, W. L. and Miller, B. L. 1911. Characteristics & origin of the brown iron-ores of Camagüey & Moa, Cuba. *A.I.M.E. Trans.* 42:116-137.
- Cuanalo, H. E. 1964. Suelos del campo experimental forestal "El Tormento", Campeche. *Bol. Tec. Inst. Nac. Invest. Forest. Mex.* 15:1-32.
- Daniels, R. B., Gamble, E. E., and Cady, J. G. 1970. Some relations among coastal plain soils and geomorphic surfaces in North Carolina. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.* 34:648-652.
- Davidtz, J. C. and Summer, M. E. 1965. Blocked charges on clay minerals in subtropical soils. *J. Soil Sci.* 16:270-274.
- De Leon, L., Yacobazzo-de Diza, M. 1967. Distribución del hierro libre en algunos suelos muy lixiviados del Uruguay. *Univ. Repub. Fac. Agron. (Montevideo) Bol.* 100:1-24.
- Deshpande, T. L., Greenland, D. J. and Quirk, J. P. 1968. Changes in soil properties associated with the removal of iron and aluminum oxides. *Soil Sci.* 19:108-122.
- D'Hoore, J. L. 1954. Clay mineral and gibbsite crystals as clues to the mode of formation of ancient sesquioxide accumulation zones. *Trans. V. Intl. Congr. Soil Sci.* 4:45-48.

- D'Hoore, J. 1956. Pedological comparisons between Tropical South America and Tropical Africa. *African Soils* 4:5–18.
- D'Hoore, J. L., Fripiat, J. J., and Gastuche, M. C. 1954. Tropical clays and their iron oxide coverings. *Proc. 2nd Inter-African Soils Conf.* 1:257–260.
- De Villiers, J. M. 1965. Present soil-forming factors and processes in tropical and subtropical regions. *Soil Sci.* 99:50–57.
- De Villiers, J. M. 1971. The problem of quantitative determination of allophane in soils. *Soil Sci.* 112:2–7.
- Diaz-Romeu, R., Balerdi, F., and Fassbender, H. W. 1970. Organic matter and nitrogen content of Central American soils. *Turrialba* 20(2):185–192.
- Drosdoff, M., F. Quevedo and C. Zamora. 1960. Soils of Peru. *Proc. 7th Inter Congress of Soil Sci. Madison* 4:97–104.
- Dudal, R. 1963. Dark clay soils of tropical and subtropical regions. *Soil Sci.* 95(4):264–270.
- Dudal, R. 1965. Dark clay soils of tropical and subtropical regions. *FAO Agricultural Development Paper* 83:161 pp.
- Dudal, R. 1968a. Definitions of soil units for the soil map of the world. *FAO World Soil Res. Report.* 33.
- Dudal, R. 1968b. Problems of international soil correlation. *FAO World Soil Res. Report* 32:137–143.
- Dudal, R. 1969. About the legend of the FAO/UNESCO soil map of the world. *Tech. work-planning Con. Nat. Coop. Soil Survey, Charleston, S.C.*
- Dudal, R. 1970. Key to soil units for the soil map of the world. *Soil Map of the World Project.* FAO.
- Du Preez, J. W. 1949. Laterite: A general description with a discussion of Nigerian occurrences. *Bull. Agri. Cong. Belg.* 40:53–66.
- Eidt, R. C. 1969. The climatology of South America, pp. 55–81. *Biography and Ecology in South America, Vol. 1.* W. Junk, N. V. Publishers, The Hague, Netherlands.
- Ellis, B. S. 1952. Genesis of a tropical red soil. *J. Soil Sci.* 3:52–62.
- Estrada, J. A. 1971. Mineralogical and chemical properties of Peruvian acid tropical soils. Unpublished Ph.D. thesis, Dept. of Soil Science, Univ. of Calif. Riverside, Univ. Microfilms, Inc. Ann Arbor, Mich.
- Falesi, I. C., Vieira, L. A., Santos, W. H. *et al.* 1967. Levantamento de reconhecimento de solos da região Bragantina, Estado do Pará, Brasil. *Pesq. Agrop. Bras.* 2:1–63.

- FAO, 1964. Report of the soil correlation study tour in Uruguay, Brazil and Argentina. 25. June–August.
- FAO. 1965. Meeting on soil correlation and soil resources appraisal in India. New Delhi, India 5–15 April.
- FAO. 1971 Soil map of the World. Volume IV. South America (UNESCO) Paris, 165 p.
- Fassbender, H. W. 1969. Phosphorus in Central American soils. IV Phosphorus fixation capacity and its relation to other soil characteristics. *Turrialba* 19(4):497–505.
- Fassbender, H. W., Vieira, L, and Stabile, M. E. 1970. Cation equilibria and potassium liberation in some soils of the Brazilian Amazonia. *Potash Rev.* 4:9.
- Frei, E. 1964. Eisencxydkonkretimen und schlievembildung in einigen tropenboden Ecuadors. *Soil Mic.* 291–294.
- Fujimoto, G., Sherman, G. D., and Change, A. E. 1949. The chemical composition of the separated mineral fractions of the ferruginous humic latosol profile. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.* 13:166–169.
- Gallo, J., Hiroce, R., Coelho Jr., A. S. *et al.* 1967. Levantamento do estado nutricional de cafezais no Estado de São Paulo através da análise foliar. I. Solos Massapé–Salmorão. *Bragantia* 26(7):103–117.
- Garrett, W. G. and Walker, G. F. 1959. The cation exchange capacity of hydrated halloysite and the formation of halloysite–salt complexes. *Clay Mins. Bull.* 4:75–80.
- Gavande, S. A. 1968. Water retention characteristics of some Costa Rican soils. *Turrialba* 18:34–38.
- Goedert, W. J. 1967. Estudo do solos argilosos do Rio Grande do Sul. *Pesq. Agrop. Bras.* 2:245–258.
- Goldrich, S. S. 1947. Aluminium lateritic soil of the Sierra de Bahoruco area Dominican Republic, No. 1. *Geological Soc. Amer. Bull.* 953–C.
- Goldrich, S. S. 1948. Aluminium lateritic soil of the Republic of Haiti, W. I. *Geological Soc. Amer. Bull.* 954–C.
- Grange, L. I. 1949. Soils of some Pacific Islands. *Comm. Bur. Soil Sc. Tech. Comm.* 46:45–48.
- Gravenor, C. P. and Govett, G. J. 1958. Weathering of silicate minerals. *Disc. AAPG. Bull.* 42:2523–2526.
- Greene, H. 1954. *Tropical Soils.* *J. Sci. Food Agric.* 5:65–69.
- Grim, R. E. 1953. *Clay mineralogy.* McGraw Hill Book Co., N. Y.

- Guerrero, R. 1963. Soils of Colombia and their relationship to the new classification system of the United States. Unpublished M.S. Thesis. Dept. of Agronomy, Cornell Univ. Ithaca, N. Y.
- Guerrero, R. 1971. Soils of the Colombian Llanos Orientales – composition and classification of selected properties. Ph.D. Thesis, Soil Sci. Dept. North Carolina State University.
- Harder, E. C. and Chamberlin, R. T. 1915. The geology of Central Minas Gerais, Brazil. *J. Geol.* 23:341–378, 385–424.
- Hardward, M. E. 1969. Mineralogy and trace–elements composition of ash and pumice in soils in the Pacific Northwest of the United States. Proc. of Panel on Volcanic Ash soils in Latin Amer. Turrialba B.5.1.–B.5.12.
- Hardy, F. 1936. Studies in West Indian soils. *Tropical Agr.* 13(10):268–273.
- Hardy, F. and Croucher, H. H. 1933. Studies in West Indian soils. Some soil types of Jamaica. *Imp. Coll. of Tropical Agr., Trinidad.*
- Hardy, F., Duthie, D. W., and Rodriguez, G. 1936. Studies in West Indian soils. X. The cacao and forest soils of Trinidad (B) South–Central District. *Imp. Coll. of Tropical Agri., Trinidad.*
- Hardy, F. and Follett–Smith, R. R. 1931. Studies in tropical soils II. Some characteristic igneous rock profiles in British Guiana, South America *J. Agri. Sci.* 21:739–761.
- Hardy, F., McDonald, J. A., and Rodriguez, G. 1932. Studies in West Indian soils. IV. The Cacao soils of Grenada. *Imp. Coll. of Trop. Agri., Trinidad.*
- Hardy, F., Smart, H. P., and Rodriguez, G. 1935. Studies in West Indian Soils. IX. Some soil types of British Honduras, Central America. *Imp. Coll. of Trop. Agric., Trinidad.*
- Hardy, F. Robinson, C. K., and Rodriguez, G. 1934. Studies in West Indian Soils. VIII. The agricultural soils of St. Vincent. *Imp. Coll. of Trop. Agri., Trinidad.*
- Han, F., Aso. P. J., and Fogliata, F. A. 1965. Estudio de salinidad en algunos suelos cultivados de caña de azúcar en el Departamento de Leales, Tucuman. *Rev. Agron. Noroest. Argent.* 4(2):165–180.
- Humbert, R. P. 1948. The genesis of laterite. *Soil Sci.* 65(4):281–290.
- Jenny, H., Bringham, F., and Padilla–Saravia, B. 1948. Nitrogen and organic matter contents of equatorial soils of Colombia, South America. *Soil Sci.* 66:173–186.
- Jessup, R. W. 1960. The lateritic soils of the southeastern portion of the Australian arid zone. *J. Soil Sci.* 2:106–113.

- Jones, L. H. P., Milne, A. A., and Attiwill, P. M. 1964. Dioctahedral vermiculite and chlorite in highly weathered red loams in Victoria, Australia. *Soil Sci. Soc. of Amer. Proc.* 28:108–113.
- Jungerius, P. D. and Levelt, T. W. M. 1964. Clay mineralogy of soils over sedimentary rocks in Eastern Nigeria. *Soil Sci.* 97(2):89–95.
- Kashpar, P. Y. 1965. Some data on the soils of Cuba. *Soviet Soil Sci.* 11:1277–1282.
- Kellogg, C. E. and F. D. Davol. 1949. An exploratory study of soil groups in the Belgian Congo. I.A.E.C. Serie Scientifique No. 46.
- Kitagawa, Y. 1971. The "Unit Particle" of Allophane. *Amer. Min.* 56:465–475.
- Kline, J. R. and Jordan, C. F. 1968. Tritium movement in soil of tropical rain forest. *Science* 160(3827):550–551.
- Klinge, H. 1965. Podzol soils in the Amazon basin. *J. of Soil Sci.* 16:95–103.
- Knox, E. G. and Maldonado, F. 1969. Soils from volcanic ash. Excursion from Turrialba to Volcan Irazu. Proc. of Panel on Volcanic Ash Soils in Latin America. Turrialba, A.8.1–A.8.12.
- Kobo, K. 1964. Properties of volcanic ash soils. *FAO World Soil Resources Rept.* 14:71–73.
- Leith, H., Blume, H. P., Zinnecker, E. *et al.* 1970. Ecological investigations in the Mato Grosso. Editorial PAX Bogotá, Colombia.
- Lemos, R. C. *et al.* 1960. Levantamento de reconhecimento dos solos do Estado de São Paulo. *Serv. Nac. Pesq. Agron. M.A., C.N.E.P.A.* Rio de Janeiro, Brasil, pp. 634.
- Lemos, R. C. de, Azolin, M.A.D., Abrão, P.U.R. *et al.* 1967. Levantamento de reconhecimento dos solos do Rio Grande do Sul, parte I—Planalto Riograndense. *Pesq. Agrop. Bras.* 2:71–209.
- Leon, L. 1963. Clay formation in some Chilean soils under natural forest vegetation and under pasture. *Transactions Inter. Soc. Soil Sci., Commissions IV and V.* 39–44.
- Lepsch, I. F. 1973. Genesis, morphology and classification of soils in an Oxisol–Ultisol toposequence in S. Paulo State, Brazil. M.S. thesis, Dept. of Soil Science. North Carolina State Univ. at Raleigh.
- Le Roux, J. and de Villiers, J. M. 1966. Cation exchange capacity and degree of saturation with metal cations of highly weathered soils. *S. Afr. J. Agric. Sci.* 9:31–42.
- Lugo, M., Colom, J. and Pietri, R. 1970. Origin of native potassium in Alonso soil. *J. Agr. Univ. Puerto Rico* 54(1):70–75.

- Luzio, W. L. 1967. Analisis mineralógico de cinco suelos derivados de cenizas volcánicas. *Agr. Tec. (Chile)* 27(3):105–109.
- Lyford, W. H. 1969. The ecology of an elfin forest in Puerto Rico: 7. Soil, wood, and earthworm relationships. *J. Arnold Arboretum Harvard Univ.* 50(2):210–224.
- Makin, J., Schilstrz, J., and Theisen, A. A. 1969. The nature and genesis of certain aridisols in Kenya. *J. Soil Sci.* 20:111–125.
- Maldonado, H. W. and Martinez, M. C. 1965. Perennial artificial prairies in the humid zone of the Chaco province, Argentina. *An. Soc. Rural Argent.* 99(12):19–25.
- Marbut, C. F. and C. B. Manifold. 1925. The topography of the Amazon Valley. *Geogr. Rev.* 15:617–643.
- Marbut, C. F. and C. B. Manifold. 1926. The soils of the Amazon basin in relation to agricultural possibilities. *Geogr. Rev.* 16:414–442.
- Martini, J. A. 1967. Principales grupos de suelos de América Central y México. *Fitotecnia Latinoamericana* 4(1):57–79.
- Martini, J. A. 1969. Algunas consideraciones sobre los suelos de América Central con referencia especial al desarrollo del trópico húmedo. *Fitotecnia Latinoamericana* 6(1):127–148.
- Martini, J. A. 1969. Caracterización del estado nutricional de los principales "Latosoles" de Costa Rica, mediante la técnica del elemento faltante en el invernadero. *Turrialba* 19(3):394–408.
- Martini, J. A. 1969. Geographic distribution and properties of ash derived soils in Central America. *Proc. of Panel on Volcanic Ash Soils in Latin America.* A.5.1–A.5.17.
- Martini, J. A. 1969. Mineralogía de las arcillas, limos y arenas en seis suelos de Panamá. *Turrialba* 19(2):199–207.
- Martini, J. A. 1970. Allocation of cation exchange capacity to soil fractions in seven surface soils from Panama and the application of a cation exchange factor as a weathering index. *Soil Sci.* 109:324–331.
- Martini, J. A. 1970. Characterization of the nutritional status of the major andosols of Costa Rica, using the missing element technique in the greenhouse. *Turrialba* 20(1):72–84.
- Martini, J. A., Priero Nel Lezcana, R. A. C., and Brown, J. W. 1960. Forest soils of Darien Province, Panama. *Trop. Woods* 112:28–39.
- Mazza, C. A. 1967. Estudio de una secuencia de suelos isohúmicos, con costra calcárea, del sur de la provincia de Buenos Aires. *Rev. Fac. Agron. Univ. Nac. La Plata.* 43(2):215–239.

- McConaghy, S. 1969. Geographic distribution and characteristics of volcanic ash soils in the Antilles. Proc. of the Panel on Volcanic Ash Soils in Latin America. Turrialba. A. 1.1--A.4.13.
- McDonald, J. A., Hardy, F., and Rodríguez, G. 1933. Studies of West Indian soils. VII. The cacao soils of Trinidad. Imp. College of Tropical Agric., Trinidad.
- McNeil, M. 1964. Lateritic soils. *Sci. American*. 211(5):86-102.
- Medina, H. P. & Grohmann, F. 1966. Disponibilidade de agua em alguns solos do cerrado. *Bragantia* 25(6):65-76.
- Melfi, A. J. & Bittencourt, I. 1962. Geologia e pedologia da bacia glacial no distrito de Sousas, Campinas, *Bragantia* 21(2):807-826.
- Middleton, K. R. 1965. Determination of aluminum and iron, and the relation of aluminum to clay in certain tropical soils. *Soil Sci.* 100:361-367.
- Ministério da Agricultura, Brasil. 1966. Levantamento semidetalhado dos solos de áreas do Ministério da Agricultura no Distrito Federal. *Boletim Tec.* 8. Pro-Ag. 512-15-120-249.
- Ministério da Agricultura, Brazil. 1966. Divisão de Pedologia e Fertilidade do Solo. Mapa Esquemático de Solos. Região Norte, Meio Norte e Centro Oeste do Brasil. Rio de Janeiro, Convenio M. A. USAID/Brasil. Scale 1:5,000,000.
- Ministério da Agricultura, Brasil. 1970. Levantamento de reconhecimento dos solos da zona de Iguatemi, Mato Grosso, *Boletim Tec.* 10. Pro-Ag. 512-15-120-249.
- Mohr, E. C. J. and F. H. von Baren. 1954. *Tropical Soils. A critical study of soil genesis as related to climate, rock and vegetation.* Interscience, N. Y.
- Montrakun, S. 1964. *Agriculture and soils of Thailand: Compilation of soil reports and laboratory analysis of the soils in Thailand.* Tech. Div. Dept. of Rice, Min. of Agri. 903.
- Monasterio, M. y Sarmiento, G. 1968. Análisis ecológico y fitosociológico de la sabana en la Estación Biológica de los Llanos. *Bol. Soc. Venez. Cienc. Natur.* 27(113/114):477-524.
- Moura Filho, W. 1968. Characterization of the physical, chemical, and micromorphological changes engendered by the cultivation of a soil in the Triangulo of Minas Gerais, Brazil. M.S., Thesis, Soil Sci. Dept. North Carolina State University.
- Moura Filho, W. 1970. Studies of a latosol roxo (Eustrtox) in Brazil: clay mineralogy, micromorphology effect of ion release, and phosphate reactions. Ph.D. Thesis. Dept. of Soil Sci., North Carolina State University.
- Moura Filho, W. and S. W. Buol. 1972. Studies of a Latosol Roxo (Eustrtox) in Brazil: Description setting and characterization. *Experientiae* 13(7):201-217.

- Moura Filho, W. and S. W. Buol. 1972. Studies of a Latosol Roxo (Eustrustox) in Brazil: Clay Mineralogy. *Experientiae* 13(7):218–234.
- Moura Filho, W., S. W. Buol and E. J. Kamprath. 1972. Studies of a Latosol Roxo (Eustrustox) in Brazil. Phosphate Reactions. *Experientiae* 13(7):235–247.
- Muller, L., Balerdi, F., Diaz-Romeu R. *et al.* 1968. A study of phosphorus in soils of Central America. I. Composition, physical and chemical characteristics of the soils. *Turrialba* 18:319–322.
- Nye, P. H. 1954. Some soil forming processes in the humid tropics. *J. Soil Sci.* 5(1):7–21.
- Nye, P. H. 1955. Some soil-forming processes in the humid tropics. II. The development of the upper slope member of the catena. *J. Soil Sci.* 6:51–62.
- Oertel, A. C. 1961. Pedogenesis of some red brown earths based on trace element profiles. *J. Soil Sci.* 12:242–258.
- Oertel, A. C. and Giles, J. B. 1967. Development of a red-brown earth profile. *Aust. J. Soil Res.* 5:133–147.
- Okrajek, A. 1967. Sediment-petrographic investigation on varve clay near Itu in the state of São Paulo, Brazil. *Bol. Univ. Paraná Geol.* 11:1–21.
- Oliveira, L. B. de. 1966. Análise mecânica de alguns solos da região semiárida do nordeste brasileiro: solos normais, calcáreos, calcáreos com sais solúveis e salinos. *Pesq. Agrop. Brasil*: 1:7–15.
- ONERN 1967. Estudio de los suelos de la zona de Yurimaguas. (Reconocimiento sistemático). Oficina Nacional de Evaluación de Recursos Naturales, Lima, Perú, 45 pp.
- Ortiz, D. and Carrasquero, A. 1968. Investigation of possible selenium-containing soils in Venezuela. *Agro. Trop. (Maracay)* 18(3):369–377.
- Papadakis, J. 1961. Climatic tables for the world. Buenos Aires. pp. 175.
- Papadakis, J. 1963. Soils of Argentina. *Soil Sci.* 95(5):356–366.
- Paulsen, E. F., Reichart, M. A. L. and Pecora, E. *et al.* 1946. Soils of the cotton plant zones of the national territory of Chaco. *Algodón, B. Aires*, pp. 99–123, 131–132.
- Peele, T. C. and Beale, O. W. 1940. Influence of microbial activity upon aggregation and erodibility of lateritic soils. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.* 5:33–35.
- Pérez-Escobar, R. and Lugo-Lopez, M. A. 1968. Influence of degree of clay mineral crystallization and free iron oxide content on the cation exchange capacity of Catalina and Cialitos soils. *J. Agric. Univ. Puerto Rico.* 52(2):148–154.

- Perez-Escolar, R. and Lugo-Lopez, M. A. 1968. Nature of aggregation of two tropical soils of Puerto Rico. *J. Agric. Univ. Puerto Rico* 52(3):227-232.
- Pérez-Escolar, R. and Lugo-Lopez, M. A. 1968. On the possible significance of high free iron oxide content in Mabi clay, a vertisol from east central Puerto Rico. *J. Agr. Univ. Puerto Rico* 52(1):47-52.
- Pineiro, A. 1959. Estudio de suelos de la estación biológica de Ingeniero Juez (Formosa). *Rev. Agron. Noroeste Argent.* 3(1/2):259-285.
- Pineiro, A. and Zuccardi, R. B. 1959. Evolución de los suelos en la Clausura de Garza (Provincia de Santiago del Estero). *Rev. Agron. Noroeste Argent.* 3(1/2):287-288.
- Plá-Sentis, I. 1968. Estudio de métodos colorimétricos para determinar la capacidad total de intercambio de cationes en suelos tropicales. *Rev. Fac. Agron. Univ. Cent. Venez.* 4(3):5-17.
- Plá-Sentis, I. 1968. Metodos rápidos para CIC. *Rev. Fac. Agron. Univ. Cent. Venez.* 4(3):18-28.
- Poggie, J. J., Jr. 1963. Coastal pioneer plants and habitat in the Tampico region, Mexico. *Louisiana St. Univ. Stud.* 6:1-62.
- Pratt, P. F. and Alvahydo, R. 1968. Características da permuta de cations de alguns solos do Estado de São Paulo. *Pesquis. Agropec. Bras.* 1:401-406.
- Pratt, P. F., Peterson, F. F., and Holzhey, C. S. 1969. Qualitative mineralogy and chemical properties of a few soils from São Paulo (Brazil). *Turrialba* 19(4):491-496.
- Ranzani, G. 1963. Solos do cerrado. In: *Anais do I simpósio sôbre o cerrado*. U.S.P., São Paulo, Brasil pp. 51-92.
- Rios, V., Martini, J. A. y Tejeira, R. 1968. Efecto del encalado sobre la acidez y el contenido de aluminio y hierro extraible en nueve suelos de Panamá. *Turrialba* 18(2):139-146.
- Rodriguez, A. G., Camazano, M., y Martin, M. T. 1963. Estudio de tres perfiles típicos de la armuna (Salamanca). *Anal. Edafol. Agrobiol.* 22(7/8):293-305.
- Roeder, M. y Bornemisza, E. 1968. Algunas propiedades de suelos de la región amazónica del Estado de Maranhão, Brasil. *Turrialba* 18(1):39-44.
- Roldan, J. 1959. Fertility status of organic soils in Puerto Rico. *J. Agric. Univ. Puerto Rico* 43(4):255-267.
- Ross, C. S. and Kerr, P. F. 1934. Halloysite and allophane. *U. S. Geol. Surv. Prof. Pap.* 185G, 135-148.
- Sanchez, P. A. y Buol, S. W. 1971. Características morfológicas químicas y mineralógicas de algunos suelos principales de la Selva Amazónica Peruana. Programa Nacional de Arroz (Perú) Informe Tec. 56.

- Scalscha, E. B., González, C., Vergara I. *et al.* 1965. Effect of drying on volcanic ash soils in Chile. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.* 29(4):481–482.
- Schagel, R. 1969. Characteristics and genesis of a chronosequence of soils in the western plains of Venezuela. Thesis. Soil Sci. Dept. North Carolina State University.
- Scott, R. M. 1962. Exchangeable bases of mature, well drained soils in relation to rainfall in East Africa. *J. Soil Sci.* 13:1–9.
- Seecy, F. T., Grange, L. I., and Davis, L. H. 1938. The laterites of western Samoa. *Soil Sci.* 46(1):23–31.
- Sharma, M. L. and Uehara, G. 1968. Influence of soil structure on water relations in low humic latosols: I. Water retention. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.* 32:765–770.
- Sherman, G. D. and Alexander, L. T. 1959. Characteristics and genesis of low humic latosols. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.* 23:168–170.
- Simonett, D. S. and Bauleke, M. P. 1963. Mineralogy of soils on Basalt in North Queensland. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.* 27:205–212.
- Sioli, H. 1968. Hydrochemistry and geology in the Brazilian Amazon Region. *Amazoniana* 1(3):267–277.
- Sivarajasingham, S., Alexander, L. T., and Cady, J. G. *et al.* 1962. Laterite. *Adv. Agron.* 14:1–60.
- Slager, S. and Schulz, J. P. 1969. A study on the suitability of some soils in northern Surinam for *Pinus caribaea* var. *Hondurensis*. *Neth. J. Agr. Sci.* 17(2):92–98.
- Smith, G. D. 1965. Lectures on soil classification. *Pedologie*, Belgian Soil Sci. Soc. Special Issue 4.
- Soares de Carvalho, G. 1967. The genesis of "laterites" from the geological point of view. *Proc. 4th Reg. Conf. Afr. Soil Mech. Found. Engng.*, 61–64.
- Soil Survey Investigation Rept. 1966. Soil Survey lab. data and descriptions for some soils of Iowa. U.S. Dept. Agric., Soil Conservation Service. 3.
- Soil Survey Investigation Rept. 1967. Soil survey laboratory data and descriptions for some soils of Georgia, N. C., and S. C. U.S. Dept. Agric., Soil Conservation Service 16.
- Soil Survey Staff. 1960, 1964, 1967, 1970. Soil classification, a comprehensive system—7th approximation. U. S. Dept. of Agric.
- Soil Survey Staff. 1967. Lincoln soil survey laboratory report for soils sampled in the Virgin Islands — 1964. U. S. Dept. Agric., Lincoln, Nebraska.

- Soil Survey Staff. 1967. Soil survey laboratory data and description for some soils of Puerto Rico and the Virgin Islands. Soil Survey Invest. Rept. 12.
- Sombroek, W. G. 1966. Amazon soils. A reconnaissance of the soils of the Brazilian Amazon region. Agric. Res. Rep. Wageningen 672:292.
- Southern Regional Project S-14. 1959. Certain properties of selected southeastern United States soils and mineralogical procedures for their study. Southern Cooperative Series Bulletin 61.
- Stehle, H. 1965. Des condition ecologiques et l'interet fourrager des patures a *Digitaria decumbens* Stent Var. *pangola* aux Antilles Francaises. *Qualitas Plant Mater Vegetabiles* 12(1):82-95.
- Stephens, C. G. 1961. Laterite at the type, locality, Angadipuram, Kerala, India. *J. Soil Sci.* 12:214-217.
- Swindale, L. 1969. Properties of volcanic ash soils. Proc. of Panel on Volcanic Ash Soils in Latin America. B.10.1-B.10.9.
- Swindale, L. D. and Sherman, G. D. 1964. Hawaiian soils from volcanic ash. *FAO World Soil Resources Report* 14:36-49.
- Sys, C. 1967. The concept of ferrallitic and fersiallitic soils in Central Africa. Their classification and their correlation with the 7th approximation. *Fedologie, Gand* 17:284-325.
- Sys, C. 1968. Suggestions for the classification of tropical soils with lateritic materials in the American classification. *Pedologie, Gand* 18:189-198.
- Tan, K. H., Perkins, H. F., and McCreery, R. A. 1970. Characteristics, classification and genesis of some tropical spodosols. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.* 34(5):775-779.
- Tan, K. H. and Schuylenborgh, Van. 1961. On the organic matter in tropical soils. *Neth. J. Agric. Sci.* 9:174-180.
- Thorp, J. and Baldwin, M. 1940. Laterite in relation to soils of the tropics. *Ann. of Assoc. of Am. Geographers* 30:168-194.
- Thorp, J. and Smith, C. D. 1949. Higher categories of soil classification: Order, suborder, and great soil groups. *Soil Sci.* 67:117-126.
- Townsend, F. C. and L. W. Reed. 1971. Effects of amorphous constituents on some mineralogical and chemical properties of a Panamanian latosol. *Clay and Clay Min.* 19:303-310.
- Troeh, F. R. 1969. Noteworthy features of Uruguayan soils. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.* 33(1):125-131.

- Turton, A. G. Marsh, N. L. and McKenzie, R. M. 1961. Morphological, chemical, physical, clay mineralogy and minor element data on laterite profiles from Southwestern Australia. CSIRO Div. Soils, Div. Rep. 8(61):56.
- Uno, Y, and Fukushi, S. 1967. Properties of some soils in Burma and Laos. *Soil Sci. Plant Nutr.* 13:17–24.
- Vageler, P. 1930. *Grundriss der tropischen und subtropischen Bodenkundi.* Berlin.
- Van Der Merwe, D. H. 1967. The composition and physical properties of the clay soils on the mafic rocks of the Bushveld igneous complex. *Proc. 4th Reg. Conf. Africa, Soil Mech. Found. Engng.* pp. 141–146.
- Vargas, E. 1964. El Al de cambio en suelos de los Llanos orientales. Tesis. Instituto Geográfico "Agustín Codazzi", Colombia.
- Vega, L. 1968. La estructura y composición de los bosques húmedos tropicales del Carare, Colombia. *Turrialba* 18(4):416–436.
- Verster, E. and De Villiers, J. M. 1968. Criteria for the recognition of oxisols – a preliminary examination. *S. Afr. J. Agric. Sci.* 11:1–8.
- Vicente, J. G. and Besoain, E. 1961. Mineralogía de arcillas de algunos suelos volcánicos de Chile. *An. Edafol. y Agrobiología* 20(9/10):497–550.
- Vieira, L. S., Dos Santos, W. H. P., and Falesi, I. C. *et al.* 1967. Levantamento de reconhecimento dos solos da Região Bragantina, Estado do Pará. *Bol. Tec. Inst. Pesq. Exp. Agrop. Norte (Belém)* 2(47):1–63.
- Watson, J. P. 1964. A soil catena on granite in southern Rhodesia. I. Field observations. *J. Soil Sci.* 15:238–250.
- Watson, J. P. 1964. A soil catena on granite in southern Rhodesia. II. Analytical data. *J. Soil Sci.* 15:251–257.
- Westin, F. C., Avilan, J. and Bustamante, A. *et al.* 1968. Characteristics of some Venezuelan soils. *Soil Sci.* 105:92–102.
- Westin, F. C. and De Brito, J. G. 1969. Phosphorus fractions of some Venezuelan soils as related to their stage of weathering. *Soil Sci.* 107:194–202.
- Wambeke, A. R. Van. 1962. Criteria for classifying tropical soils by age. *J. Soil Sci.* 13:124–132.
- Wambeke, A. R. Van. 1967. Recent developments in the classification of the soils of the tropics. *Soil Sci.* 104(5):309–313.
- Yakushev, V. M. 1968. Influence of termite activity on the development of laterite soil. *Soviet Soil Sci.* 1:109–111.
- Zambrano, B. 1965. Capacidad de cambio de algunos suelos de Chile. *Universidad de Chile, Boletín Técnico* 21.

- Zamora, C. 1967. Mapa de suelos del Perú. Tercera Aproximación. Oficina Nacional de Evaluación de Recursos Naturales, Lima, Perú.
- Zamora, C. 1969. Actual and potencial use of volcanic ash soils in Peru. Proc. of Panel on Volcanic Ash Soils of Latin America FAO/OAS. C. 5.1–C.5.10.
- Zavaleta, A. 1969. Geographic distribution and characteristics of volcanic ash soils in Peru. Proc. of Panel on Volcanic Ash Soils in Latin America. FAO/OAS A.2.1–A.2.14.
- Zonn, S. V. 1959. Some principles characterizing development and vertical–zonal distribution of soils in tropical and subtropical regions of southwestern China. Soviet Soil.Sci. 9:1017.
- Zonn, S. V. 1967. Genetic characteristic of cinnamon–brown red, red and hydromorphic compact black soils of India. Soviet Soil Sci. 2:156–169.
- Zonn, S. V. 1968. Laterites and lateritic formations in Cuba. Izv. Akad. Nauk SSSR, Ser. Geogr. 2:5–11.

## CAPITULO 2

### PROPIEDADES FISICAS DEL SUELO

*J. F. Lutz*

Profesor de Suelos, Universidad Estatal de Carolina del Norte

Algunas propiedades físicas del suelo son específicas; otras están tan interrelacionadas con los aspectos químicos, mineralógicos y de fertilidad, que no pueden ser considerados como independientes en cuanto al crecimiento de las plantas. De igual modo, los principios fundamentales no conocen límites políticos. Por ejemplo, las fuerzas y principios físicos involucrados en el movimiento de agua y la evapotranspiración son los mismos en América Central y del Sur como en los Estados Unidos. La magnitud de los valores puede variar de un lugar a otro, pero los principios fundamentales siguen siendo los mismos. La variación en magnitud puede ser debido a diferencias en clima, material originario, topografía, drenaje, etc., y es importante documentar, en el presente estudio, datos obtenidos bajo condiciones específicas. Como dijo Liebig: "Los hechos son como granos de arena movidos por el viento; pero los principios son los mismos granos cementados en rocas".

En su mayor parte, este estudio va a cubrir el trabajo realizado en América Central y del Sur, pero con referencias a trabajos realizados en otras áreas, especialmente con respecto a los principios básicos.

El estudio cubrirá cuatro áreas generales, es decir: 1) clima; 2) agua; 3) otras propiedades físicas; y 4) conservación de suelo y agua. En cuanto sea posible, cada una de éstas se relacionará a las demás y a otras propiedades del suelo.

La cantidad de agua presente en un suelo durante una época o en un lugar en particular, es una función de la cantidad aplicada, menos las pérdidas. La cantidad aplicada puede ser por precipitación o por irrigación. Las pérdidas pueden ser causadas por escurrimiento de la superficie o subsuelo, por drenaje a capas más profundas, o por evapotranspiración. La precipitación varía tremendamente en la América Tropical. En ciertas secciones de Colombia, Venezuela,

Ecuador y Perú, la precipitación anual es menor de 10 pulgadas por año. En otras secciones, particularmente en la Cuenca Superior del Amazonas, y en las nacientes del Amozanos, es de más de 200 pulgadas por año. En algunas secciones los suelos son demasiado secos para la agricultura sin irrigación, y en otras, demasiado húmedos durante una gran parte del año, particularmente para el uso de equipo pesado de agricultura. En las zonas donde existen datos climáticos, la evapotranspiración potencial puede ser calculada con fórmulas de Penman, Thornthwaite o Van Bavel. Schoch y Dancette introdujeron un coeficiente "alpha" a la fórmula modificada de Piche para calcular la evapotranspiración potencial al nivel del cultivo. El valor de alpha varía considerablemente con la aridez de un área. Sin embargo, se encontró una buena correlación entre alpha y aridez. El valor alpha también variaba con el tipo de cobertura de sombra en ciertas áreas. Para calcular la evapotranspiración en áreas húmedas, las relaciones estadísticas desarrolladas por Mustonen y McGuinness pueden ser usadas. Otra información pertinente en la medida de evapotranspiración en las regiones tropicales es dada por Eldin y Daudet y por Oliver.

La falta de agua disponible en el suelo puede limitar el crecimiento de la planta aún en áreas de alta precipitación anual. Esto puede ser debido a la mala distribución de la precipitación durante el año, a una baja infiltración, o a una infiltración profunda en los suelos que tienen una capacidad baja de retención de agua.

Muchos investigadores en los Estados Unidos y en otros lugares han demostrado que la tasa de infiltración usualmente decae a medida que aumenta la duración de las lluvias. Lugo-Lopez y otros presentan datos de 740 pruebas de infiltración en el campo en Puerto Rico que mostraron una tasa descendiente de infiltración después de la hora inicial. Encontraron correlaciones altamente significativas entre la tasa de infiltración de la octava hora y las tasas anteriores a intervalos de una hora. Debido a la correlación lineal altamente significativa entre las tasas de la tercera y octava hora, sugieren el uso de las tasas de la tercera hora para predecir la infiltración bajo precipitación prolongada. Otra discusión sobre la evapotranspiración en los trópicos húmedos fue dada por Williams y Joseph. De hecho, dieron una discusión bastante comprensiva de relación suelo-agua-planta en condiciones tropicales húmedas. Remarcaron que ciertos cultivos tropicales son afectados adversamente cuando las tensiones de humedad del suelo suben a poco más de la capacidad de campo. Cultivos altamente afectados por condiciones de sequía a tensiones de humedad baja o intermedia son: cacao, café, té, bananos, caña de azúcar, piña, coco, palma aceitera y

caucho. No se ofreció explicación alguna por la supersensitividad de estos cultivos. Es obvio que las hojas transpiraban agua más rápidamente de lo que podía ser absorbida por las raíces. Esto puede ser debido a la pequeña área de superficie radicular, a una conductividad hidráulica baja en la zona radicular, a una transpiración excesiva bajo condiciones climáticas existentes en tiempos de sequía, o a una combinación de todos estos factores. Williams y Joseph presentaron datos que mostraron que añadiendo nitrógeno rápidamente disponible aumentaba la eficiencia del agua tremendamente, aun en los trópicos húmedos. Este efecto del nitrógeno en la eficiencia del uso de agua ha sido demostrado muchas veces en las regiones templadas.

Otros trabajos han mostrado gran variación en el punto de marchitez de varios cultivos. Sykes determinó la tensión del agua en el suelo en el punto de marchitez de cinco especies que se cultivaron en suelos de conductividad hidráulica baja y alta. Encontró que el punto de marchitez varía de 7 atmósferas para *Helianthus annuus* a 39 atmósferas para *Agropyron intermedium*. Habían diferencias altamente significativas entre los suelos, especies y condiciones ambientales. Sykes concluye que el factor principal que determina el punto de marchitez es la tasa de movimiento del agua en el suelo.

Otros investigadores han estudiado las relaciones de tensión de humedad—planta. Gavande realizó curvas de tensión de humedad en seis suelos de Costa Rica y encontró que la textura, materia orgánica y compactación fueron los principales factores que afectan la forma de las curvas. Los suelos de ceniza volcánica tenían un alto contenido de materia orgánica, alto contenido de arcilla, alta porosidad total y alta capacidad de retención de agua. Esta información es de gran valor en la planificación de sistemas de manejo de suelos y especialmente con propósitos de irrigación. Fernandes y Sykes realizaron extensos estudios de la tensión suelo—agua y el movimiento del agua en suelos de tres regiones de Minas Gerais en el Brasil. González y Gavande realizaron medidas físicas en un gran número de suelos usados para la producción de caña de azúcar en Costa Rica. Las propiedades estudiadas fueron profundidad, textura, densidad de volumen, densidad de partículas, porosidad total y capacidad de captación de agua. Declararon que estos datos eran de gran valor al seleccionar nuevas áreas para la producción de caña de azúcar. Cornejo preparó una revisión bibliográfica de las principales relaciones agua—suelo relativas a la producción de algodón en la costa del Perú. Incluye información sobre principios de irrigación, requisitos de agua, sistemas de irrigación diseñados para un eficiente uso del agua y problemas de salinidad. Forsythe y Diaz—Romeu realizaron

determinaciones de densidad de volumen en un gran número de suelos y de éstos prepararon una serie de factores de conversión para expresar los análisis químicos de laboratorio a equivalentes de campo, tales, como por ejemplo, kilogramos por hectárea.

Burgas usó datos de precipitación y temperatura de 167 localidades en Venezuela para preparar mapas del balance de agua de acuerdo al método de Thornthwaite. Presentó mapas que muestran la precipitación anual, potencial de evapotranspiración, áreas con excedente de agua, y áreas con déficit de agua.

Garay seleccionó cuatro condiciones topográficas diferentes y, por lo tanto, se presume, cuatro condiciones diferentes de drenaje y aereación, a fin de estudiar el dióxido de carbono y oxígeno en suelos usados para la producción de café. A pesar de la diferencia de ubicación topográfica, no encontró diferencias a través de toda la profundidad del perfil en porosidad total, en infiltración y tasa de percolación, o en la composición del aire del suelo. Sí encontró diferencias en el volumen total del aire. Gavande estudió la relación entre tensión de humedad del suelo, porosidad de aereación y la difusión de oxígeno en seis suelos usados para la producción de café en Costa Rica. Encontró una relación lineal entre la tasa de porosidad de aereación y tasa de difusión de oxígeno. En una gran diversidad de condiciones de humedad del suelo, la tasa de difusión de oxígeno parecía ser una medida sensitiva de la aereación del suelo. Recomendó el método como una manera de caracterizar el estatus de aereación de los suelos cuando drenados.

Plá subrayó la importancia de un conocimiento de las características físicas e hidrológicas del suelo, especialmente curvas de tensión de humedad del suelo, en la agricultura irrigada.

En las áreas secas de América del Sur, especialmente Venezuela, Colombia y la costa del Perú, se necesita irrigación para la producción de cultivos. Uno de los principales problemas es la salinidad del agua usada en la irrigación. Zavaleta puntualizó que la salinidad de las tierras cultivadas en la costa del Perú ha aumentado paulatinamente hasta el punto en que grandes áreas no pueden ser cultivadas cada año. Un estudio de la ocurrencia y naturaleza de los suelos salinos y alcalinos en el área mostraron que casi todas los suelos irrigados de los valles de los ríos son salino–alcalinos y que de las tierras no irrigadas del desierto, sólo el 8 por ciento no está afectado por sales, la mayoría siendo salino–alcalinos. Esta información sobre la salinidad del suelo, y del agua disponible para irrigación, es de gran importancia en el desarrollo

de grandes proyectos de irrigación similares al que se está llevando a cabo cerca de Sullana en el norte del Perú, el proyecto Chimbote a lo largo del río Santa, y el proyecto Majes—Sigüas en la parte sur del Perú. Según indicaron Israelson y Hansen, un conocimiento de las propiedades características de la tierra a irrigarse es esencial para derivar el máximo de beneficios de la irrigación. Sin un conocimiento de ciertas propiedades físicas del suelo, es imposible utilizar el agua de manera eficiente. Además de la caracterización física de los suelos individuales, debe comprenderse los principios fundamentales básicos del movimiento de aguas en los suelos.

Otro aspecto importante del agua es su conservación. El escurrimiento y la erosión del suelo que lo acompaña, son problemas de gran envergadura en todas las regiones húmedas. Así como también la erosión por el viento es un problema en las regiones áridas. De acuerdo con Foglino, grandes áreas de tierras agrícolas de la sierra ecuatoriana han sido destruidas o seriamente afectadas por erosión. En algunos casos las reliquias de las antiguas terrazas de los Incas aún ofrecen cierta protección, pero en otros aumentan el daño al canalizar, y por lo tanto acumular, el agua en ciertos lugares, que luego se desata en grandes masas produciendo grandes cárcavas. Esta misma situación existe a lo largo de los Andes. Se ha realizado muy poca investigación básica sobre el escurrimiento y erosión en América Central y del Sur. Bertoni y Pastana estudiaron la relación entre precipitación y pérdidas por erosión en varios tipos de suelos en cuatro localidades del Estado de São Paulo, Brasil. Los suelos fueron cultivados continuamente con algodón. Encontraron que tanto el escurrimiento como la erosión aumentaban de acuerdo con la precipitación total por aguaceros y con la máxima intensidad de precipitación, pero las relaciones no fueron estadísticamente significativas con respecto a las características de la precipitación, declive de la tierra o tipos de suelos. Se están realizando programas de conservación de suelos y agua en Jamaica (McMorris), en Guatemala (Marcos, 1969) y en las Indias Occidentales (Twyford y de Freitas, 1963).

El trabajo de Pinto\* en Venezuela sobre la serie de suelos de Maracay ha mostrado que el fósforo aumenta el grado de agregación, y la capacidad de retención de agua, pero disminuye el módulo de ruptura y la viscosidad de suspensiones de arcilla. Todos estos cambios mejoran el suelo para el crecimiento de plantas. Otros estudios en Venezuela han demostrado que muchas de las tierras de sabana tienen una capa dura de

\* Comunicación personal.

grava y conglomerados a diversas profundidades. Esta capa sirve como barrera mecánica a la penetración de raíces y aparentemente ha sido uno de los principales factores responsables por el tipo de vegetación de la sabana. Estudios sobre la agregación de dos suelos en Puerto Rico han demostrado que la materia orgánica era el principal agente de cementación entre partículas de arcilla. El contenido de materia orgánica en estos suelos montañosos bien drenados era tan alto como el que generalmente se encuentra en las zonas templadas.

Como se indicó en la introducción, los principios básicos no conocen fronteras políticas. No es de sorprenderse, por lo tanto, que muchos de los resultados de investigaciones realizadas en América Central y del Sur no difieren en gran parte de los realizados en otros lugares. Los datos sí indican algunas avenidas fructíferas para investigaciones en el área de física de suelos. Uno de éstos se relaciona al punto relativamente bajo de marchitez en muchas plantas tropicales. Las preguntas que deben contestarse son: 1) ¿se debe a un desequilibrio entre superficie de área radicular y área de transpiración de la hoja? ; 2) ¿se debe a un sistema radicular poco profundo? ; ó 3) ¿se debe a la lenta conductividad del agua del suelo?

Otro problema importante que requiere bastante investigación es la interrelación de propiedades físicas del suelo (porosidad, densidad de volumen, conductividad hidráulica, contenido de humedad, etc.) con las propiedades químicas del suelo en relación al crecimiento de la planta. Es inconcebible que 139 años después de haberse establecido la Estación Experimental de Rothamsted, y después de tantas investigaciones de campo que se han realizado en todo el mundo, aún estemos realizando, en el último tercio del siglo XX, experimentos de fertilidad de suelo en el campo sin hacer ningún esfuerzo para controlar, medir o de algún modo evaluar el efecto de otros factores tales como las propiedades físicas del suelo, el ambiente climático, etc.

## 2.1 BIBLIOGRAFIA

- Bertoni, J. and A. Pastana, F. I. 1964. Relação chuva—perdas por erosão em diferentes tipos de solo. *Bragantia* 23:3—11.
- Burgas, J. 1965. Elementos del balance hidrológico y los tipos de clima de Venezuela estimados por el método de Thornthwaite. *Agron. Trop.* 15:29—47.
- Cornejo, A. 1966. Relaciones suelo—agua—planta en el cultivo del algodón. *Anal. Cient.* 4:58—71.

- Eldin, M. et Daudet, A. 1969. L'evapotranspiration potentielle: applications. *Agron. Trop.* 24:174–180.
- Fernandes, B. E. and Sykes, J. D. 1968. Capacidade de campo e retenção de água em três solos de Minas Gerais. *Ceres* 15:1–39.
- Fogliano, F. 1965. La lotta antierosiva in Ecuador. Introduzione della *Setaria splendida* Stapf. per la formazione dei ciglioni. *Riv. Agr. Subtrop. Trop.* 59:10–12.
- Forsythe, W. y Diaz–Romeu, R. 1969. La densidad aparente del suelo y la interpretación del análisis de laboratorio para el campo. *Turrialba* 19:128–131.
- Garay, A. F. 1966. Aereación en un suelo de café. *Turrialba* 16:340–351.
- Gavande, S. A. 1968. Water retention in some Costa Rican soils. *Turrialba* 18:34–38.
- Gonzalez, M. A. y Gavande, S. A. 1969. Propiedades físicas de algunos suelos dedicados al cultivo de la caña de azúcar en Costa Rica. *Turrialba* 19:235–245.
- Israelson, O. W. et Hansen, E. 1956. L'irrigation des sols en Haiti. *Bull. Agr. Haiti* 5 pp. 17–23.
- Lugo–Lopez, M. A., Juárez, J., Jr. and Escolar, R. P. 1970. Correlation between the rate of water intake of tropical soils at hourly intervals to the 8th hour. *J. Agr. Univ. Puerto Rico* 54(3):570–575.
- Marcos, M. 1969. Procedimiento de trabajo del departamento de conservación de suelos y aguas. *Rev. Mensual Asoc. Gen. Agricultores* 3:133.
- McMorris, C. S. 1955. Rebuilding the soil in Jamaica. *Caribbean* 9:31–35.
- Mustonen, S. E. and McGuinness, J. L. 1968. Estimating evapotranspiration in humid regions. *U. S. Dept. Agr. Tech. Bul.* 1389.
- Oliver, J. 1969. Problems of determining evapotranspiration in the semiarid tropics illustrated with references to the Sudan, *J. Trop. Geog.* 28:64–74.
- Penman, H. L. 1948. Natural evaporation from open water, bare soil and grass. *Proc. Royal Soc. A.* 193:120–145.
- Plá, I. 1968. Variantes y utilidad de la "mesa de tensión" en el estudio de las relaciones suelo–agua. *Rev. Fac. Agron. Venezuela* 5(1):57–75.
- Schoch, P. G. et Dancette, C. L. 1968. Utilisation de l'evaporometre Piche pour le calcul de l'evapotranspiration potentielle. *Agron. Trop.* 23:967–973.
- Sykes, J. 1969. Reconsideração do conceito da umidade de marchamento permanente. *Turrialba* 19:525–530.
- Thorntwaite, C. W. 1948. An approach toward a rational classification of climate. *Geog. Rev.* 38:55–94.

- Twyford, I. T. and de Freitas, C. L. 1963. Extension methods, soil conservation and land productivity in St. Vincent, West Indies. *World Crops* 15:88–91.
- Van Bavel, C. H. M., Fritschen, L. J. and Reginato, R. J. 1963. Surface energy balance in arid lands agriculture. *Prod. Res. Rept., U. S. Dept. Agr.* 76:1–46.
- Williams, C. N. and Joseph, K. T. 1970. *Climate, soil and crop production in the humid tropics.* Oxford Univ. Press. Singapore.
- Zavaleta, A. G. 1965. The nature of saline and alkaline soils, of the Peruvian Coastal Zone. *Agrokemia es Talajtan (Agrochem. Soil Sci.) Suppl.* 14:415–422.

## CAPITULO 3

### MANEJO DE SUELOS BAJO EL SISTEMA DE ROZA

*P. A. Sánchez*

Profesor Asociado de Suelos

Universidad Estatal de Carolina del Norte

El cultivo migratorio puede definirse como un sistema agrícola continuo, en el cual los desmontes temporales son cultivados por menor tiempo de lo que se les permite permanecer en descanso. Es la práctica predominante de unas 3,6 mil millones de hectáreas, o aproximadamente el 44 por ciento de la tierra potencialmente arable o pastoreable de los trópicos, siendo además el modo de subsistencia de más de 200 millones de personas (FAO, 1957). Aún en el área tropical más densamente poblada, el sureste de Asia, aproximadamente un tercio de la tierra agrícola total se cultiva bajo este sistema (Dobby, 1950).

El cultivo migratorio también es el sistema agrícola que predomina en el área total de América Tropical. Ocurre tanto en las zonas bajas escasamente pobladas como en las altiplanicies densamente pobladas donde no existen implementos de arado y fertilizantes. Esta práctica es la principal forma de agricultura encontrada en la Cuenca del Amazonas, que cubre alrededor del 45 por ciento del Brasil, 70 por ciento de Bolivia, 32 por ciento de Colombia, 40 por ciento del Ecuador y 60 por ciento del Perú. En porciones significativas de las Antillas, la vertiente Atlántica de Centroamérica y la costa del Pacífico de Colombia también se encuentra este sistema migratorio. Haney (1968) estima que aproximadamente el 72 por ciento del área cultivada de Panamá consiste de lotes de cultivo migratorio.

Esta práctica es conocida por una variedad de nombres locales, tales como milpā en México y América Central, conuco en Venezuela y la República Dominicana, roza o monte en Colombia, chacra en el Perú, roça en el Brasil y chaco en Bolivia. En inglés también es conocida como "shifting cultivation", "slash-and-burn agriculture" y como "swidden farming".

Sin embargo, en todo el mundo existe una considerable similitud en las prácticas de cultivo migratorio. En la América Tropical, pequeños campos son desmontados por hacha o machete durante los períodos de menor precipitación y luego quemados poco antes de las primeras lluvias. Sin retirar los desechos, se plantan cultivos tales como maíz, arroz, frijoles, yuca o plátanos en huecos hechos con un palo. Campos con cultivos múltiples simultáneos son muy comunes. Se practica un cierto grado de deshierbe manual. Después de la primera o segunda cosecha se abandonan los campos a un rápido rebrote del monte. Este barbecho secundario crece de 4 a 20 años antes de ser cortado de nuevo.

La mayoría de los tipos de suelos son usados sin tomar en cuenta su estado de fertilidad. El cultivo migratorio es practicado en áreas cuya precipitación anual varía de 750 a 7.500 mm. En las áreas de precipitación más alta, donde las quemas no son posibles, tales como en la Costa Pacífica de Colombia, se usa la vegetación desmontada como cubierta protectora (mulch) en vez de quemarla (Snedaker y Gamble, 1969). Una buena descripción de las prácticas de la agricultura migratoria en América Latina puede encontrarse en los artículos de Haney (1968), Popenoe (1960) y Watters (1966, 1971).

La literatura sobre este tema es extensa. Conklin (1963) ha compilado más de 1300 referencias, la mayoría de las cuales no son de importancia para el manejo de suelos. Vastas investigaciones de edafología han sido llevadas a cabo en Africa, la mayoría de las cuales se resumen en dos excelentes publicaciones: Nye y Greenland (1960) y Jurion y Henry (1969). Mucha de la experiencia africana es importante para la América Latina.

Se han realizado estudios edafológicos sobre cultivos migratorios en algunos países de este hemisferio. La mayoría de las observaciones son semicuantitativas, excepto los estudios de Popenoe y sus asociados en Guatemala, y ciertos estudios en Bolivia y Perú. A continuación, el autor trata de digerir la mayoría de los datos disponibles de la región y relacionarlos a los conceptos desarrollados en Africa y Asia.

### **3.1 CICLAJE DE NUTRIENTES ENTRE EL SUELO Y EL BOSQUE**

La existencia de un ciclo casi cerrado entre un bosque tropical maduro y el suelo fue reconocida primeramente por Hardy (1936) en Trinidad. Desde entonces, muchos estudios han tratado de cuantificar

este fenómeno a fin de comprender el mecanismo responsable por el suculento crecimiento forestal en suelos infértiles. El ciclo de elementos nutritivos tiene dos almacenes principales: la biomasa y la capa superficial del suelo, los cuales están conectados por varios procesos.

#### Almacenamiento en la Vegetación

La biomasa total de un bosque tropical maduro generalmente contiene de 200 a 400 ton/ha de materia seca. Estudios realizados en el Congo (Bartholomew *et al.* 1969) y en Puerto Rico (Ovington y Odum, 1970) indican que la proporción de los componentes del bosque son bastante constantes. Aproximadamente el 75 por ciento de la biomasa consiste de ramas y troncos, del 15 al 20 por ciento de raíces, del 4 al 6 por ciento de hojas y del 1 al 2 por ciento de hojarasca. Los estudios realizados en Guatemala (Snedaker, 1970) muestran que la tasa de acumulación de materia seca durante el rebrote forestal secundario es de unas 10 ton/ha por año durante los primeros nueve años. Los estudios en el Congo indican que alrededor del 90 por ciento de la biomasa máxima es lograda durante los primeros ocho años de rebrote.

El primer año de rebrote forestal es similar a los cultivos en términos de producción de materia seca. Tergas y Popenoe (1971) encontraron que la producción de materia seca en un rebrote de diez meses de edad era de 9,17 ton/ha mientras que un cultivo adyacente de maíz sin fertilizar produjo 9,9 ton/ha, cerca de Izabal, Guatemala. Cuando el maíz fue fertilizado adecuadamente produjo 30 ton/ha de materia seca durante el mismo período. Los resultados de comparaciones a plazos más largos en Nigeria mostraron que un bosque secundario produjo 40 ton/ha después de seis años de rebrote, mientras que potreros de pasto estrella (stargrass) establecidos al mismo tiempo produjeron 17 ton/ha (Jaiyebo y Moore 1964). La biomasa de bosques maduros en el Congo, Ghana, Panamá y Puerto Rico produjeron los siguientes rangos de elementos nutritivos:

	kg/ha		kg/ha
N	701 a 2044	S	196 (una observación)
P	33 a 137	Fe	43 (una observación)
K	600 a 1017	Zn	13 (una observación)
Ca	653 a 2760	Mn	5 (una observación)
Mg	381 a 3890	Cu	3 (una observación)

Las tasas de acumulación como una función de la edad de los bosques secundarios varían sustancialmente entre los elementos nutritivos. La mayoría del N, K, Ca y Mg se acumula linealmente (Bartholomew *et al.* 1953).

Estas cifras indican que los bosques tropicales acumulan más elementos nutritivos a una tasa más rápida que los bosques de zonas templadas. Los bosques tropicales secundarios relativamente jóvenes (18 años) acumulan más elementos nutritivos que los bosques de 50 a 100 años de edad en climas templados (Greenland y Kowal, 1960).

Sólo el 40 ó 50 por ciento de la biomasa total está disponible para incorporarse al suelo, generalmente en forma de hojas, pequeñas ramas y raíces. El patrón de acumulación de elementos nutritivos en estas partes es más rápido que en el resto de la vegetación. Las hojas acumulan alrededor del 94 por ciento de su máxima absorción de nutrientes dentro de dos años del rebrote forestal; alrededor del 80 por ciento de producción de hojarasca máxima y 64 por ciento de producción máxima de raíces es alcanzado durante los primeros cinco años en el Congo.

#### Almacenamiento por el Suelo

fue establecido por Greenland y Kowal en 1960. La capa de los primeros 30 cm de un Latosol contenía 2,6 veces más de N que la biomasa y aproximadamente la misma cantidad de Ca y Mg intercambiables que el total de Ca y Mg de la biomasa. La capa superior contenía el 75 por ciento del K en la biomasa como K intercambiable pero sólo el 9 por ciento del P en la biomasa como P disponible.

Los datos africanos también muestran que del 68 al 85 por ciento del sistema radicular de los bosques maduros se encontraba en los primeros 25 a 30 cm de profundidad (Greenland y Kowal, 1960). Esto da al subsuelo un papel secundario en el ciclo de elementos nutritivos.

#### Transferencia de Elementos Nutritivos de la Vegetación al Suelo

Los mecanismos reconocidos son el lavado de las hojas por lluvia, ya sea pasando por el tallo o directamente (Stemflow and thoroughfall), la caída de hojarasca, la caída de árboles y la decomposición de raíces. A pesar de que los datos de lavado por lluvia varían considerablemente por estaciones y especies, sus contribuciones son considerables. Nye

(1961) estima que es aproximadamente 12 kg de N, 3,7 kg de P, 220 kg de K, 311 kg de Ca y 70 kg de Mg por hectárea por año. Sollins y Drewry (1970) observan que la concentración de  $\text{NO}_3$ , K, Na, Ca, Mg y S en las aguas de lluvia aumentó de 2 a 6 veces después de pasar por una selva tropical en Puerto Rico.

Las tasas anuales de deposición de hojarasca son de 5,5 a 15,3 ton/ha en los trópicos comparado con 1,0 a 8,1 ton/ha en los bosques de zonas templadas (Ewell, 1968). La composición de elementos nutritivos en la hojarasca de los bosques tropicales es similar a la de los bosques de las zonas templadas, excepto por un contenido mucho más alto de N en los trópicos. El rango de la composición de elementos nutritivos de capas de hojarasca en Guatemala (Ewell, 1968), Puerto Rico (Odum, 1970) Ghana (Nye, 1961) y Congo (Bartholomew *et al*, 1953) es el siguiente:

N	74 – 199	kg/ha/año	Ca	45 – 220	kg/ha/año
P	1 – 7		Mg	10 – 94	
K	8 – 81		S	9 – 10	

Las relaciones entre producción de hojarasca, acumulación y decomposición, han sido estudiadas por Jenny *et al.* (1949) y Suárez de Castro y Rodríguez (1955) en Colombia; Ewell (1968) en Guatemala; Weigert (1970) y Weigert y Murphy (1970) en Puerto Rico, así como por los grupos de Nye y Bartholomew en Africa. Aunque existen considerables discrepancias sobre cuáles son los parámetros apropiados, las tasas de decomposición de hojarasca varían del 50 al 500 por ciento por año (McGinnis y Golley 1967). Los estudios de decomposición en función de tiempo en el Congo (Bartholomew *et al*, 1953) y Guatemala (Ewell 1968) muestran tendencias similares. Aproximadamente la mitad de la materia seca en la hojarasca se mineraliza dentro de las primeras 8 a 10 semanas, luego la tasa decae. Alrededor del 80 por ciento de K se mineraliza dentro del primer mes. P, Ca, Mg y S se mineralizan a una tasa más veloz que la materia seca, pero el N se mineraliza más lentamente.

El único estimado en la literatura disponible que incluye todas las cuatro fuentes de transferencia de elementos nutritivos es el de Nye(1961). Asumiendo que el 10 por ciento de las raíces se decomponen por año, la tasa anual de transferencia de elementos nutritivos de vegetación a suelo sería la siguiente:

Mecanismo	Materia seca	N	P	K	Ca	Mg
		Kg/ha/año		Kg/ha/año		
Lavado por lluvia	—	12	3.7	220	29	18
Caída de hojarasca	10528	199	7.3	68	206	45
Caída de árboles	11200	36	2.9	6	82	8
Decomposición de raíces	2576	21	1.1	9	15	4
Total	24304	268	15.0	303	332	75
% Biomasa total	7	13	11	33	12	19

Este programa extraordinario de fertilización natural es lo que mantiene a las selvas tropicales tan bien suplidas de elementos nutritivos.

#### Pérdidas de Elementos Nutritivos del Sistema

Al añadir los elementos nutritivos de la vegetación al suelo, se logra balancear la asimilación de dichos elementos por la vegetación de la capa superior del suelo. Aparentemente el crecimiento poco profundo de las raíces forestales tropicales provee una manera muy eficaz de mantener un ciclo cerrado de elementos nutritivos (Nye y Greenland, 1960). Sin embargo, la absorción de nutrimentos del subsuelo corresponde al 20 por ciento del total, lo que sin duda contribuye a la eficacia del sistema. Casi no existen datos sobre pérdidas por lixiviación. Un análisis de las aguas del río Amazonas provee las siguientes estimaciones de lixiviación: 0,5 kg de  $\text{NO}_3^-$ , 4,4 kg de K, 37 kg de Ca, 5 kg de Mg, y 5 kg de  $\text{SO}_4$  por hectárea por año (Russel, 1950).

#### El Ciclo como Entidad

Se trató de realizar un estudio cuantitativo del ciclo de nutrientes en Puerto Rico (Odum 1970, Edminsten 1970, Luse 1970, Jordan 1970). Desgraciadamente la calidad de los datos deja mucho lugar a dudas en estos informes. Las siguientes generalizaciones, sin embargo, pueden ser de algún valor. El ciclo del nitrógeno consiste de un flujo anual de 103 kg de N/ha por año. Este elemento se mantiene estrictamente dentro del ciclo. Al añadir el lavado por lluvia y fijaciones biológicas, más una posible desnitrificación, las pérdidas en el suelo parecen importantes (Edminsten 1970). El ciclo del fósforo se restringe a la capa superficial del suelo. La liberación de  $\text{P}^{3,2}$  de hojas en decomposición se mantuvo casi cuantitativamente por las raíces de superficie en los primeros 5 cm del suelo y luego fueron absorbidas por las plantas. El fósforo se

mantiene fuertemente ligado en el ciclo (Luse 1970). El potasio se cicla a tasas muy altas pero se mantiene desligado. Ca, Mg, Mn, Fe y Cu se ciclan lentamente y están fuertemente ligados (Jordan 1970, Odum 1970).

### 3.2 CAMBIOS EN PROPIEDADES DEL SUELO BAJO CULTIVOS MIGRATORIOS

Cuando el equilibrio de elementos nutritivos descrito anteriormente se destruye por medio de desmontes, el suelo experimenta una serie de cambios causados por la quema, el cultivo y el rebrote forestal.

#### Propiedades Físicas del Suelo

**Temperatura del suelo.** La temperatura del aire durante la quema de una selva tropical puede alcanzar de 450 a 650°C a 2 cm encima de la superficie del suelo. Las temperaturas decaen a razón de 100°C por cm bajo la superficie del suelo en los primeros 5 cm (Zinke *et al.* 1970). A profundidades mayores, Suárez de Castro (1957) no encontró cambios en la temperatura del suelo durante quemas realizadas en Colombia.

Después del proceso de la quema, las áreas desmontadas tienen temperaturas promedias más altas tanto del aire como del suelo que antes (Budowski 1956). Los aumentos de temperaturas máximas fueron de 25 a 32°C después del desmonte en Tailandia (ASRCT 1968), pero no se registraron cambios en las temperaturas mínimas del aire. Las temperaturas máximas del suelo a una profundidad de 7,5 cm aumentaron de 27 a 38°C cuando se desmontó un bosque en Ghana mientras las temperaturas mínimas permanecieron en 24°C (Cunningham 1963).

En una selva virgen de Guatemala sólo el 4 por ciento de la radiación solar total llegó a la superficie del suelo (Snedaker, 1970). En el primer año de un rebrote, la radiación penetrante se redujo al 35 por ciento de lo que ocurría en tierras desmontadas. En bosques secundarios más antiguos, sólo del 5 al 10 por ciento de radiación solar alcanzó la superficie del suelo. La radiación solar y los datos de temperatura, sugieren que cuando se desmonta el suelo, los procesos biológicos serán estimulados considerablemente, pero después del segundo año de rebrote forestal la situación vuelve a ser similar a la del bosque virgen.

**Humedad del Suelo.** Un bosque maduro de 40 años de edad intercepta y evapora alrededor del 16 por ciento de la precipitación total. El potencial de lixiviación, por lo tanto, aumenta en esa proporción al ser desmontado. Los suelos forestados tienen un perfil de humedad del suelo uniforme con napa freática profunda (si está presente) debido a las altas tasas de transpiración de las diversas capas del suelo (Budowski 1956). Después de desmontar una selva en Tailandia, la evapotranspiración diaria aumentó ocho veces (ASRCT 1968). La mayoría de las pérdidas por evapotranspiración luego afectan los horizontes superiores que resulta en un suministro desuniforme de humedad. Las napas freáticas fluctuantes pueden ser causadas por el desmonte (Firth 1955, Budowski 1956). El contenido de humedad del suelo puede aumentar en los horizontes B con el desmonte (ASRCT 1968). Budowski cree aún más que es por eso que las capas de laterita, cuando están presentes, casi siempre se encuentran en sabanas, casi nunca bajo bosques secundarios y nunca en bosques vírgenes.

**Estructura del Suelo.** La idea de que la quema y el desmonte causan deterioro de las propiedades físicas del suelo prevalece en la literatura. Suárez de Castro (1957) sin embargo, observó que la quema aumenta la tasa de infiltración y la fracción de agregados mayores de 0,25 mm en suelos de ceniza volcánica de Colombia. Popenoe (1957) observó que la densidad aparente de la capa de 5 a 10 cm de suelos de Guatemala aumenta de 0,56 a 0,66 g/cc después del desmonte y baja de 0,74 a 0,70 después de 3 a 5 años de rebrote forestal. Los tenores bajos de densidad aparente también sugieren la influencia de ceniza volcánica. Estas diferencias probablemente no son lo suficientemente significativas para afectar el crecimiento de las plantas. Popenoe (sin publicar) informa sobre casos de deshidratación irreversible en el suelo circundante a troncos quemados.

Watters y Bascones (1971) mostraron que la densidad aparente aumenta de 1,08 a 1,14 g/cc y la porosidad total decae de 59,5 a 57 por ciento en un suelo franco arcilloso amarillento—café en los Andes Venezolanos al ser desmontado. No consideraron que esas diferencias fueran importantes. En Africa, Nye y Greenland (1964) observaron una compactación visual del suelo con el desmonte, pero ningún cambio en densidad de volumen en dos años. Cunningham (1963) observó una reducción en porosidad total de 52 a 43 por ciento y una disminución similar en agregados estables en agua en tres años de desmonte en un latosol de Ghana sin cultivar. Friese (1934, 1939) informó que la porosidad total en algunos suelos del sureste del Brasil disminuyó del 51 por ciento en una selva virgen al 12 por ciento en una sabana. Atribuye

la disminución a encogimiento de la arcilla y rajaduras, sugiriendo la presencia de montmorillonita.

Estos resultados sugieren que la compactación ocurre en grados leves en suelos derivados de ceniza volcánica y Latosoles, pero puede ser un factor importante en suelos que tienen propiedades físicas menos deseables.

**Escurrecimiento y erosión.** Popenoe (1957) encontró poca erosión en campos desmontados con cuevas empinadas en Guatemala y la atribuyó a la baja densidad de volumen del suelo. Observó que la mayor parte de la erosión ocurre como derrumbes después de aguaceros fuertes. Suárez de Castro (1957) mostró que el escurrecimiento decae después de desmontes en Colombia, atribuyendo a aumentos de permeabilidad debido a la quema. Ambos sitios fueron afectados por cenizas volcánicas. El efecto del desmonte en el escurrecimiento del suelo y pérdidas por erosión puede ser severo en otros suelos.

### **Propiedades Químicas del Suelo**

**Acidez del Suelo.** Al añadir ceniza, que contiene grandes cantidades de bases, se aumenta el pH de la mayoría de los suelos después de la quema. Nye y Greenland (1964) estimaron que la ceniza contenía alrededor de 5,3 ton/ha de calcio, 0,7 ton/ha de magnesio y 1,6 ton/ha de potasio en Ghana. La lixiviación de estas bases durante el cultivo resultó en un decaimiento subsiguiente del pH. La magnitud de estos cambios varía según las propiedades del suelo. En suelos afectados por ceniza volcánica, Suárez de Castro (1957) informó sobre aumentos de pH de 4,6 a 5,4 después de la primera quema y aumentos similares después de quemar los residuos de cultivos después de cada cosecha. Popenoe (1957) reportó aumentos de 5,8 a 6,4 en el primer centímetro y vuelta al nivel original después del segundo año de rebrote. No se detectaron cambios en la capa de 5 a 40 cm. Watters y Bascones (1971) también reportaron aumentos de 4,1 a 4,4 en los 8 cm superiores y ningún cambio bajo esa profundidad en los Andes Venezolanos. Cowgill (1962) no observó cambios significativos del pH en suelos calcáreos del Petén, Guatemala. Urrutia (1967) reportó disminuciones leves de pH en un suelo similar con rebrote forestal secundario.

Los últimos tres estudios se basaron en muestras recogidas bajo bosques de diferentes edades al mismo tiempo. Los estudios realizados en un lote con muestreos en función de tiempo proporcionan una

evaluación más exacta. Nye y Greenland (1964) encontraron aumentos de pH de 5,2 a 8,1 en los 5 cm superiores inmediatamente después de la quema y disminuciones a 7,0 después de dos años. Las capas de 5 a 15 y 15 a 30 cm aumentaron de 4,9 a 6,2 con la quema y disminuyeron a 5,0 después de dos años. Popenoe (datos sin publicar) también observó aumentos en el pH hasta 40 cm de profundidad en Guatemala. Estos estudios indican que a diferencia de la cal comercial las cenizas tienden a moverse hacia abajo en el perfil y aumentan el pH a profundidades sustanciales. A diferencia de la cal, su movilidad causa que estos aumentos en el pH sean de corta duración, pero de gran beneficio para los cultivos que crecen bajo el sistema migratorio y tal vez para el rebrote forestal inicial.

**Materia Orgánica y Nitrógeno.** Aunque la quema volatiliza casi todo el nitrógeno, carbono y azufre presente en la vegetación, no disminuye el contenido carbono y nitrógeno orgánico de la capa superior del suelo. Tanto Nye y Greenland (1964) como Popenoe (sin publicar) encontraron que el C y N orgánico aumenta después de la quema, posiblemente debido a la combustión incompleta de la vegetación. El contenido de materia orgánica disminuye bastante en los 5 cm superiores del suelo, posiblemente debido a la mayor temperatura del suelo (Popenoe, sin publicar; Nye y Greenland, 1964). El N total, sin embargo, permanece constante en algunos casos (Suárez de Castro, 1957; Popenoe, sin publicar) y decae en otros (Popenoe 1957; Cunningham 1963; Nye y Greenland 1964). La relación C/N, por lo tanto, decae fuertemente en algunos casos (de 16 a 8 en dos meses en suelos de alto contenido de materia orgánica en Guatemala) y se mantienen estables en otros. La mayoría de los estudios están de acuerdo que los cambios a más profundidad son insignificantes en términos de tasas de C, N y C/N. Cuando ocurren caídas agudas en las tasas de C, N, o C/N, ellas ocurren dentro de los pocos primeros meses y alcanzan un equilibrio después de uno a dos años (que es el límite de los datos disponibles). Esta tendencia se reinicia con el rebrote de selvas secundarias (Urrutia 1967). Jaiyebo y Moore (1963) observaron aumentos anuales en el orden de 700 kg N/ha por año durante los primeros tres años de rebrote de una selva o pasto kudzú.

Las tasas de decomposición de materia orgánica bajo estas condiciones son objeto de considerables debates. Un resumen de datos africanos y latinoamericanos sobre esta materia, realizado por Greenland y Nye (1959) muestra una tasa de decomposición promedio del 3 por ciento para el carbono orgánico. También encontraron que los suelos bajo cultivo migratorio mantienen un contenido de C del 75 por

ciento del valor del equilibrio, siempre que la tasa de cultivo: barbecho sea de por lo menos 1 a 3 años, lo que es un período considerablemente más corto que la práctica real.

**Fósforo.** Las relaciones C/P y N/P en la materia orgánica de los suelos forestales tropicales de Ghana son considerablemente más altas que los de regiones templadas e indicativos de deficiencias de fósforo (Nye y Bertheux 1957). A pesar de las relativamente bajas cantidades en el ciclo del P, la estrechez de este ciclo evita una deficiencia de fósforo bajo condiciones naturales. Después del quemado, el fósforo extraído por el método de Bray en la capa superior de 5 cm en Guatemala aumentó en aproximadamente cuatro veces y permaneció al mismo nivel por unos seis meses. Después de un año todavía era el doble del valor original (Popenoe, sin publicar). No se observaron cambios en el fósforo disponible en las capas más profundas. Suárez de Castro (1957) en Colombia y Watters y Bascones (1971) en Venezuela observaron relaciones similares.

Urrutia (1967) encontró que los rebrotes forestales secundarios aumentan el fósforo extraído por el método de Bray, en Rendzinas del Petén, Guatemala. La baja movilidad del fósforo ciertamente favorece su conservación en el suelo, a diferencia de las bases intercambiables. Tergas y Popenoe (1971) observaron diferencias drásticas entre especies en su asimilación de P después de 10 meses de rebrote secundario forestal en Guatemala. A niveles similares de producción de materia seca, *Heliconia* spp. y *Gynerium* spp. acumularon aproximadamente 3 veces más fósforo que la vegetación promedio.

**Bases Intercambiables.** Casi todo el K, Ca y Mg en la vegetación después de la quema resulta en aumentos de K, Ca y Mg intercambiables en la capa superior del suelo (Nye y Greenland, 1964). Grandes pérdidas por lixiviación de K y Mg ocurren durante el primer año pero las pérdidas de Ca son menores. Popenoe (sin publicar) encontró que los contenidos intercambiables de K en la capa superior de 0 – 5 cm se triplican después de la quema, disminuyendo al doble del valor original dentro de tres meses, y volviendo al valor original en un año. El contenido de K de 5 a 40 cm permaneció estable. También observó que el Ca intercambiable en los primeros 5 cm aumentó en un 50 por ciento y el Mg intercambiable en un 75 por ciento con quemas, pero ambos elementos volvieron a su valor original en menos de un año. Popenoe (1957) mostró que el Ca y Mg descienden de las capas de 20 a 40 cm donde todavía pueden ser recobrados por las raíces antes de moverse más lejos. Después de dos años, la lixiviación, erosión y asimilación por

cultivos, dio cuenta del 50 por ciento de los incrementos de Ca y K incurridos después de quemas en Ghana (Nye y Greenland 1964), implicando que los efectos benéficos de la ceniza pueden extenderse más allá del período usual de cultivo. El K y Mg intercambiable aumentaron con el rebrote de vegetación secundaria en Guatemala (Urrutia 1967).

### Microbiología del Suelo

Mieklejohn (1955) en Kenya observó que la quema disminuye la microflora del suelo y que los fijadores aeróbicos de N son destruidos, mientras que los fijadores anaeróbicos de N sobreviven. Suárez de Castro (1957), al contrario, no encontró cambios en los hongos, actinomicetos y flora bacteriana en capas de 0 a 10 y 10 a 20 cm en un Andosol colombiana después de una semana de su quemada. Fowells y Stephensen (1934) observaron que la nitrificación se estimula por quemas y la liberación de ceniza básica en Oregon. Aparentemente los efectos detrimentales observados por Mieklejohn fueron de corta duración.

### 3.3 LOS CULTIVOS BAJO AGRICULTURA MIGRATORIA

El alto nivel de nitrógeno orgánico (y probablemente azufre) que permanece en la capa superior del suelo después de la quema y las grandes cantidades de fósforo, potasio, calcio, magnesio y probablemente micronutrientes añadidos por la ceniza, asegura que no habrá limitaciones de fertilidad para el primer cultivo sembrado en la mayoría de los suelos tropicales.

En América Latina, encuestas de agricultores indican que los rendimientos del segundo cultivo son aproximadamente la mitad del primero y los rendimientos del tercer cultivo, si se llega a plantar, son la mitad del segundo (Cowgill 1962, Watters 1971). Los lotes son abandonados generalmente cuando el rendimiento baja a la mitad del original.

Una proporción significativa de los lotes bajo cultivo migratorio son sembrados con cultivos semi-perennes tales como plátanos y papaya antes de revertirlos finalmente al rebrote del monte. En otras áreas se establecen potreros durante o inmediatamente después de la primera cosecha y se mantienen por algunos años. Haney (1968) aclara que estos potreros proveen una alta capacidad de carga por algunos años en

Colombia, siempre que se quemen anualmente, pero eventualmente son destruidos por exceso de pastoreo y la tierra se vuelve inútil. En Yurimaguas, Perú, alrededor del 20 por ciento de los lotes cultivados con arroz de secano son convertidos en potreros naturales y mantenidos de tal forma por algunos años. Una hacienda tiene potreros naturales de 20 años de edad con buena capacidad de carga sin haber sido fertilizados. En Pucallpa, Perú, la producción de pastos es limitada a menos que se abone fuertemente.

### **Rendimientos**

Se han realizado muy pocos experimentos agronómicos en sistemas de cultivos migratorios en América Latina. La alta capacidad del suelo de suministrar nutrimentos después del desmonte, no permitió una respuesta a fertilizantes en el primer cultivo de arroz de secano en el Perú (Sánchez y Nureña 1972) y maíz en Guatemala (Urrutia, 1967).

Experimentos de cultivo continuo han dado ciertos resultados sorprendentes. Cordero (1964) cultivó arroz de secano y caña de azúcar durante cinco años consecutivos en un suelo aluvial cerca de Santa Cruz, Bolivia, sin abonamiento. Los rendimientos de arroz dependieron primordialmente de las lluvias y no se observó ninguna disminución de fertilidad con el tiempo. En realidad, se obtuvieron los mayores rendimientos en el cuarto año. Con caña de azúcar, el plantío original produjo los rendimientos más altos pero las cuatro zafra consecutivas no mostraron diferencias significativas en rendimientos. Sánchez y Nureña (1972) plantaron tres cultivos continuos de arroz de secano en un Tropaqualf cerca de Yurimaguas, Perú. No se observaron disminuciones de rendimiento y el tercer cultivo en realidad resultó superior que los anteriores, probablemente debido a una mejor distribución de lluvias. Con una aplicación total de 20 kg N/ha, los rendimientos acumulativos fueron de 8,5 ton/ha. El cuarto cultivo consecutivo también rindió bien pero el quinto comenzó a desarrollar ciertas deficiencias nutritivas, lo que redujo considerablemente el rendimiento. Los experimentos en Bolivia y Perú fueron conducidos con un control de malezas adecuado, pero probablemente antieconómico.

### **Respuestas a Fertilizantes**

Comúnmente se observan las respuestas a fertilizantes después del segundo cultivo. Urrutia (1967) obtuvo aumentos significativos de rendimiento de maíz en Guatemala y Sánchez y Nureña (1970) con arroz en la Selva del Perú con aplicaciones de N durante el tercer cultivo

consecutivo, pero ninguna respuesta al añadir P y K fue encontrada en ninguno de los dos casos, a pesar de los niveles relativamente bajos mostrados por análisis del suelo.

Estos estudios sugieren que la disminución de fertilidad después de desmontar estos suelos es relativamente lenta. En todos los casos, los suelos no eran altamente lixiviados, ni tenían textura arenosa. Pendleton (1954) observó que la lixiviación de nutrimentos es tan rápida en ciertos suelos arenosos de Trinidad que no era factible volver a sembrar. Situaciones similares son posibles que existan en otras áreas arenosas bien drenadas.

### Prácticas de Manejo

Un experimento interesante fue realizado durante varios años por Suárez de Castro (1957) en un suelo de ceniza volcánica de Chinchiná, Colombia, sobre el efecto de quemar residuos de maíz bajo cultivo continuo. En un lote donde los rendimientos de maíz no disminuyeron por cuatro años bajo cultivo convencional, el rendimiento acumulativo fue de 9,2 ton/ha. Cuando se quemó el rastrojo de maíz, el rendimiento acumulativo aumentó levemente a 11,8 ton/ha. En otro lote donde el tratamiento convencional resultó en disminuciones fuertes con el tiempo, un total de cuatro cultivos rindió 5,4 ton/ha mientras que con la quema del rastrojo el rendimiento aumentó a 8,9 ton/ha. La quema de residuos del cultivo puede ser una manera factible de añadir fósforo y bases al suelo en lugares donde los abonos no son fácilmente accesibles o son muy costosos.

Los métodos de desmonte han recibido mucha atención de parte de planificadores gubernamentales y grandes empresas privadas en áreas de agricultura migratoria en la Amazonia. El efecto de los métodos de desmonte en costos, rendimiento y propiedades del suelo fue estudiado por Cordero (1964) en Santa Cruz, Bolivia. Desmonte, quema y plantío manual fueron comparados con métodos mecanizados de desmonte, retiro de vegetación, arado y nivelación con palas mecánicas y "root rakes". Cordero encontró que los costos de desmonte se triplican con la mecanización y no se observan diferencias significativas en rendimiento con cuatro cultivos consecutivos de arroz de secano o cinco cultivos de caña de azúcar, y que el desmonte mecanizado disminuye el contenido de materia orgánica del suelo del 4,6 al 3,6 por ciento, comparado con la manera convencional, debido al retiro de la capa superior del suelo por las palas mecánicas. Se ha desarrollado una serie de grandes

máquinas de desmonte en Pucallpa, Perú (Abastos 1971) que se han usado para desmontar grandes cantidades de terreno. Aunque no hay duda de la eficacia y eficiencia de su operación, el rendimiento de cultivos y potreros ha sido relativamente bajo porque no se han ideado buenas prácticas de manejo del suelo después del desmonte.

### **La Experiencia Africana**

No hay ninguna referencia en la literatura disponible sobre estudios de manejo de suelos en Ultisoles y Oxisoles bajo cultivo migratorio en América Latina, aún cuando la mayor parte de las áreas de cultivo migratorio ocurren en estos tipos de suelos.

Esta materia ha sido investigada profundamente por científicos africanos por más de 50 años. Tal vez el resultado más importante sea la extrema variabilidad de los resultados dentro de regiones o tipos de suelos. Vine (1953, 1954, 1968) resumió mucho de los trabajos en Nigeria y concluyó que los rendimientos pueden mantenerse satisfactoriamente por largos períodos de tiempo con pequeñas cantidades de fertilizantes o abonos verdes. Los rendimientos de maíz fluctúan de 1,3 a 1,6 ton/ha durante 17 años cuando se sembró un cultivo de frijol terciopelo, quemado e incorporado cada año (Vine 1964). No se observó ninguna respuesta a N en los primeros 8 a 10 años. Los cultivos a corto plazo de abonos verdes no fueron exitosos cuando el N del suelo se había agotado. En suelos de sabanas con relaciones C/N mayores de 12, la deficiencia de N fue común durante el primer año. Los extensos experimentos realizados por el INEAC en el Congo y en otros lugares (Jurion y Henry 1969) produjeron resultados tan variables que llevó al INEAC a recomendar un sistema de agricultura migratoria sistemática en largos lotes rectangulares en vez de cultivos continuos. Otros documentos africanos relevantes a la materia están incluidos en la bibliografía.

### **3.4 CONCLUSIONES**

No hay duda en la mente del autor que la agricultura migratoria es un sistema muy eficiente de manejo de suelos para la agricultura de subsistencia en áreas tropicales de baja densidad de población. La mayoría de la población latinoamericana se concentra en áreas densamente pobladas de las costas y montañas. Cuando los gobiernos actúan para subsanar estas presiones por medio de proyectos viales o de

colonización, deben desarrollarse otras alternativas para el manejo del suelo. Esto está ocurriendo actualmente con la construcción de la carretera Transamazónica en el Brasil y operaciones similares de vialidad y perforaciones petroleras en otros países de la cuenca amazónica. Se conoce muy poco acerca de esta materia en la América Tropical y se han descifrado sólo partes del rompecabezas en algunas localidades. Lo que se necesita con urgencia es un enfoque sistemático, midiendo los cambios en propiedades del suelo en función del tiempo, junto con esfuerzos paralelos de control de malezas y con el desarrollo de prácticas económicamente realistas de fertilización y manejo mejor adaptados a las áreas específicas.

Este estudio sugiere las siguientes áreas de investigación:

1. Ya que la productividad primaria de las selvas tropicales es mucho más alta que sus contrapartes templadas, ¿por qué no se podría obtener altos rendimientos de cultivos con programas adecuados de rotación, fertilización y control de malezas?
2. La mayoría de los elementos nutritivos acumulados en los bosques secundarios alcanzan valores máximos en una etapa temprana del rebrote (5 a 8 años). ¿Es necesario esperar de 15 a 20 años, o es simplemente una cuestión de facilidad de control de malezas? Para mantener el N del suelo al 75 por ciento de los niveles de equilibrio se necesitan únicamente tres años de rebrote por año de cultivación — ¿Por qué esperar más?
3. La ceniza debe suministrar cantidades sustanciales de fósforo y actúa como una cal altamente móvil. El calcio y potasio añadidos en la ceniza se mantienen en el suelo durante más tiempo de lo que se cultiva usualmente. ¿Puede prolongarse el período de cultivo con nuevas prácticas?
4. La quema de los residuos cada año puede ser equivalente a la quema de florestas secundarias de un año de edad. ¿Puede esta práctica resolver una gran parte de los requisitos de fertilización?
5. Abonos verdes a corto plazo han tenido éxito en Africa como abastecedores de nitrógeno. Esto debe investigarse en América Latina.

6. Las grandes cantidades de elementos nutritivos que vuelven anualmente a los suelos de la selva, probablemente son demasiado grandes para aplicarse económicamente como fertilizante y cal. Los requisitos anuales de fertilizantes de los cultivos pueden disminuirse por medio de quemas de residuos e incorporación de abonos verdes.
7. El suelo debe estar cubierto por cultivos en toda época para evitar posibles daños físicos y aumentos excesivos de la temperatura del suelo. Los cultivos múltiples no sólo disminuirían la compactación, erosión y escurrimiento, sino que también reducirían los esfuerzos de control de malezas.

### 3.5 BIBLIOGRAFIA

#### Aspectos Generales

- Conklin, H. C. 1963. The study of shifting cultivation. Panamerican Union, Studies and Monographs, 6 Washington. pp. 165.
- Dobby, E. G. H. 1950. Southeast Asia. Wiley, New York.
- Drosdoff, M. 1967. Soil management. In: "Rural Development in Tropical Latin America", Cornell University. pp. 224–226.
- FAO Staff. 1957. Shifting cultivation. Trop. Agr. (Trinidad) 34:159–164.
- Haney, E. B. 1968. The nature of shifting cultivation in Latin America. Land Tenure Center, University of Wisconsin LTC–45:29.
- Jurion, F. and Henry, J. 1969. Can primitive farming be modernized? INEAC Series HORS, Brussels 455 pp.
- Kellogg, C. E. 1963. Shifting cultivation. Soil Sci. 95:221–230.
- Miller, E. V. 1967. The need for fertilizers. In: "Rural Development in Tropical Latin America", pp. 218–223.
- Newton, K. 1960. Shifting cultivation and crop rotation in the tropics. Papua and New Guinea Agr. J. 13(3):81–118.
- Nye, P. H. and Greenland, D. J. 1960. The soil under shifting cultivation. Comm. Bur. Soils Tech. Comun. 51 156 pp.
- Popenoe, H. L. 1960. Effects of shifting cultivation on natural soil constituents in Central America. Ph.D. Thesis, University of Florida, Gainesville 156 pp.

- Snedaker, S. C. and Gamble, J. F. 1969. Compositional analysis of selected second-growth species in lowland Guatemala and Panama. *Bio Science* 19(6):536-538.
- Watters, R. F. 1966. The shifting cultivation problem in the American Tropics. En: Reunión internacional sobre problemas de la agricultura en los trópicos húmedos de América Latina, Lima, Perú.
- Watters, R. F. 1971. Shifting cultivation in Latin America. FAO Forestry Development Paper 17. 305 pp.

#### Ciclaje de Nutrientes

- Bartholomew, W. V., Meyer, I. and Laudelot, H. 1953. Mineral nutrient immobilization under forest and grass fallow in the Yangambi (Belgian Congo) region. *INEAC Serie Scientifique* 57:1-27.
- Cunningham, R. K. 1963. The effect of clearing a tropical forest soil. *J. Soil Sci.* 14:334-345.
- Edminsten, J. 1970. Preliminary studies of the nitrogen budget of a tropical rain forest. In: Odum (ed): *A Tropical Rain Forest*. pp. H211-H216 U. S. Atomic Energy Comm., Washington, D. C.
- Ewell, J. L. 1968. Dynamics of litter accumulation under forest succession in eastern Guatemalan lowlands. M. S. Thesis, University of Florida, Gainesville.
- Golley, F. B., McGinnis, J. T., Clements, R. J. *et al.* 1969. The structure of tropical forests of Panama and Colombia. *Bio Science* 19(8):693-696.
- Greenland, D. J. and Nye, P. H. 1969. Increases in the carbon and nitrogen contents of tropical soils under natural fallows. *J. Soil Sci.* 9:284-299.
- Greenland, D. J. and Kowal, J. M. L. 1960. Nutrient content of a moist tropical forest of Ghana. *Plant and Soil* 12:154-174.
- Hardy, F. 1936. Some aspects of tropical soils. *Trans. 3rd Int. Congr. Soil Sci.* 2:150-163.
- Jaiyebo, E. O. and Moore, A. W. 1964. Soil fertility and nutrient storage in different soil-vegetation systems in a tropical rain forest environment. *Trop. Agr. (Trinidad)*:41(2):129-139.
- Jenny, H., Bingham, F. and Padilla-Saravia, B. 1948. Nitrogen and organic matter contents in equatorial soils of Colombia, South America. *Soil Sci.* 66:173-186.
- Jenny, H., Gessel, S. P. and Bingham, F. T. 1949. Comparative study of decomposition rates of organic matter in temperate and tropical regions. *Soil Sci.* 68:419-432.

- Jordan, C. F. 1970. A progress report on studies of mineral cycles at El Verde. In: Odum (ed): "A Tropical Rain Forest" pp H217-H219. U. S. Atomic Energy Comm., Washington, D. C.
- Luse, R. A. 1970. The phosphorus cycle in a tropical rainforest. In: Odum (ed): "A Tropical Rain Forest." pp. H161-H166. U. S. Atomic Energy Comm. Washington, D. C.
- McGinnis, J. T. and Golley, F. B. 1967. Bioenvironmental and radiological safety feasibility studies. Atlantic-Pacific Interocean Canal. Phase I. Final Report - Terrestrial Ecology. Batelle Memorial Institute, Columbus, Ohio.
- Nye, P. H. 1958. The relative importance of fallows and soils in storing plant nutrients in Ghana. *J. West. Afr. Sci. Assoc.* 4:31-49.
- Nye, P. H. 1961. Organic and nutrient cycles under a moist tropical forest. *Plant & Soil* 13:333-346.
- Nye, P. H. and Bertheux, M. H. 1957. The distribution of phosphorus in forest and savanna soils of the Gold Coast and its agricultural significance. *J. Agr. Sci.* 49:141-149.
- Nye, P. H. and Foster, W. N. M. 1961. The relative uptake of phosphorus by crops and natural fallow from different parts of their root zone. *J. Agr. Sci.* 56:299-306.
- Odum, H. T. 1970. Summary, an emergent view of the ecological system at El Verde. In: Odum (ed) "A tropical Rain Forest." pp. 1191-1281. U. S. Atomic Energy Comm. Washington, D. C.
- Ovington, J. D. and Olson, J. S. 1970. Biomass and chemical content of El Verde lower montane rain forest plants. In: Odum (ed) A Tropical Rain Forest pp. H53-H75. U. S. Atomic Energy Comm. Washington, D. C.
- Russell, E. J. 1950. Soil conditions and plant growth. Longmans, London. 635 pp.
- Snedaker, S. C. 1970. Ecological studies on tropical moist forest succession in eastern lowland Guatemala. Ph.D. Thesis, University of Florida, Gainesville.
- Sollins, P. and Drewry, G. 1970. Electrical conductivity and flow rates of water through the forest canopy. In: Odum (ed): "A Tropical Rain Forest", pp. H135-H154. U. S. Atomic Energy Comm. Washington, D. C.
- Suárez de Castro, F. y Rodríguez, A. 1955. Equilibrio de materia orgánica en plantaciones de café. *Fed. Nac. Cafeteros Bol. Tec.* 15.
- Tergas, L. E. and Popenoe, H. L. 1971. Young secondary vegetation and soil interactions in Izabal, Guatemala. *Plant & Soil* 34:675-690.
- Weigert, R. G. 1970. Effects of ionizing radiation on leaf fall, decomposition and litter microarthropods on a montane rain forest. In: Odum (ed): "A Tropical Rain Forest", pp. H89-H100. U. S. Atomic Energy Comm., Washington, D. C.

Weigert, R. G. and Murphy, P. 1970. Effect of season, species and location on the disappearance rate of leaf litter in a Puerto Rican rain forest. In: Odum (ed): "A Tropical Rain Forest", pp H101–H104. U.S. Atomic Energy Comm. Washington, D.C.

#### Cambios en las Propiedades del Suelo

ASRCT. 1968. Semiannual Report No. 2. Cooperative Research Programme No. 27. Applied Scientific Research Corporation of Thailand, Bangkok.

Budowski, G. 1956. Tropical savannas, a sequence of forest felling and repeated burnings. *Turrialba* 6(1–2):23–33.

Cowgill, U. M. 1967. An agricultural study of the Southern Maya lowlands. *Amer. Anthropologist* 64:273–286.

Cunningham, R. K. 1963. The effect of clearing a tropical forest soil. *J. Soil Sci.* 14:334–345.

Friese, F. W. 1934. Beobachtungen über den verbleib von Niederschlägen im Urwald und der Einfluss von Waldbestand auf den Wasserhaushalt der Umgebung. *Forest wissenschaftlicher Centralblatt* 56:231–245.

Friese, F. W. 1939. Untersuchungen über die Folgen der Brandwirtschaft aus tropischen Boden. *Tropenpflanzer* 42:1–22.

Frith, A. C. 1955. No man's land. *Emp. For. Rev.* 34:179–187.

Fowells, H. A. and Stephenson, R. E. 1934. Effect of burning of forest soils. *Soil Sci.* 38:175–181.

Jaiyebo, E. O. and Moore, A. W. 1963. Soil nitrogen accretion under different covers in a tropical rain forest environment. *Nature* 197:317–318.

Laudelot, H. 1954. Investigation on the mineral element supply by forest–fallow burning. *Proc. Second Inter. African Soils Conf.* 1:383–388.

Lafont, P. O. 1959. Slash and burn (ray) agriculture systems in mountain populations of Central Vietnam. *Proc. 9th Pacific Sci. Congress* 7:56–59.

Leith, H., Blume, H. P., Zinnecker, E. *et al.* 1970. Ecological investigations in the Matto Grosso. II. *Simposion de la Biología Tropical Amazónica* pp 473–482 Bogotá.

Miekeley, J. 1955. Effect of bush burning on the microflora of a Kenya upland soil. *J. Soil Sci.* 6:111–118.

Miekeley, J. 1962. Microbiology of the nitrogen cycle in some Ghana soil. *Emp. J. Exptal. Agr.* 30:115–126.

- Nye, P. H. 1961. Organic and nutrient cycles under a moist tropical forest. *Plant & Soil* 13:333–346.
- Nye, P. H. and Bertheux, M. H. 1957. The distribution of phosphorus in forests and savanna soils of the Gold Coast and its agricultural significance. *J. Agr. Sci.* 49:141–149.
- Nye, P. H. and Greenland, D. J. 1964. Changes in the soil after clearing a tropical forest. *Plant & Soil* 21:101–112.
- Popenoe, H. L. 1957. The influence of the shifting cultivation cycle on soil properties in Central America. *Proc. 9th Pacific Science Congress (Bangkok)* 7:72–77.
- Popenoe, H. L. Unpublished data. University of Florida, Gainesville.
- Scott, V. H. and Burgy, R. H. 1956. Effects of heat and brush burning on the physical properties of certain upland soils that influence infiltration. *Soil Sci.* 82:67–70.
- Steggerda, M. 1941. *Maya Indians of Yucatan*. Carnegie Inst. Wash. Publ. pp. 531.
- Suárez de Castro, F. 1957. Las quemadas como práctica agrícola y sus efectos. *Fed. Nac. Cafetaleros Colombia. Bol. Tec.* 2.
- Tergas, L. E. and Popenoe, H. L. 1971. Young secondary vegetation and soil interactions in Izabal, Guatemala. *Plant & Soil* 34:675–690.
- Urrutia, V. M. 1967. Corn production and soil fertility changes under shifting cultivation in Uxantún, Guatemala. M. S. Thesis, University of Florida, Gainesville. 101 pp.
- Watters, R. F. and Bascones, L. 1971. The influence of shifting cultivation on soil properties at Altamira – Calderas, Venezuelan Andes. *FAO Forestry Development Paper* 17:291–299.
- Zinke, P. J., Sabhasri, S. and Kundstadler, P. 1970. Soil fertility aspects of Lua forest fallow system of shifting cultivation. Unpublished paper, Univ. of California, School of Forestry and Conservation, Berkeley.

#### **Los Cultivos Bajo la Agricultura Migratoria**

- Abastos G., M. 1971. Inventario y evaluación de la concesión Tournavista, Pucallpa. *LeTorneau del Peru, S. A. Apartado 91, Lima, Peru* 76 pp.
- Agboola, A. A., and Fayemi, A. A. 1971. Preliminary trials on the intercropping of maize with different tropical legumes in Western Nigeria. *J. Agr. Sci.* 77(2):219–225.
- Baldanzi, G. 1960. Burning and soil fertility. *Trans. 7th Int. Congr. Soil Sci. Madison, Wisc.* 2:523–530.

- Beeson, K. C., Goytendía, A. and Gomez, G. G. 1972. Selection of soils for pastures using common chemical measures. *Agron. J.* 64(1):58–59.
- 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.
- Briggs, G. W. G. 1938. Maintenance of soil fertility. 3rd West African Agricultural Conference 1:1–8.
- Crist, R. E. 1943. Cattle ranching in the tropical rain forest. *Scientific Monthly* 56:521–527.
- Cooké, C. W. 1931. Why the Mayan cities of the Petén district, Guatemala were abandoned. *J. Wash. Acad. Sci.* 21:283–287.
- Cordero, A. 1964. The effect of land clearing on soil fertility in the tropical region of Santa Cruz, Bolivia. M. S. Thesis, Univ. of Florida, Gainesville. 102 pp.
- Cowgill, U. M. 1960. Soil fertility, population, and the ancient Maya. *Proc. Nat. Acad. Sci.* 46(8):1009–1011.
- Cowgill, U. M. 1962. An agricultural study of the Southern Maya lowlands. *Amer. Anthropologist* 64:273–286.
- Culot, J. P. H. and Meyer, J. 1959. Possibilities of continuous subsistence cropping in equatorial conditions. 3rd Inter Afr. Soils Conf., Dalaba. Paper No. 52.
- Djokoto, R. K. and Stephens, D. 1961. Thirty long term fertilizer experiments under continuous cropping in Ghana I & II. *Emp. J. Expt. Agr.* 29:181–196, 245–258.
- Doyme, H. C., Hartley, K. T. and Watson, W. A. 1938. Soil types and manurial experiments in Nigeria. 3rd West African Agric. Conf. 227–298.
- Emerson, R. A. 1953. A preliminary survey of the milpa system of maize culture as practiced by the Maya Indians of the northern part of the Yucatan Peninsula. *Ann. Missouri Botanical Garden* 40(1):51–62.
- Cutting, C. V. Wood, R. A., Brown, P. *et al.* 1959. Assessment of fertility status and the maintenance of productivity of soils in Nyasaland. 3rd Inter. African Soils Conf. 69.
- Evans, A. C. 1960. Studies of intercropping. I. Maize or sorghum with groundnuts. *E. Afr. Agr. Forestry J.* 26(1):1–10.
- Grant, P. M. 1970. Restoration of productivity of depleted sands. *Rhodesia Agr. J.* 67(5):131–137.
- Haney, E. B. 1968. The nature of shifting cultivation in Latin America. Paper LTC 45, University of Wisconsin Land Tenure Center, Madison.

- Heathcote, R. G. 1970. Soil fertility under continuous cultivation in northern Nigeria. I. The role of organic manures. *Exp. Agri.* 6(3):229–237.
- Heathcote, R. G. and Stockinger, K. R. 1970. Soil fertility under continuous cultivation in northern Nigeria. II. Responses to fertilizers in the absence of organic manures. *Exp. Agri.* 6(4):345–350.
- Jaiyebo, E. O. and Moore, A. W. 1964. Soil fertility and nutrient storage in different soil–vegetation systems in a tropical rain forest environment. *Trop. Agr. (Trinidad)* 41(2):129–139.
- Jurion, F. and Henry, J. 1969. Can primitive farming be modernized? INEAC Serie HORS 1969. Brussels pp. 455.
- Kawano, K., Sánchez, P. A., Nureña, M. A. and J. Velez. 1972. Upland rice in the Peruvian Jungle. In: *Rice Breeding*. International Rice Research Institute. Philippines. pp. 637–643.
- Keen, B. A. and Duthie, D. W. 1953. Crop responses to fertilizers and manures in East Africa. *East Afr. Agric. J.* 19:19–28.
- Lawes, D. A. 1961. Rainfall conservation & yield of cotton in northern Nigeria. *Emp. J. Exp. Agr.* 29:307–318.
- Lewin, C. J. 1931. The maintenance of soil fertility in southern Nigeria. 3rd Spec. Bulletin of the Agri. Dept. Lagos, Nigeria pp. 43.
- Martin, W. W. and Biggs, C. E. J. 1937. Experiments on the maintenance of soil fertility in Uganda. *East. African Agric. J.* 2(5):371–378.
- Newton, K. 1960. Shifting cultivation and crop rotation in the tropics. *Papua & New Guinea Agr. J.* 13(3):81–118.
- Nureña, M. A. 1971. Sistemas de siembra y distanciamientos óptimos para arroz de secano en la Selva Baja del Perú. *Progr. Nac. Arroz (Perú) Inf. Tec.* 58, Lambayeque, Perú.
- Nureña, M. A. y Sánchez, P. A. 1970. Cultivo continuo de arroz secano en la Selva Baja del Perú. *Progr. Nac. Arroz (Perú) Inf. Tec.* 25, Lambayeque, Perú.
- Nye, P. H. and Greenland, D. J. 1960. The soil under shifting cultivation. *Comm. Bur. Soil Tech. Comun* 51, Harpenden.
- Nye, P. H. and Greenland, D. J. 1964. Changes in the soil after clearing tropical forest. *Plant & Soil* 21:101–112.
- Nye, P. H. 1966. African experience of the use of fertilizers in the production of basic food crops. *Soil Crop Sci. Soc. Florida* 26:306–313.
- Pendleton, F. R. 1954. The place of tropical soils in feeding the world. *Ceiba* 4:201–222.

- Perry, J. P., Jr., Bautista, N. y Tabaj, S. 1958–59. Costos de desmonte en los trópicos secos mexicanos. *Agr. Técnica* (México) 7:24–27.
- Popenoe, H. 1957. The influence of the shifting cultivation cycle on soil properties in Central America. *Proc. 9th Pacific Sci. Congress* (Bangkok) 7:72–77.
- Sánchez, P. A. y Delgado, A. 1969. Propiedades de los suelos en relación al cultivo del arroz en condiciones peruanas. En: *Curso de Capacitación Sobre el Cultivo del Arroz*. pp. 217–274. *Prog. Nac. de Arroz, Lambayeque, Perú*.
- Sánchez, P. A. and Nureña, M. A. 1972. Upland rice improvement under shifting cultivation systems in the Amazon Basin of Peru. *N. C. Agr. Exp. Sta. Tech. Bull.* 210.
- Stephens, D. 1960. Some fertilizer trials with phosphorus, nitrogen and sulphur in Ghana. *Emp. J. Expt. Agric.* 28:154–164.
- Stephens, D. 1960. Three rotation experiments with grass fallows and fertilizers. *Emp. J. Expt. Agric.* 28:165–178.
- Stephens, D. 1969. The effects of fertilizers, manure and trace elements in continuous cropping rotations in Southern and Western Uganda. *E. Afr. Agr. Forestry J.* 34(4):401–417.
- Suárez de Castro, F. 1957. Las quemas como práctica agrícola y sus efectos. *Fed. Nac. Cafetaleros de Colombia Boletín Técnico* 2.
- Urrutia, V. M. 1967. Corn production and soil fertility changes under shifting cultivation in Uaxatún, Guatemala. M.S. Thesis. Univ. of Florida, Gainesville 101 pp.
- Vine, H. 1953. Experiments on the maintenance of soil fertility at Ibadan, Nigeria. 1922–1951. *Emp. J. Expt. Agric.* 21:65–85.
- Vine, H. 1954. Is the lack of fertility of tropical African soils exaggerated? *Proc. 2nd Inter.African Soils Conf. (Leopoldville)* 2:389–412.
- Vine, H. 1968. Developments in the study of soils and shifting agriculture in tropical Africa. In: Moss (ed): *The Soil Resources of Tropical Africa* pp. 89–119, Cambridge University Press.
- Watters, R. F. 1971. Shifting cultivation in Latin America. *FAO Forestry Development Paper* 17.
- Wood, R. C. 1934. Rotations in the tropics. *Trop. Agr. (Trinidad)* 11(2):44–46.

## CAPITULO 4

### NITROGENO DEL SUELO EN LOS TROPICOS

*W. V. Bartholomew*

Profesor de Suelos, Universidad Estatal de Carolina del Norte

Las investigaciones sobre nitrógeno del suelo y sus transformaciones en los trópicos han sido bastante escasas. En algunas áreas específicas se han realizado esfuerzos de investigación bastante buenos en ambientes tropicales mientras que en otras hay poca o ninguna información. La agricultura tropical parece que tiene que depender sustancialmente de investigaciones realizadas en zonas templadas para la información fundamental del nitrógeno del suelo. Esta extrapolación de información parece, en la mayoría de los casos, ser tanto razonable como apropiada.

Sin embargo, hay algunos procesos de transformación de nitrógeno del suelo y materia orgánica en los trópicos así como también algunos patrones de movimiento de nitrógeno del suelo y absorción por cultivos que son diferentes a los comúnmente observados en las regiones templadas. Estas diferencias resultan en su mayor parte de diferencias en el clima y no de ninguna diferencia en los procesos biológicos fundamentales. De hecho, los principios fundamentales deben aplicarse en todas y cada una de las situaciones cuando se consideran los factores ambientales.

En las regiones templadas el ciclo anual de crecimiento de la vegetación se restringe anualmente por las temperaturas bajas. Una variedad de regímenes de lluvia se encuentran en combinación con las estaciones frías. Sin embargo, durante las épocas de cultivo, las tasas de evapotranspiración generalmente exceden las tasas de precipitación. Además, en la mayoría de las regiones templadas, la época de cultivo comienza con un alto suministro de agua disponible en el suelo.

En todas las regiones tropicales, excepto las más húmedas, el crecimiento de las plantas puede ser limitado una o más veces durante el año por sequías. En las estaciones de alta precipitación, el exceso de agua puede penetrar rápidamente y llevar consigo muchos elementos nutritivos de las plantas. Al final de cada estación lluviosa, y durante el

comienzo de la estación seca, la vegetación agota todo o casi todo el agua disponible dentro del alcance de sus raíces. En consecuencia, la siguiente estación de cultivo comienza sin ninguna reserva de agua para el crecimiento de la nueva siembra.

Las diferencias básicas en precipitación y regímenes de temperatura entre los climas templados y tropicales requieren innovaciones importantes en la transferencia de tecnología de los sistemas de agricultura templada a los de la agricultura tropical. Algunas áreas técnicas relativas al nitrógeno han sido examinadas con bastante detalle. Sin embargo, la búsqueda de literatura no ha sido exhaustiva debido a la magnitud de la tarea. La literatura examinada nos ha llevado a generalizaciones que se mencionan a continuación. Las referencias consultadas se agrupan en categorías de materias en las secciones de la literatura revisada.

#### 4.1 MATERIA ORGÁNICA DEL SUELO Y NITROGENO ORGANICO

Las cantidades de materia orgánica y nitrógeno orgánico en los suelos tropicales han sido evaluadas en varios casos y se han relatado en diversas publicaciones. Un estudio de los resultados indica que los mismos principios de la acumulación y pérdida de nitrógeno orgánico del suelo se aplican tanto a las regiones tropicales como a las templadas, cuando se considera debidamente las diferencias climáticas.

En general, las cantidades de nitrógeno orgánico en los suelos tropicales son bajas. Hay algunas excepciones dignas de notarse, por ejemplo los suelos de ceniza volcánica, algunos suelos del altiplano, y algunos suelos de selvas tropicales húmedas. Muchos de los suelos del trópico se han cultivado durante largos períodos; el nitrógeno orgánico acumulado bajo condiciones vírgenes ha desaparecido; la materia orgánica se ha acercado al equilibrio bajo el manejo corriente; y las cantidades netas de nitrógeno orgánico, suministradas a los cultivos, han llegado casi a cero. Si no se han usado fertilizantes nitrogenados, los rendimientos de los cultivos en estos suelos reflejan precisamente las cantidades de nitrógeno provenientes de las lluvias y los procesos de fijación de nitrógeno del aire.

Por otro lado, aún existen grandes áreas de tierras en las regiones tropicales que no han sido desmontadas y cultivadas. En la actualidad el desmonte y cultivo de algunas de estas zonas se está realizando y se

espera que continuarán por algún tiempo. Las regiones interiores del Brasil son algunos ejemplos. Después del desmonte y cultivo, se espera que los suelos suministren cantidades sustanciales de nitrógeno a los cultivos establecidos en ellos. Las cantidades suministradas, las tasas de declinación anticipada en el nitrógeno orgánico del suelo, y la intensidad de cultivos cuando se establezca el equilibrio esencialmente, son factores importantes de los que hay muy poca información en la literatura. Además, la experiencia en las regiones templadas pueda no ser de gran ayuda en la evaluación de tasas de cambios de materia orgánica en las zonas tropicales.

Se han realizado algunos estudios sobre tasas de mineralización de nitrógeno orgánico, pero ya que la mayoría son experimentos de laboratorio o de invernadero, la extrapolación a situaciones del campo presenta muchas dificultades.

#### 4.2 MINERALIZACION DEL NITROGENO ORGANICO

Algunos factores peculiares de los trópicos influyen en el curso de la mineralización del nitrógeno orgánico del suelo. Quizás el factor primario es la temperatura de los suelos. La ausencia de una estación fría permite que la mineralización proceda durante todo el año excepto cuando la humedad es un factor limitante. Las tasas anuales de mineralización, por lo tanto, deben ser mayores (Jenny, 1949).

Un segundo factor es la estación seca prevaleciente en la mayoría de las áreas tropicales. La desecación del suelo seguida por mojadura, tiende a causar un aumento de actividad microbiológica y de mineralización del nitrógeno (Birch, 1958; Soils and Fertilizers, 1948; Semb y Robinson 1969). Este impulso de mineralización y por lo tanto de nitrógeno disponible al comienzo de la estación lluviosa es un factor importante en el manejo de la utilización de nitrógeno en muchas áreas de los trópicos.

Un tercer factor es la reacción de mineralización en suelos de ceniza volcánica. Estos suelos tienden a ser altos en nitrógeno orgánico (Kobo, 1964) pero también tienen la tendencia de suministrar nitrógeno lentamente aún cuando son altos en materia orgánica. La materia orgánica tiende a ser bastante estable (Fox 1969).

Theron (1951) informa que las plantas tienen una influencia en la mineralización del nitrógeno orgánico en el suelo. También sugiere que las gramíneas pueden influir en la nitrificación. Sin embargo, estos fenómenos son contenciosos y requieren mayor investigación.

#### 4.3 NITROGENO EN LA LLUVIA Y EN EL POLVO

El nitrógeno incorporado al suelo por medio de la lluvia es considerado aquí, porque en muchos lugares de baja producción en los trópicos esta fuente puede suministrar una parte importante del nitrógeno para la producción de cultivos.

Las magnitudes generales del nitrógeno que llegan al suelo provenientes de esta fuente tienen un alcance de uno a más de 50 kg/ha/año. El promedio es de 6 a 8 kg/ha/año.

Es interesante notar que las mayores cantidades reportadas de lluvia han provenido de estudios realizados en áreas tropicales (Jones y Bromfield, 1970; Thornton, 1965; Gore, 1968).

#### 4.4 FIJACION DE NITROGENO SIMBIOTICO

Una evaluación de la literatura indica que la fijación simbiótica del nitrógeno en las regiones tropicales es básicamente igual a la de las regiones templadas. Las diferencias principales dependen del espectro de las plantas huéspedes, los regímenes prevalecientes del clima y las condiciones de suelo predominantes.

Gran parte de la investigación sobre fijación simbiótica del nitrógeno en ambientes tropicales ha sido realizada en Australia en relación a problemas de pastoreo.

La fijación simbiótica de nitrógeno contribuye la gran proporción de nitrógeno para el crecimiento de plantas en áreas tropicales. Sin embargo, la mayoría del nitrógeno así suministrado proviene de regiones forestales, áreas de sabanas y potreros y sólo una pequeña proporción proviene de cultivos anuales.

La literatura examinada cubre un amplio espectro de tópicos relacionados a la fijación simbiótica de nitrógeno. Estos incluyen: plantas huéspedes tropicales; micro—organismos simbióticos;

bioquímica de fijación de nitrógeno; procedimientos de inoculación y evaluaciones de nodulaciones; metodología para evaluar los procesos de fijación; influencia de leguminosas y otras plantas huéspedes en las plantas asociadas; y factores del suelo y del clima que influyen en el crecimiento de las plantas huéspedes y la fijación de nitrógeno.

Una evaluación del estatus de progreso en el campo de fijación simbiótica del nitrógeno sugiere que el problema de cultivos de leguminosas en la producción de pastos puede ser de primordial importancia en la agricultura tropical y semitropical. Algunos problemas persistentes que requieren mayor atención tienen que ver con la inoculación y nodulación de leguminosas recientemente introducidas a una región y el manejo y fertilización de cultivos leguminosos y de otras plantas huéspedes.

#### 4.5 FIJACION ASIMBIOTICA DE NITROGENO

Existe una gran colección de literatura relacionada a la fijación asimbiótica del nitrógeno (fijación por micro-organismos que viven libremente). Algunos aspectos de la materia han sido cubiertos extensamente por publicaciones de revisión (Burris, 1969; Jensen, 1940; 1954; 1965; Stewart 1969; Verdade 1969).

Las siguientes generalizaciones proveen de dichos resúmenes:

1. La capacidad de fijación de nitrógeno es bastante amplia en organismos que viven libremente. Ocurre tanto en organismos autotróficos como heterotróficos. Los métodos actuales de detección han demostrado una distribución mucho más amplia de lo que se consideraba posible hace algunos años.
2. Los organismos con capacidad de fijación de nitrógeno se distribuyen en todos los suelos superficiales del mundo donde es posible el crecimiento de plantas (Jensen, 1965; Stewart 1969).
3. Los mecanismos biológicos y procesos de control de la fijación asimbiótica de nitrógeno son muy similares a los procesos de fijación simbiótica. La información bioquímica sugiere procesos enzimáticos similares (Burris, 1969).

4. Los procesos de fijación están íntimamente relacionados a y controlados por la fisiología del organismo. Jensen (1940) declara que "el proceso está ligado al crecimiento, i.e., es realizado únicamente por células en un estado de multiplicación y por lo tanto está correlacionado con una síntesis de nuevo material celular . . ."
5. Los organismos que tienen esta capacidad pueden absorber y usar nitrógeno combinado. De hecho, la preponderancia de evidencia indica que la presencia aún de pequeñas cantidades de nitrógeno combinado en el medio de crecimiento, inhibirá en gran parte, si no completamente, la fijación. No hay acuerdo general respecto a la concentración crítica de nitrógeno combinado para inhibir la fijación, pero es suficientemente bajo para llevar a la frecuente conclusión de que este modo de fijación es muy bajo en las situaciones normales agrícolas del suelo.
6. Los estimados de fijación no simbiótica en suelos promedios tienen un alcance de 1 ó 2 kg/ha/año hasta 20 a 40. El consenso general es que las estimaciones son de 2 a 10 kg/ha/año.
7. Casi todas las investigaciones sobre fijación por organismos de vida libre se han realizado en el laboratorio o en invernaderos. Las pocas estimaciones de la magnitud del proceso de estudios de campo están sujetas a grandes errores de extrapolación.
8. Bajo condiciones ideales donde el medio ambiente ha sido optimizado y las fuentes de energía (luz y carbohidrato) abundantes, las tasas de fijación son muy altas. Esto se ha demostrado en laboratorios, invernaderos y bajo condiciones de campo.
9. La importancia de este proceso para la agricultura es dudosa. En condiciones de baja productividad donde el nitrógeno en el suelo es persistentemente bajo y donde una cantidad razonable de energía en forma de carbohidratos se devuelve al suelo, de 4 a 8 kg/ha/año es un estimado razonable de la magnitud de la fijación asimbiótica. Cuando se cultiva arroz inundado, las algas pueden hacer una contribución similar o mayor al incremento anual de nitrógeno añadido al suelo. En situaciones donde altos rendimientos de cultivos son consistentes, el nitrógeno disponible en el suelo sería suficiente como para inhibir la fijación de nitrógeno atmosférico.

10. En situaciones no agrícolas o en muchas áreas de pastoreo, la fijación asimbiótica de nitrógeno puede proveer de 2 a 10 kg/ha/año según el área y las circunstancias del medio ambiente. Es bastante probable que este proceso pueda ser importante sobre una gran extensión de la superficie de la tierra y puede hacer una contribución importante al suministro total del nitrógeno fijo o combinado. El uso agrícola de este nitrógeno resultaría principalmente del pastoreo de animales y/o de la transferencia de nitrógeno por animales, polvo llevado por el viento, o por rutas volátiles a otras regiones agrícolas.

#### 4.6 NITRIFICACION E HIDROLISIS DE LA UREA

Una evaluación de la experiencia con reacciones de nitrificación y con las transformaciones de urea en suelos de los trópicos no indica diferencias esenciales de las obtenidas en suelos de las regiones templadas. Mucho de este trabajo en áreas tropicales se ha realizado en suelos de arroz inundado.

#### 4.7 MOVIMIENTO DE NITROGENO EN EL SUELO Y PROCESOS DE PERDIDAS

La información proveniente de áreas tropicales relativa al movimiento de nitrógeno en el suelo, es escasa. La mayoría de los investigadores han asumido la existencia de lixiviación extensa durante la estación lluviosa en los trópicos. Se encontraron medidas reales únicamente en estudios lisimétricos.

Fluctuaciones en el contenido de nitratos en el suelo han sido notadas en algunas ocasiones en las regiones tropicales. Estas fluctuaciones generalmente están relacionadas con el advenimiento de la estación seca o el comienzo de la estación lluviosa. El alcance del movimiento vertical neto de nitrógeno bajo precipitación específica, condiciones de cultivos y suelos, aún queda por determinarse. Esto incluiría el desplazamiento hacia abajo durante la estación lluviosa y el desplazamiento hacia arriba durante el curso de la estación seca.

En la revisión de la literatura no se encontró una medida directa de los procesos de pérdidas volátiles excepto en las zonas templadas y en Australia. En general, en las zonas templadas, estas pérdidas han sido constantes pero no grandes, excepto bajo situaciones anormales del

medio ambiente. Ya que todavía no hemos desarrollado técnicas de manejo para evitar tales pérdidas, no es probable que las investigaciones en esta área puedan tener un impacto mayor en las prácticas del uso de nitrógeno.

#### 4.8 MICROORGANISMOS Y ACTIVIDAD MICROBIAL

Se han encontrado numerosas publicaciones sobre las clases, número y actividades de microorganismos en los suelos del trópico. Se enumeran sólo unas pocas. Tiende a mostrar una distribución bastante universal de organismos comunes del suelo y los números y actividades son muy similares a los encontrados en las zonas templadas.

#### 4.9 CONCLUSIONES

El nitrógeno es el elemento que tiene la mayor probabilidad de limitar el crecimiento de cultivos en regiones tropicales. Las necesidades de nitrógeno en estas regiones eventualmente serán subsanadas ya sea por procesos naturales de suministro o por medio de la fertilización. Los procesos naturales de suministro tienen muchas limitaciones inherentes y es poco probable que cualquier proceso, con la posible excepción de la fijación biológica, pueda ser mejorado lo suficiente para que valga la pena iniciar estas investigaciones sobre este aspecto.

Las necesidades de investigaciones se encuentran en el área de mejorar la eficiencia del uso por las plantas cultivadas del así llamado nitrógeno disponible en el suelo. Los estimados generales colocan la utilización por cultivos en aproximadamente el 50 por ciento del nitrógeno soluble en el suelo. El resto escapa la absorción por la planta ya sea por procesos de pérdidas o porque la planta no absorbe el nitrógeno por la posición de su zona radicular, o por situaciones de humedad desfavorable. Una mejor comprensión de los procesos de pérdidas en los ambientes tropicales y de los procesos de absorción de las plantas de las zonas radicales de suelos tropicales parece ser la mejor solución para mejorar la producción de cultivos y el aprovechamiento de los recursos de nitrógeno. Algunos aspectos del problema de nitrógeno que requieren atención en ambientes tropicales se detallan a continuación.

### **Posición del nitrógeno en la zona radicular**

En las regiones templadas ha sido demostrado que la posición del nitrógeno en la zona radicular de las plantas cultivadas tiene una influencia importante en la tasa de absorción de nitrógeno. Hay pocos datos disponibles sobre los trópicos, pero es de esperar que las influencias serían similares. Ya que el patrón de movimiento vertical en los suelos de los trópicos puede ser bastante diferente a los comúnmente encontrados en las zonas templadas, la transferencia directa de técnicas de manejo de suelos de zonas templadas a zonas tropicales puede ser peligrosa. El impacto de la posición vertical así como de la posición lateral del nitrógeno en las tasas de absorción por cultivos debe conocerse para los principales suelos y cultivos tropicales.

### **La influencia del agua en la absorción de nitrógeno por cultivos**

Es bien conocido el hecho de que el agua tiene una influencia profunda en la absorción de nitrógeno por la planta así como en la absorción de otros elementos nutritivos. Como una guía en el manejo de nitrógeno en regiones tropicales, sería importante determinar el estado físico del agua en varias profundidades en suelos tropicales, durante las temporadas lluviosas y secas y conocer también la profundidad a la cual los cultivos usan el agua.

### **Uso de nitrógeno por los cultivos**

El uso real del nitrógeno por los cultivos a niveles variables de rendimiento se conoce en varios cereales (maíz, trigo, y arroz) y en varios cultivos comerciales, tales como la caña de azúcar, piña, y bananos. Para los cereales la información proviene casi en su totalidad de investigaciones realizadas en zonas templadas.

Las cantidades de nitrógeno realmente absorbidas y aprovechadas por los cultivos en las regiones tropicales deben conocerse como una guía para planear las prácticas de fertilización. Esta información constituye la norma por medio de la cual se puede evaluar la eficiencia de los fertilizantes. Para la mayoría de los cultivos el aprovechamiento de nitrógeno es constante y predecible y varía según el rendimiento del cultivo.

#### 4.10 BIBLIOGRAFIA

##### Materia Orgánica y Nitrógeno del Suelo

- Beirnaert, A. 1941. La technique culturale sous l'Equateur. Influence de la culture sur les réserves en humus et en azote des terres équatoriales. INEAC Ser. Tech. No. 26. Bruxelles 86 pp.
- Birch, H. F. and Friend, M. T. 1956. The organic matter and nitrogen status of East African soils. *J. Soil Sci.* 7:156–167.
- Bremner, J. M. 1954. A review of recent work on soil organic matter. *J. Soil Sci.* 5:214–232.
- Commonwealth Agricultural Bureaux. 1962. A review of nitrogen in the tropics with particular reference to pastures. A symposium. A Committee of the Division of Tropical Pastures CSIRO, Australia (Ed.). Bull. 46. Commonwealth Bureau of Pastures and Field Crops, Hurley, Berkshire, England, 185 p.
- Endredy, A. S. de. 1954. The organic matter content of Gold Coast soils. *Trans. 5th Int. Congr. Soil Sci.* 2:457–463.
- Gomez, L. J. A., Zorrilla, D. F., and Flor, C. A. 1969. Organic matter in maize growing soils in the Cauca valley. *Rev. Inst. Colomb. Agropecuar.* 4(1):3–10.
- Gomez, R. E., and Blue, W. G. 1968. Nitrogen status of two alluvial soils from the humid tropics of Costa Rica. *Soil Crop Sci. Soc. Fla. Proc.* 28:79–86.
- Greenland, D. J. and Nye, P. H. 1959. Increases in the carbon and nitrogen contents of tropical soils under natural fallows. *J. Soil Sci.* 9:284–299.
- Hagenzieker, F. 1957. Soil–nitrogen studies at Urambo, Tanganyika Territory, East Africa. *Plant and Soil* 9:97–113.
- Hardy, F. 1959. Relación carbono–nitrógeno en los suelos de cacao. *Turrialba* 9(1):4–11.
- Hesse, P. R. 1958. Sulphur and nitrogen changes in forest soils of East Africa. *Plant and Soil* 9:86–96.
- Jenny, H. 1950. Causes of the high nitrogen and organic matter content of certain tropical forest soils. *Soil Sci.* 69:63–69.
- Jenny, H., Bingham, F. and Padilla–Saravia, B. 1948. Nitrogen and organic matter contents of equatorial soils of Colombia, South America. *Soil Sci.* 66:173–186.
- Kobo, K. 1964. Properties of volcanic ash soils. *FAO World Soil Resource Rept.* 14:71–73.
- Laudelout, H., Germain, R. and Kesler, W. 1954. Preliminary results on the chemical dynamics of grass fallows and of pastures at Yangambi. *Trans. 5th Int. Congr. Soil Sci.* 2:312–321.

- Laudelout, H. et D'Hoore, J. 1949. Influence du milieu sur les matières humiques. INEAC. Sér. Sci. No. 44. Brussels. 32 pp.
- Miyake, M. 1964. Studies on nitrogen in Malayan padi soils in relation to the growth of the rice plant. Cyclostyled report, Div. of Agriculture, Ministry of Agriculture and Co-operatives, Kuala Lumpur.
- Robinson, J. B. D. 1968. Organic matter problems in tropical soils with reference to the use of radioisotopes. In: "Isotopes and Radiation in Soil Organic Matter Studies". Proc. Symp. IAEA/FAO, Vienna. 319--325.
- Satyanarayana, K. V. S., Swaminathan, D. and Viswa Nath, B. 1946. Carbon and nitrogen status of Indian soils and their profiles. Indian J. Agric. Sci. 16:316-327.
- Smith, R. M., Samuels, G. and Cernuda, C. F. 1951. Organic matter and nitrogen buildups in some Puerto Rico soil profiles. Soil Sci. 72:409-427.
- Theron, J. J. and Haylett, D. G. 1953. The regeneration of soil humus under a grass ley. Emp. J. Expt. Agric. 21:86-98.
- Yamane, I. 1958. Metabolism in muck paddy soil. 2. Determination of gases evolved from paddy field - estimation of decomposable organic matter. Soil and Plant Food (Japan) 4:25-31.

#### Mineralización del Nitrógeno Orgánico

- Birch, H. F. 1958. The effect of soil drying on humus decomposition and nitrogen availability. Plant and Soil 10:9-31.
- Blasco, M. and Cornfield, A. H. 1967. Mineral ammonium and nitrate nitrogen in soils of the Valle del Cauca with and without added  $\text{CaCO}_3$ , and the evolution of  $\text{CO}_2$ . Acta Agron. Palmira 17:55-61.
- Bornemisza, E., and Pineda, R. 1969. Amorphous minerals and nitrogen mineralization in volcanic ash soils. In: Panel on Volcanic Ash Soils in Latin America B: 7. Turrialba, Costa Rica.
- Broadbent, F. E., Jackman, R. H. and Nicoll, J. 1964. Mineralization of carbon and nitrogen in some New Zealand allophanic soils. Soil Sci. 98:118-128.
- Chater, M. and Gasser, J. K. R. 1970. Effects of green manuring, farmyard manure and straw on the organic matter of soil and of green manuring on available nitrogen. J. Soil Sci. 21:127-137.
- Cornforth, I. S., Davis, J. B. 1968. Nitrogen transformations in tropical soils. I. The mineralization of nitrogen-rich organic materials added to soil. Tropical Agriculture 45(3):211-221.
- De Datta, S. K. 1970. Slow-release nitrogen fertilizers for flooded rice. 2nd. Meeting on Rice Fertilization. Int. Rice Res. Inst. Manila, The Philippines.

- Dommergues, Y. 1960. La notion de coefficient de minéralisation du carbone dans les sols. *Agronomie Tropicale* 15:54–60.
- Dommergues, Y. 1960. Minéralisation de l'azote aux faibles humidités. 7th. Inter. Congr. of Soil Sci., Madison, Wisc. III 672–678.
- Fox, R. L. 1969. Fertilization of volcanic ash soils in Hawaii. Proc. Panel on Volcanic Ash Soils in Latin America. C.6.1–C.6.13.
- Gadet, R. Minéralisation de l'azote quelques sols tropicaux. Colloque sur la fertilité des sols tropicaux. Tananarive 19–25 Nov. 1967, 505–509.
- Henzell, E. F. and Norris, D. O. 1962. Processes by which nitrogen is added to the soil/plant system. In: CSIRO. A Review of Nitrogen in the Tropics with Particular Reference to Pastures. Commonwealth Bur. of Pastures and Field Crops. Bul. 46, Commonwealth Agric. Bur. Farnham Royal, Bucks, England.
- Jenny, H. 1949. Comparative study of decomposition rates of organic matter in temperate and tropical regions. *Soil Sci.* 68:419–432.
- Kobo, K. 1964. Properties of volcanic ash soils. *FAO World Soil Resources Rept.* 14:71–73.
- Lebedjantzev, A. N. 1924. Drying of soil as one of the natural factors in maintaining soil fertility. *Soil Sci.* 18:419.
- Leutenegger, F. 1956. Changes in the ammonia and nitrate contents of a tropical red loam, as influenced by manuring and mulching during a period of one year. *East Afr. Agric. J.* 22:81–87.
- Mills, W. R. 1953. Nitrate accumulation in Uganda soils. *East Afr. Agric. J.* 19:53–54.
- Nye, P. H. 1950. The relation between nitrogen responses and carbon–nitrogen ratio in soils of Gold Coast savannah areas. *Trans. 4th. Int. Congr. Soil Sci.* 1:246–249.
- Saunders, D. H., Ellis, B. S. and Hali, A. 1957. Estimation of available nitrogen for advisory purposes in Southern Rhodesia. *J. Soil Sci.* 8:301–312.
- Semb, G. and Robinson, J. B. D. 1969. The natural nitrogen flush in different arable soils and climates of East Africa. *E. Afr. Agric. For. J.* 34:350–370.
- Soils and Fertilizers. 1948. Partial sterilization. *Soils and Fert.* 11:357–360.
- Theron, J. J. 1951. The influence of plants on the mineralization of nitrogen and the maintenance of organic matter in the soil. *J. Agric. Sci.* 41:289–296.
- Nitrógeno en la Lluvia y el Polvo**
- Allen, S. E., Carlyle, A., White, E. J., and Evans, C. C. 1968. The plant nutrient content of rain water. *Jour. Ecol.* 56:497–504.

- Gore, A. J. P. 1968. The supply of six elements by rain to an upland peat area. *Jour. Ecol.* 56:483–495.
- Ingram, G. 1950. The mineral content of air and rain and its importance to agriculture. *Jour. Sci.* 40:55–61.
- Jones, E. 1960. Contributions of rain water to the nutrient economy of soil in northern Nigeria. *Nature* 188:432.
- Meyer, J. and Pampfer, E. 1959. Nitrogen content of rain water collected in the humid central Congo basin. *Nature* 184:717–718.
- Miller, R. B. 1961. The chemical composition of rainwater at Tarta, New Zealand. 1956–1958. *N. Z. Jour. Sci.* 4:844–853.
- Thornton, I. 1965. Nutrient content of rainwater in Gambia. *Nature* 205:1025.
- Venema, K. C. 1961. Some notes regarding the nitrate and ammonia content of tropical rains and that of a number of tropical soils. *Inter Fertilizers Lmtd. Keizersgracht 241, Amsterdam, Holland* 1961, 4(2):1–39. In: *Agronomie Tropicale* 1961, XVI, 5:606–613.
- Visser, S. A. 1964. Origin of nitrate in tropical rainwater. *Nature* 201:35–36.
- Weinman, H. 1958. The nitrogen content of rainwater in Southern Rhodesia. *South African Jour. Sci.* 52:82–84.
- Wetselaar, R. and Hutton, J. T. 1963. The ionic composition of rainwater at Katherine, N. T. and its part in the cycling of plant nutrients. *Aust. Jour. Agric. Rs.* 14:319–329.
- Wilson, A. T. 1959. Surface of the ocean as a source of air-borne nitrogenous material and other plant nutrients. *Nature* 184:99–101.
- Wilson, A. T. 1959. Organic nitrogen in New Zealand fogs. *Nature* 183:318–319.

#### Fijación Simbiótica del Nitrógeno

- Anderson, A. J. 1956. Molybdenum and symbiotic nitrogen fixation. *Australian Counc. Sc. Ind. Research. Bul.* 198:7–24.
- Andrew, C. S., and Norris, D. O. 1961. Comparative responses to calcium of five tropical and four temperate pasture legume species. *Australian J. Agric. Res.* 12:40.
- Becking, J. H. 1965. Nitrogen fixation and mycorrhiza in *Podocarpus* root nodules. *Plant and Soil* 23:213–226.
- Bergersen, F. J., Kennedy, G. S., and Wittman, W. 1965. Nitrogen fixation in the coralloid roots of *Macrozamia communis* L. Johnson. *Austral. J. Biol. Sci.* 18:1135–1142.

- Bollen, W. B. and Lu, K. C. 1961. Microbial decomposition and nitrogen availability of reacted sawdust, bagasse, and coffee grounds. *J. Agr. Food. Chem.* 9(1):9–15.
- Bond, G., and Scott, G. D. 1955. An examination of some symbiotic systems for fixation of nitrogen. *Ann. Bot. (N.S.)* 19:67–77.
- Bonnier, Ch. 1960. Symbiose rhizobium légumineuses: aspects particuliers aux régions tropicales. *Annales Inst. Pasteur* 98:537–556.
- Bonnier, C. 1957. Symbiose rhizobium–légumineuses in région équatoriale. *INEAC, Sér. Sci. No. 72.* 68 pp.
- Brockwell, J. and Hely, F. W. 1961. Symbiotic characteristics of *Rhizobium meliloti* from the brown acid soils of the Macquarie region of New South Wales. *Aust. J. J. Agr. Res.* 12(4):630–43.
- Bryan, W. W. 1962. The role of the legume in legume/grass pastures, 147–160. In: CSIRO. A review of Nitrogen in the Tropics With Particular Reference to Pastures. *Bul. 46, Commonwealth Bur. of Past. and Field Crops, Commonwealth, Agr. Bur., Farnham, Royal, Bucks, England.*
- Burris, R. H. 1966. Biological nitrogen fixation. *Ann. Rev. Plant Phys.* 17:155–184.
- Burris, R. H. 1969. Progress in the biochemistry of nitrogen fixation. *Proc. Royal Soc. London B.* 172: 339–354.
- Calder, E. A. 1959. Nitrogen fixation in a Uganda swamp soil. *Nature* 184:746.
- Flocke, R. 1969. Effect of temperature and nitrogen on the growth nodulation and nitrogen fixation of lucerne (*Medicago sativa* L.) and red clover (*Trifolium pratense* L.). *Albrecht–Thaer–Arch.* 13:711–719.
- Freire, J. R., Goepfert, C. F., Vidor, C. 1969. Inoculation of legumes in Brazil. In: *Biology and Ecology of Nitrogen, Proc. of a Conference National Acad. of Sciences, Washington.*
- Gargantini, H., Wutke, A. C. 1960. Fixação de nitrogênio por bactérias associadas com feijão mucuna e ervilha de vaca. *Bragantia* 19:639–652.
- Hannon, N. 1949. The nitrogen economy of the Hawkesbury sandstone soils around Sydney. The role of the native legumes. Thesis, Univ. of Sydney, NSW.
- Hardy, R. W., Holst, R. D., Jackson, E. K. and Burris, R. H. 1968. Acetylene–ethylene assay for N<sub>2</sub> fixation: laboratory and field evaluation. *Plant Physiology*, 43:1185–1207.
- Hernández, C. C., Mamisao, J. P., and Posadas S. 1955. The value of legumes for green manure. *J. Soil Sci. Soc. Phillipp.* 7:71–77.

- Jones, G. H. G. 1942. The effect of leguminous cover crop in building up soil fertility. *E. Afr. Agric. J.* 8:48–52.
- Kauffman, J., Toussaint, P. and Boquel, G. 1952. Sur le pouvoir fixateur de l'azote atmosphérique des terres de régions tropicales. *Ann. Inst. Pasteur* 83:713–718.
- Lopes, E. S., Norris, D. De., and Weber, D. T. 1968. Estudo sobre a influencia de nitratos do solo e modo de inoculação das sementes na nodulação em alfalfa. *Bragantia* 27:239–249.
- Martinez, C. J., Torrie, J. H., and Allen, O. N. 1970. Correlation analysis of criteria of symbiotic nitrogen fixation by soybeans (*Glycine max* Merr.) *Zentralbl. Bakteriol. Parasitenk. Infekt. Hyg.* p. 212–216. Band 124.
- Norris, D. O. 1969. Observations on the nodulation status of rainforest leguminous species in Amazonia and Guyana. *Trop. Agr.* 46:145–151.
- Norris, D. O. 1964. Techniques used in work with *Rhizobium*. pp. 186–200. In: CSIRO. Some concepts and methods in subtropical pasture research. Commonwealth Bureau of Past. and Field Crops. Bul. 47. Commonwealth Agr. Bur. Farnham Royal, Bucks, England.
- Norris, D. W. 1962. The biology of nitrogen fixation, pp. 113–129. In: CSIRO. A review of Nitrogen in the Tropics with Special Reference to Pastures. Commonwealth Bureau of Pastures and Field Crops. Bul. 46 Commonwealth Agr. Bur., Farnham Royal, Bucks, England.
- Norris, D. O. 1956. Legumes and the *Rhizobium* symbiosis. *Emp. J. Exp. Agric.* 24:247–270.
- Orchard, E. R., and Darby, G. D. 1956. Fertility changes under continued wattle culture with special reference to nitrogen fixation and base status of the soil. *Trans. 6th. Int. Congr. Soil Sci. D.* 305–310.
- Petrović, V. 1968. Effect of mineral nitrogen on symbiotic nitrogen fixation in lucerne. I. The effect of fertilizing with calcium ammonium nitrate on nodule formation, yield, and nitrogen content in lucerne (*Medicago sativa* L.) in gajinjaca and parapodzol. *Zemlj. Biljka* 17:227–242.
- Porter, L. K. and Grable, A. R. 1969. Fixation of atmospheric nitrogen by nonlegumes in wet mountain meadows. *Agron. J.* 61:521–523.
- Rajagopalan, N. and Sadasivan, T. S. 1964. Some aspects of root nodulation in tropical legumes. *Current Sci.* 33(7):197–202.
- Richards, B. N. and Voight, G. K. 1964. Role of mycorrhiza in nitrogen fixation. *Nature* 201:310–311.
- Samuels, G. and Landrau, P. 1952. The effects of fertilizer applications on the yields and nodulation of tropical Kudzu. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.* 16:154–155.

- Silver, W. S. 1969. Biology and ecology of nitrogen fixation by symbiotic associations of non-leguminous plants. Proc. Royal Soc. London B. 172:389–400.
- Stevenson, G. 1959. Fixation of nitrogen by non-nodulated seed plants. Annals of Bot. New Series 23:622–633.
- Stewart, W. D. P., Fitzgerald, G. P. and Burris, R. H. 1967. *In situ* studies on N<sub>2</sub> fixation using the acetylene reduction technique. Proc. Nat. Acad. Sci. 58:2071–2078.
- Stewart, W. D. P. 1966. Nitrogen fixation in plants. Athlone Press, London, 168 pp.
- Wahhab, A. and Muhammad, T. 1954. The role of legumes in improving soil fertility. Pakistan J. Sci. Res: annex Pakistan J. Sci. 6, 1:37/44, 6, 2 p. 48/51, 52/54.
- Watson, G. A. 1957. Nitrogen fixation by *Centrosema pubescens*. J. Rubber Res. Inst. (Malaya): 15, 168–174.
- Wilson, P. W. 1969. First Steps in biological nitrogen fixation. Proc. Royal Soc. London B. 172:319–325.

#### Fijación Asimbiótica del Nitrógeno

- Allison, F. E., Gaddy, V. L., Pinck, L. A., and Armitage, M. W. 1947. *Azotobacter* inoculation of crops. II. Effect on crops under greenhouse conditions. Soil Sci. 64:489–497.
- Altson, R. A. 1936. Studies on *Azotobacter* in Malayan soils. J. Agric. Sci. 26:268–280.
- Becking, J. H. 1959. Nitrogen fixing bacteria of the genus *Beijerinckia* in South African Soils. Plant Soil 11:193–206.
- Brown, M. E., Jackson, R. M. and Burlingham, S. K. 1964. Studies on *Azotobacter* species in soil. III. Effects of artificial inoculation on crop yields. Plant and Soil 20:194–214.
- Burris, R. H. 1969. Progress in the biochemistry of nitrogen fixation. Proc. Royal Soc. London B. 172:339–354.
- Carneiro, A. M., and Dobereiner, J. 1968. Survival of non-symbiotic nitrogen-fixing bacteria in the rhizosphere of sorghum (*Sorghum vulgare* Pers.) Pesq. Agropec. Bras. 3:151–157.
- Clark, F. E. 1948. *Azotobacter* inoculation of crops. III. Recovery of *Azotobacter* from the rhizosphere. Soil Sci. 65:193–202.
- Conrad, J. P. and Vanoni, I. E. 1956. Simultaneous symbiotic and non-symbiotic nitrogen fixation. Proc. 6th. Int. Congr. Soil Sci. D:247–251.

- Cox, R. M., and Fay, P. 1969. Special aspects of nitrogen fixation by blue-green algae. *Proc. Royal Soc. London B.* 172:357–366.
- De, P. K. and Sulaiman, M. 1950. Fixation of nitrogen in rice soils by algae as influenced by crop, CO<sub>2</sub>, and inorganic substances. *Soil Sci.* 70:137–151.
- De, P. K., Mandal, L. N. 1956. Fixation of nitrogen by algae in rice soils. *Soil Sci.* 81:453–458.
- Delwiche, C. C. and Wijler, J. 1956. Non-symbiotic nitrogen fixation in soil. *Plant and Soil* 7:113–129.
- Derx, H. G. 1950. *Beijerinckia*, a new genus of nitrogen-fixing bacteria in tropical soils. *Proc. Koninkl. Nederland. Akad. Wet.* 53:140–147.
- Döbereiner, J. 1966. *Azotobacter paspali* sp. n., uma bacteria fixadora de nitrogênio na rizosfera de *Paspalum*. *Pesq. Agropec. Bras.* 1:357–365.
- Döbereiner, J., & Alvahydo, R. 1966. Eliminação da toxidez de Mn pela matéria orgânica em solo Gray Hydromorfo. *Pesq. Agropec. Bras.* 1:243–248.
- Döbereiner, J. 1968. Fixação não simbiótica de nitrogênio em solos tropicais. *Pesq. Agrop. Bras.* 3:1–6.
- Jensen, H. L. 1940. Contributions to the nitrogen economy of Australian wheat soils. *Proc. Linn. Soc. NSW.* 65:1–122.
- Jensen, H. L. 1954. The azobacteriaceae. *Bact. Rev.* 18:195–214.
- Jensen, H. L. 1965. Non-symbiotic nitrogen fixation. In: *Soil Nitrogen*. Agron. Mono. No. 10. Ed. W. V. Bartholomew and F. E. Clark. pp. 436–480.
- Kauffmann, J. et Toussaint, P. 1951. Un nouveau germe fixateur de l'azote atmosphérique: *Azotobacter lacticoqenes*. *Rév. gén. Bot.* 58:553–561.
- Kovayashi, M., Takahashi, E. and Kawaguchi, K. 1967. Distribution of nitrogen-fixing microorganisms in paddy soils of southeast Asia. *Soil Sci.* 104:113–118.
- MacRae, I. C., and Castro, T. 1967. Nitrogen fixation in some tropical rice soils. *Soil Sci.* 103:277–280.
- Meiklejohn, J. 1954. Notes on nitrogen-fixing bacteria from East African soils. *Trans. 5th. Int. Congr. Soil Sci.* 3:123–125.
- Meiklejohn, J. Microbiology of the nitrogen cycle in some Ghana soils. *Emp. J. Exp. Agr.* 30:115–125.
- Meiklejohn, J., and Weir, J. 1968. Nitrogen-fixers-pseudomonas and aerobic bacteria from Rhodesian soils. *J. Gen. Microbiol.* 50:487–496.

- Mishustin, E. N., and Shilnikova, V. K. 1969. The biological fixation of atmospheric nitrogen by free-living bacteria. In: Soil Biology, Reviews of Research. Nat. Resourc. Res., UNESCO 9:65-124.
- Moore, A. W. and Abaelu, J. N. 1959. Non-symbiotic nitrogen fixation in a soil of the Nigerian rainforest zone. *Nature* 184:75.
- Moore, A. W. 1963. Nitrogen fixation in latosolic soil under grass. *Plant and Soil* 19:127-138.
- Odu, C. T. I. and Vine, H. 1968. Non-symbiotic nitrogen fixation in a savanna soil of low organic matter content. In: Isotopes and radiation in soil organic matter studies. Proc. Symp. IAEA/FAO, Vienna, 1968. 335-350.
- Okuda, A. and Yamaguchi, M. 1956. Distribution of nitrogen-fixing microorganisms in paddy soils in Japan. *Trans. 6th. Int. Congr. Soil Sci.* 2:521-526.
- Parker, C. A. 1955. Non-symbiotic nitrogen-fixing bacteria in soil. II. Studies on *Azotobacter*. *Austral. J. Agr. Resch.* 6:388-397.
- Parker, C. A. 1957. Non-symbiotic nitrogen-fixing bacteria in soil. III. Total nitrogen changes in a field soil. *J. of Soil Sci.* 8:48-59.
- Rice, W. A., Paul, E. A., and Wetter, L. R. 1967. The role of anaerobiosis in asymbiotic nitrogen fixation. *Canad. J. Microbiol.* 13:829-835.
- Rovira, A. D. 1963. Microbial inoculation of plants. I. Establishment of free living nitrogen fixing bacteria in the rhizosphere and their effects on maize, tomato and wheat. *Plant and Soil* 19:304-314.
- Ruinen, J. 1965. The phyllosphere. III. Nitrogen fixation in the phyllosphere. *Plant and Soil* 22:375-394.
- Ruinen, J. 1956. Occurrence of *Beijerinckia* species in the phyllosphere. *Nature* 177:220-221.
- Ruinen, J. 1970. The phyllosphere. V. The grass sheath, a habitat for nitrogen fixing microorganisms. *Plant and Soil* 33:661-671.
- Rüschel, A. and Britto, D. 1966. Fixação assimiótica de nitrogênio atmosférico em algumas gramíneas e na tiririca, pelas bactérias de gênero *Beijerinckia* *derx*. *Pesq. Agropec. Bras.* 1:65-69.
- Sen, Abhiswar, and Iswaran, V. 1959. Variation or characteristics and N fixing capacity of *Azotobacter* in some Indian soils. *Soil Sci.* 87:46-49.
- Starkey, R. L. and De P. K. 1939. A new species of *Azotobacter*. *Soil Sci.* 47:329.
- Stewart, W. D. P. 1969. Biological and ecological aspects of nitrogen fixation by free-living microorganisms. *Proc. Royal Soc. London B.* 172:367-388.

- Subrahmanyam, R., Sahay, M. N. 1964. Observations on nitrogen fixation by some blue green algae and remarks on its potentialities on rice culture. Proc. Indian Acad. Sci. 60 B: 145--154.
- Tchan, Y. T. 1953a. Studies of N-fixing bacteria. III. *Azotobacter beijerinckii* (Lipman, 1903), var. *acido-tolerans* (Tchan, 1952). Proc. Linn. Soc. N.S.W. 78:83--84.
- Tchan, Y. T. 1953b. Presence of *Beijerinckia* in Northern Australia and geographic distribution of nonsymbiotic N fixing microorganisms. Proc. Linn. Soc. N.S.W. 78:171--178.
- Tchan, Y. T. and Beadle, N. C. 1955. Nitrogen economy in semi arid plant communities. Part II. The nonsymbiotic nitrogen fixing organisms. Proc. Linnean Soc. New South Wales 80:97--104.
- Vancura, V., Abb El Malek, Y. and Zayed, M. W. 1965. *Azotobacter* and *Beijerinckia* in the soils and rhizosphere of plants in Egypt. Folia microbiologica 10:224--229.
- Vasantharajan, V. N. and Bhat, J. V. 1968. Interrelations of microorganisms and mulberry. II. Phyllosphere microflora and nitrogen fixation in leaf and root surfaces. Plant and Soil 28:258--267.
- Verdade, F. da C. 1969. Importance of non-symbiotic organisms in the nitrogen economy of tropical soils. In: Biology and ecology of Nitrogen. Proc. of a Conf. National Acad. of Sciences, Washington, D. C.
- Watanabe, A., Nishigaki, S., and Konishi, C. 1951. Effect of nitrogen fixing blue green algae on the growth of rice plants. Nature (London) 168:754--759.

#### Nitrificación y la Hidrólisis de la Urea

- Acevedo, A., y Pereira, J. F. 1964. Hidrólisis de la urea y del biuret en suelos de Costa Rica. Turrialba 14(4):173--177.
- Bhattacharya, A. K. 1969. Changes of ammonium sulfate in waterlogged rice soils. J. Indian. Soc. Soil Sci. 17(4):411--15.
- Delaune, R. and Patrick, W. 1970. Urea conversion to ammonia in waterlogged soils. Soil Sci. Soc. Amer. Proc. 34:603--7.
- Dhar, N. R., A. K. Bhattacharya, A. K. and Biswas, N. N. 1933. Photonitrification in soils. Soil Sci. 35:281.
- Hsu, Shui Chwan, and Wem, C. P. 1969. Behavior of urea in various paddy soils of Taiwan. I. Ammonification of urea applied to different soils. Nung Yeh Yen Chiu 18(1):49--54.

- Martin, A. E. 1962. Nitrogen transformation in the soil, excluding denitrification. In: A Review of Nitrogen in the Tropics by Commonwealth Agricultural Bureau. Bul. 46, Comm. Br. Pastures and Field Crops.
- Odu, C. T. I. and Adeoye, K. B. 1970. Heterotrophic nitrification in soils – Preliminary investigation. *Soil Biol. Biochem.* 2(1):41–45.
- Patrick, W. H., Jr. and Mahapatra, I. C. 1968. Transformation and availability to rice of nitrogen and phosphorus in waterlogged soils. *Advan. Agron.* 20:323–59.
- Shioiri, M. and Harada, T. 1943. Transformation of nitrogen in submerged soils. *J. Sci. Soil Manure, Japan* 17:375–376.
- Wang, C. H., Tseng, Y. I., Tseng, Y. I. and Puh, W. S. 1966. A study of the behavior of urea in Taiwan soils. *Soil Fert. Taiwan* 14–25.
- Weir, C. C., and Davidson, J. G. 1968. The effect of retarding nitrification of added fertilizer nitrogen on the yield and nitrogen uptake of Pangola grass (*Digitaria decumbens*). *Tropical Agriculture* 45(4):301–306.

#### Movimiento de Nitrógeno en el Suelo y Procesos de Pérdida

- Acquaye, D. K., and Cunningham, R. K. 1965. Losses of nitrogen by ammonia volatilization from surface-fertilized tropical forest soils. *Trop. Agric.* 42(4):281–292.
- Aleksic, Z., Broeshart, H. and Middleboe, V. 1968. Shallow placement of  $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$  in submerged rice soils as related to gaseous losses of fertilizer nitrogen and fertilizer efficiency. *Plant and Soil* 29:338–342.
- Broadbent, F. E. and Mikkelsen, D. S. 1968. Influence of placement on uptake of tagged nitrogen by rice. *Agron. J.* 60:674–677.
- De Datta, S. K., Magnaye, C. P. and Moomaw, J. C. 1968. Efficiency of fertilizer nitrogen ( $^{15}\text{N}$ -labelled) for flooded rice. *Trans. 9th. Int. Congr. Soil Sci.* 4:67–76.
- De Geus, J. G. 1962. Fertilizing of tropical crops in relation to breeding and cultural practices. *Stikstof* 6:78–100.
- De Geus, J. G. 1960. The effect of nitrogen on grassland production in Africa and U.S.A. *Stikstof* 4:56–71.
- De Groot, H. 1960. Heavy nitrogen fertilizing of grassland. *Stikstof* 4:12–18.
- Diamond, W. E. de B. 1937. Fluctuations in the nitrogen content of some Nigerian soils. *Emp. J. Expt. Agric.* 5:264–280.
- Echegaray-Aleman, A., Ortega-Torres, E. O. and Aguilera, N. 1966. The movement and nitrification of some nitrogen fertilizers in some soils in Mexico. *Agrociencia* 1(1):116–132.

- Ekpete, D. M. and Cornfield, A. H. 1964. Losses through denitrification from soil of applied inorganic nitrogen even at low moisture contents. *Nature* 201:322--323.
- Gadet, R., et Soubies, L. 1967. Les mouvements de l'azote minéral dans les sols et leurs conséquences pour la production agricole. Colloque sur la fertilité des sols tropicaux, Tananarive 19--25, Nov. 1967, 509--512.
- Greenland, D. J. 1965. Is aerobic denitrification important in tropical soils? 6<sup>eme</sup> Congres International de la Science du Sol. Paris, 1956. II. 52:765--769.
- Greenland, D. 1962. Denitrification in tropical soils. *J. Exp. Agr.* 58:227--233.
- Greenland, D. J. 1958. Nitrate fluctuations in tropical soils. *J. Agr. Sci.* 50:82--92.
- Griffith, G. 1951. Factors influencing nitrate accumulation in Uganda soils. *Emp. J. Expt. Agric.* 19:1--12.
- Hardy, F. 1946. Seasonal fluctuations of soil moisture and nitrate in a humid tropical climate. *Tropic. Agric. (Trinidad)* 23:40--49.
- Joffe, J. S. 1932. Lysimeter studies. I. Moisture percolation through the soil profile. *Soil Sci.* 34:123--142.
- Lojan, L. 1964. Balance de humedad del suelo bajo dos tipos de cobertura vegetal relacionado con la evapotranspiración. *Turrialba* 14(3):147--150.
- Luque, J. A. 1968. Observaciones lisimétricas en un suelo castaño oscuro de la región Pampeana. *Rev. Invest. Agropecuar. Ser 3 Clima Suelo* 5(1):1--11.
- MacRae, I. C. and Ancajas, R. 1970. Volatilization of ammonia from submerged tropical soil. *Plant Soil* 33:97--103.
- Martin, A. E. and Skyring, G. W. 1962. Losses of nitrogen from the soil/plant systems, pp. 19--43. In: CSIRO. *A review of Nitrogen in the Tropics With Special Reference to Pastures*. Commonwealth Bureau of Pastures and Field Crops. Bul. 46. Commonwealth Agr. Bur. Farnham Royal, Bucks, England.
- Meyer, J. A. 1959. Fluctuations of mineral N in soils under food crops. Paper No. 79. Third Inter--Afr. Soils Conf. Dalaba.
- Phillis, E. 1963. Profiles and permeability in Malayan padi soils. *Malay. Agric. J.* 44:3--17.
- Paauw, F. van der. 1962. Effect of winter rainfall on the amount of nitrogen available to crops. *Plant and Soil.* 16:361--380.
- Robinson, J. B. D., and Gacoka, P. 1962. Evidence of the upward movement of nitrate during the dry season in the Kikuyu red loam coffee soil. *Jour. Soil Sci.* 13:133--139.

- Simpson, J. R. 1960. The mechanism of surface nitrate accumulation on a bare fallow soil in Uganda. *J. Sci.* 11:45–60.
- Stephens, D. 1962. Upward movement of nitrate in a bare soil in Uganda. *Jour. Soil Sci.* 13–52–59.
- Watson, G. A., Wong, P. W., and Narayan, R. 1964. Effects of cover plants on soil nutrient status and growth of Hevea. V. Loss of nitrate nitrogen and of cations under bare soils conditions. A progress report from a small scale trial. *J. Rubber Res. Inst. Malaya.* 18:161–174.
- Wetselaar, R. 1961. Nitrate distribution in tropical soils. I. Possible cause of nitrate accumulation near the surface after a long dry period. II. Extent of capillary accumulation of nitrate during a long dry period. *Plant and Soil* 15:110–120; 121–133.

#### Microorganismos y Actividad Microbial

- Calderbank, A. and Romlinson, T. E. 1969. The fate of paraquat in soils. *Pans* 15(4):466–72.
- Castillo, P. 1970. Importancia de la microflora y de la microfauna del suelo. *Agricultor Costarricense* 28(1):12–14.
- Clark, F. E. 1967. Bacteria in soil. p. 15–49. In: *Soil Biology*. A. Burges and F. Raw (Ed.) Academic Press, New York.
- Corbet, A. S. 1934. Studies on tropical soil microbiology. II. The bacterial numbers in the soil of the Malay Peninsula. *Soil Sci.* 38:407–416.
- Hamdi, Y. A. *et al.* 1969. The breakdown of trifluralin by soil microorganisms. *Pans* 15(4):589–92.
- Johnston, D. B. 1947. Soil actinomycetes of Bikini Atoll with special reference to their antagonistic properties. *Soil Sci.* 64:453–458.
- Meiklejohn, Jane. 1957. Numbers of bacteria and actinomycetes in a Kenya soil. *Jour. Soil Sci.* 8:240–247.
- Moureaux, C. 1967. Influence de la température et de l'humidité sur les activités biologiques de quelques sols Ouest-Africains. *Cahiers ORSTOM, serie Pédologie* V (4):393–420.
- Samuels, G. and González-Vélez, F. 1962. Influence of beta--amylose triiodide (fertidyne) on soil fertility. *J. Agr. Univ. Puerto Rico* 46(3):175–182.
- Toki, Y., Koyama, T., and Kamura, T. 1956. Microbial metabolism in reduction process of paddy soils. Part I. *Soil and Plant Food* 2:63.

## CAPITULO 5

### FERTILIZACION CON NITROGENO

*P. A. Sánchez*  
Profesor Asociado de Suelos,  
Universidad Estatal de Carolina del Norte

Comenzando con este capítulo, la mayor parte de este libro tratará sobre las respuestas de cultivos a fertilizantes. Es apropiado considerar la importancia relativa de los principales cultivos alimenticios en la América Tropical. El Cuadro 1 indica que los cultivos producidos en mayor cantidad son: yuca, maíz, arroz, papa, trigo y frijol, en ese orden. El nitrógeno es el elemento nutritivo que se aplica más comúnmente en la región. La tasa promedio de aplicación en la América Tropical es de 14 kg/N/ha (Rodríguez 1967), lo que indica que la proporción de cultivos que reciben aplicaciones de nitrógeno todavía es baja. Las siguientes secciones resumen las investigaciones sobre la fertilización con nitrógeno llevadas a cabo en los principales cultivos alimenticios, tanto para humanos como para animales, de la región.

#### 5.1 CEREALES

##### Maíz

El maíz es el cultivo alimenticio que ocupa el segundo lugar en cantidad producida en la América Tropical, y el primer lugar en área sembrada. Se encuentra en casi todas las chacras bajo una gran variedad de condiciones de suelo, clima y manejo.

**Respuestas.** Muchos experimentos de campo realizados a través de la región, indican que el maíz responde positivamente a tasas de nitrógeno entre 60 y 150 kg N/ha (Berger 1962, DaGeus 1967, CIMMYT 1967, 1960). Sin embargo, el uso actual de nitrógeno es considerablemente menor. Los factores que afectan las respuestas varían considerablemente entre los principales grupos de suelos. En áreas donde los Oxisoles y Ultisoles predominan, hay una amplia variabilidad en la respuesta del maíz al nitrógeno. Aunque las respuestas positivas dentro de las dosis mencionadas son comunes, en muchos casos el maíz no responde al nitrógeno tanto en tierras recientemente desmontadas como

en tierras intensivamente cultivadas. Gallo *et al* (1968) por ejemplo, observaron respuestas positivas en 24 experimentos de un total de 31 realizados en el Estado de Sao Paulo, Brasil. De Freitas *et al* (1960), Mikklesen *et al* (1963), Gomez *et al* (1963), Cornell University (1971) citan casos sin respuesta mientras que otras investigaciones reportan únicamente respuestas positivas (Viegas *et al* 1963, Miranda *et al* 1964, IAEA 1970).

CUADRO 1. Producción, área y rendimiento de los principales cultivos alimenticios en América Latina Tropical\* (calculado del Anuario de Producción de la FAO, 1970).

Cultivo	Producción (millones ton.met.)	Área (millones hectáreas)	Rendi- mientos (ton/ha)
<b>Cereales</b>			
Maíz	30,9	23,8	1,30
Arroz	11,1	6,2	1,84
Trigo	4,3	3,0	1,44
Sorgo	2,8	1,3	2,17
Cebada, avena, centeno, millo	0,9	1,3	0,69
<b>Total</b>	<b>50,6</b>	<b>35,3</b>	<b>1,43</b>
<b>Tubérculos y raíces</b>			
Yuca	34,5	2,5	13,80
Papa	6,6	0,8	8,25
Camote y ñame	3,7	0,4	8,50
<b>Total</b>	<b>44,8</b>	<b>3,7</b>	<b>12,11</b>
<b>Leguminosas de grano</b>			
Frijoles	4,1	6,8	0,60
Soya	1,9	1,4	1,35
Maní	1,1	0,8	1,49
Habas, garbanzos, alverjas	0,5	0,6	0,83
<b>Total</b>	<b>7,6</b>	<b>9,6</b>	<b>0,79</b>
<b>Bananos</b>	<b>16,3</b>	<b>0,9</b>	<b>18,20</b>

\* Excluye Argentina, Chile y Uruguay.

La ausencia de respuestas al nitrógeno ha sido atribuida a otros factores limitantes tales como la toxicidad de aluminio o la deficiencia de fósforo en casos donde los rendimientos fueron bajos y a un alto nivel de nitrógeno nativo cuando los rendimientos fueron altos. De

Freitas *et al* (1960) no pudieron obtener respuestas en un suelo del Cerrado con pH menor de 5,5 aparentemente porque habían deficiencias de otros elementos nutritivos y posible toxicidad de aluminio. Mikklesen *et al* (1963) observaron una relación inversa entre respuestas a nitrógeno y el contenido de materia orgánica y arcilla en tres suelos del Cerrado recientemente desmontados. El maíz respondió positivamente a 240 kg N/ha en un regosol bajo en materia orgánica pero negativamente a 60 kg N/ha en un latosol rojo oscuro con 2,6 por ciento de materia orgánica.

Estudios recientes realizados en Puerto Rico confirman que algunos Oxisoles y Ultisoles contienen grandes cantidades de nitrógeno inorgánico en su perfil, pero que estas cantidades no están relacionadas con respuestas a nitrógeno por maíz (Cornell University, 1971). No se observaron respuestas en un Oxisol arcilloso con 381 kg/ha de nitrógeno inorgánico en el perfil mientras que un Ultisol arcilloso con 300 kg/ha produjo una respuesta aguda. Se requieren mayores estudios para aclarar los procesos involucrados, incluyendo los aumentos de mineralización de nitrógeno al comienzo de las lluvias en ambientes ústicos, el patrón del movimiento de nitrógeno en el perfil y paisaje y el efecto residual de anteriores aplicaciones de nitrógeno.

Las copiosas investigaciones realizadas en las zonas altas de México y América Central indican que las respuestas al nitrógeno son más consistentes en esta región que en los Oxisoles y Ultisoles. Informes de México (Laird y Lizárraga 1959, Laird y Rodríguez 1969, Turrent 1970), indican que cuando no se obtienen respuestas, esto se debe a la sequía, malezas, anegamiento o a la acidez del suelo. Las recomendaciones de tasas de nitrógeno generalizadas para obtener los rendimientos óptimos han aumentado gradualmente en México, de 40 a 50 kg N/ha en la década de 1940 a 80 kg N/ha en la década de 1950 y de 80 a 175 kg N/ha en la década de 1960 (Colwell 1946, Laird y Lizárraga 1959, CIMMYT 1967, Turrent 1970).

En el Valle del Cauca en Colombia, Gómez (1968) realizó un experimento de cultivo continuo durante once años con dos cosechas por año. No observó respuestas al nitrógeno hasta el décimo cultivo. Después, se obtuvieron rendimientos óptimos con 80 kg N/ha hasta el décimo sexto cultivo y con 120 kg N/ha hasta el vigésimo tercero. En las áreas irrigadas de la costa en el norte del Perú, Seminario y Peña (1971) obtuvieron respuestas lineales y rendimientos máximos con 180 kg N/ha. Sus curvas sugieren que las tasas más altas pueden haber producido rendimientos mayores.

La influencia de prácticas culturales y condiciones meteorológicas en las respuestas del maíz al nitrógeno han sido estudiadas en varias áreas. El aumento general en dosis recomendadas en México durante los últimos 25 años sin duda se relaciona a variedades y prácticas culturales mejoradas. Viegas *et al.* (1963) estudiaron los efectos de variedades, población y fertilización en 32 experimentos en muchos suelos en el Estado de São Paulo. No observaron interacciones entre estos factores y obtuvieron los rendimientos más altos con híbridos sembrados a 50.000 plantas/ha y fertilizados con la dosis más alta de nitrógeno. La necesidad de tener poblaciones más altas para obtener los rendimientos máximos a altos niveles de nitrógeno ha sido confirmada por Ramírez (1964) en Venezuela, Laird y Lizárraga (1959) y Turrent (1970) en México. La población óptima a los niveles óptimos de nitrógeno varía de 45.000 a 57.000 plantas/ha mientras que para maíz no abonado es de 20.000 a 38.000 plantas por ha.

Quizás el estudio más fructífero sobre esta materia ha sido desarrollado por Turrent (1970) en el Proyecto Puebla de México. Durante el primer año, se realizaron 27 experimentos en campos de agricultores para determinar la importancia y variabilidad de respuestas a nitrógeno y fósforo en el maíz. En los siguientes dos años las interacciones entre dosis y la época de aplicación de nitrógeno, dosis de fósforo, y población de plantas fueron estudiadas en diversos suelos. Los suelos se agruparon entonces de acuerdo a factores relacionados al rendimiento del maíz que en este caso era de textura del subsuelo y profundidad de penetración de las raíces. Las recomendaciones fueron dadas a los agricultores por grupos de suelos en términos de dosis y épocas de aplicación de nitrógeno variedad y población de plantas.

Los efectos de la sequía y el exceso de humedad en las respuestas al nitrógeno han sido establecidas para la región del Bajío en México. El número de días de sequía durante la etapa del espigado redujo directamente los rendimientos del maíz con altas dosis de nitrógeno (Fernández y Laird 1958). Las depresiones en las respuestas debido a sequía o exceso de humedad disminuyeron los rendimientos máximos en aproximadamente la mitad de lo que eran cuando la distribución de lluvias fue adecuada (Fundación Rockefeller 1963–64).

**Fuentes, Epocas y Métodos de Aplicación.** Una serie de experimentos realizados en el Brasil, Colombia, México y Perú coordinados por la Agencia Internacional de Energía Atómica ha servido para evaluar la eficiencia de diversas prácticas de manejo con radioisótopos en el

campo (IAEA 1970). Los resultados no muestran diferencias entre el sulfato de amonio, urea y nitrato de amonio como fuentes de nitrógeno para el maíz en los lugares estudiados. Orihuela y Espinoza (1968) alcanzaron conclusiones similares en Venezuela pero Gil (1959) obtuvo rendimientos superiores con sulfato de amonio en el Valle del Cauca en Colombia. Gargantini *et al* (1968) en el Brasil no observaron diferencias entre sulfato de amonio y amonio anhidro. Las aplicaciones antes de la siembra con urea revestida de azufre resultaron inferiores a aplicaciones después de la siembra usando urea común, pero iguales a urea común antes de la siembra en un Ultisol de Puerto Rico (Universidad de Cornell 1971).

Se han realizado investigaciones sobre la profundidad y época de aplicación de nitrógeno en varias localidades. Como es de esperar en este tipo de trabajo, los resultados varían según los sitios debido a diferencias en el tipo de suelo, precipitación y lixiviación. Las aplicaciones basales ya sea incorporadas con el arado o en bandas fueron más eficientes que el abonado lateral superficial en un experimento bajo riego en La Molina, Perú (Lugo 1969). Miranda y Freire (1964) no observaron diferencias debido a la época o ubicación del sulfato de amonio en diez experimentos en São Paulo. Los experimentos coordinados por IAEA (1970) en el Brasil y en Colombia, los realizados por Laird y colaboradores en México y por la Universidad de Cornell (1971) en Puerto Rico demuestran que las aplicaciones ya sea divididas o en abonado lateral superficial fueron más eficientes que las aplicaciones basales porque redujeron las pérdidas por lixiviación o competencia de malezas. Turrent (1970) estudió la variabilidad en sitios y con estaciones y concluyó que aplicaciones laterales superficiales después del primer cultivo fue el método que rindió los resultados más consistentes en Puebla, México.

## **Arroz**

El arroz es el cultivo alimenticio que ocupa el tercer lugar en cantidad de producción en la América Latina Tropical. Se produce bajo condiciones de secano (siembra directa, dependiendo de las lluvias) alrededor del 75 por ciento del hectareaje total, especialmente en áreas o estaciones con temperaturas altas, una precipitación mensual mayor de 150 mm, y en suelos con buena capacidad de retención de agua. El arroz irrigado se cultiva en los valles relativamente fértiles cercanos a los centros de población. La mayoría de las investigaciones sobre fertilización del arroz en América Latina se han realizado en arroz bajo riego.

**Respuestas.** El arroz responde al nitrógeno casi universalmente, excepto en tierras recientemente desmontadas. No existe una relación clara entre el patrón de respuesta y los principales grupos de suelos como ocurre con otros cultivos. El contenido de materia orgánica, capacidad de intercambio de cationes y pérdidas potenciales por lixiviación son las propiedades del suelo que más afectan las respuestas a nitrógeno por el arroz. Otros factores, tales como tipo de planta, radiación solar y manejo de agua ejercen una mayor influencia en las respuestas del arroz que las propiedades del suelo.

Con las variedades tradicionales *índicas*, de alta estatura, y prácticas culturales también tradicionales, se obtienen respuestas positivas de 30 ó 60 kg N/ha por lo general, igual que en otros lugares del mundo (Oliveira *et al* 1964, 1965, 1966; Penny 1965, Ten Have 1967, Kawano *et al* 1971, Sánchez y Nureña 1972). Una gran cantidad de datos de ciertas áreas del Perú, México y Brasil indican que las dosis óptimas son de 120 a 160 kg N/ha cuando se usan variedades y prácticas culturales tradicionales (Calzada *et al*, 1959, Vasconcelos y Almeida 1966, Schmitt y Gargantini 1966, Carmen 1968, Jarrero y Ortega 1968). Estas dosis más altas se deben a altos niveles de radiación solar, baja eficiencia del nitrógeno aplicado, o ambos en estos lugares.

Los experimentos sobre las interacciones entre variedades y dosis de nitrógeno demuestran que los nuevos tipos de planta de baja estatura que ahora se encuentran en toda la América Latina, responden positivamente a dosis más altas y producen rendimientos mucho más altos que las variedades tradicionales, tanto en condiciones de secano o bajo riego. Rendimiento de 5.000 a 7.500 kg/ha, han sido obtenidos con variedades tales como IR-8 a dosis de 90 a 180 kg N/ha en condiciones de secano en Costa Rica y Perú (Cordero 1970, Kawano *et al* 1971, Cordero y Romero 1972).

En condiciones de riego, rendimientos máximos de 10.000 a 11.500 kg/ha han sido obtenidos consistentemente con variedades de estatura corta a dosis de 100 a 400 kg N/ha (Rosero y Moreno, 1970, Sánchez y Claderón 1970a, Sánchez 1971a, Riccio y Gavidia 1972).

Los rendimientos y respuestas más altas se obtuvieron con variedades de baja estatura ya sea bajo sistemas de secano o bajo riego y se asocian con la capacidad más alta de macollaje, mayor producción de panojas, relaciones grano: paja más altas, y resistencias a la tumbada o acame (Sánchez 1971a). En muchos casos las respuestas fueron lineales, sugiriendo que dosis más altas son necesarias para llegar a los niveles

óptimos. En la mayoría de las referencias citadas, se usó la variedad IR-8. Dicha variedad tiene calidad limitada de grano para el gusto latinoamericano. Las variedades de baja estatura que han sido lanzadas recientemente, con calidad superior de grano, tales como CICA-4, Naylamp, Sinaloa A-68 e INIAP-6 producen curvas de respuestas similares al IR-8 pero pocas veces alcanzan los rendimientos máximos del IR-8.

En la mayoría de las áreas arroceras de América Latina, se están realizando suficientes investigaciones para recomendar dosis de nitrógeno para las variedades de estatura alta o baja. La información sobre otros factores que afectan la respuesta al nitrógeno y hasta donde pueden extrapolarse los resultados a otras áreas, es bastante limitada. Ten Have (1967) recopiló los resultados de 197 pruebas en Surinam y estableció que las diferencias de respuestas pueden agruparse de acuerdo a los rendimientos de los tratamientos testigos. Esta información es útil en la estimación de variabilidad de sitios y estaciones. Varios estudios realizados en la costa peruana han evaluado los efectos de la radiación solar, regímenes de temperatura, fecha de siembra, distanciamiento entre plantas, duración de crecimiento y regímenes de agua en la respuesta al nitrógeno (Sánchez 1971ab). Estos resultados permiten el establecimiento de recomendaciones más dignas de confianza y permiten estimar los riesgos asociados con el tiempo y las diferencias de manejo. Si requieren investigaciones similares en otras áreas, particularmente bajo condiciones de secano, donde la relación entre la tensión de agua y respuestas al nitrógeno están por estudiarse.

**Fuentes, épocas y ubicación.** La baja eficiencia de los nitratos en el arroz intermitentemente inundado ha sido conocido en el Perú durante 25 años (Calzada *et al* 1959). La misma referencia resumió 23 experimentos que comparaban las fuentes de nitrógeno en suelos de alto pH en la costa peruana. Los resultados indican que el sulfato de amonio y urea dan casi los mismos resultados y que ambos son superiores al guano y nitrato de sodio. Investigaciones recientes rindieron los mismos resultados en arcillas ácidas de Surinam durante siete estaciones (Ten Have 1967) así como con nuevas variedades y niveles de rendimiento mayores en el Perú (Ramírez y Sánchez 1971). Bajo condiciones de secano en Costa Rica, Cordero (1970) no encontró diferencias entre urea, sulfato de amonio y nitrato de amonio, probablemente debido a la ausencia de condiciones reducidas del suelo.

Las fuentes de nitrógeno de liberación lenta han recibido un cierto grado de atención últimamente. El sulfato de amonio cubierto con EAP (Asfalto—parafina emulsificado) fue comparado con fuentes convencionales en Costa Rica, Trinidad y Perú (Cordero 1965, Ahmad y Whiteman 1969, Estación Experimental de Lambayeque 1967). Bajo condiciones de secano en Costa Rica y condiciones inundadas en Trinidad, esta fuente resultó superior al sulfato de amonio. No se observaron efectos benéficos en el Perú. Aplicaciones basales de urea revestida con azufre resultaron superiores a aplicaciones basales antes del trasplante o aplicaciones divididas de urea convencional en suelos peruanos inundados intermitentemente, particularmente aquellos con mal manejo de agua (Ramírez y Sánchez 1971, Sánchez 1971a).

Hay un acuerdo sorprendente en los trabajos sobre la época óptima de aplicación de nitrógeno en la América Tropical, a pesar de la amplia variedad de condiciones bajo las que se cultiva el arroz. Los resultados del Brasil (Schmitt y Gargantini 1966), Costa Rica (Cordero 1970, Cordero y Romero 1972), México (Jarrero y Ortega 1968), Perú (Calzada *et al* 1959, Sánchez y Calderón 1970b, 1971, Ramírez y Sánchez 1971) y Surinam (Ten Have 1967) indican que al retrasar las aplicaciones de nitrógeno hasta el macollaje o la iniciación del primordeo de la panoja, los resultados son superiores a una aplicación única incorporada antes de la siembra o trasplante. Esto está en contraste agudo con los datos provenientes del Asia, que generalmente recomiendan una aplicación basal al efectuar el trasplante. Las diferencias probablemente se deben a las pérdidas de nitrógeno más altas por lixiviación inicial en América Latina causadas por menor batido del suelo y más frecuentes condiciones alternas de oxidación—reducción.

**Eficiencia.** El abono nitrogenado se pierde fácilmente por lixiviación y desnitrificación en suelos arroceros debido a la presencia de condiciones alternas de redox y las mayores cantidades de agua usados en este cultivo. Bajo condiciones de inundación constante, se recupera del 40 al 60 por ciento del nitrógeno añadido. Estudios realizados en el Perú bajo inundación intermitente muestran que se recupera sólo del 20 al 30 por ciento del nitrógeno aplicado con fuentes y épocas de aplicación convencionales. Al mejorar la época de aplicación de fuentes convencionales o al aplicar fuentes de lenta disponibilidad, los valores de recobro aumentaron al 30 ó 40 por ciento (Ramírez y Sánchez 1971, Sánchez y Calderón 1971).

## Trigo

Este cultivo se siembra en tres principales regiones de la América Tropical: el Noroeste Mexicano árido, bajo alta radiación solar y suelos calcáreos; los Andes desde México a Bolivia a altas elevaciones en Andeptos o suelos no -volcánicos, y en el Sur del Brasil en Ultisoles e Inceptisoles. En estas últimas dos regiones el trigo no recibe irrigación y las variedades mexicanas de baja estatura no han sido difundidas.

En el noroeste de México, el trigo responde fuertemente al nitrógeno en dosis entre 60 y 100 kg N/ha necesarias para los rendimientos máximos de 3 ton/ha en 1955 (Arvizu y Laird 1958). Las nuevas variedades requieren alrededor de 200 kg N/ha para alcanzar rendimientos de más de 5 ton/ha (CIMMYT, 1969).

La información de las zonas de sierra es bastante variable. En la región del Bajío de México central, Fernández y Laird (1958) estudiaron los efectos de la sequía en respuestas al nitrógeno en dos suelos aluviales arcillosos. Encontraron que se obtuvieron rendimientos máximos con 50 y 150 kg N/ha respectivamente pero se redujeron a la mitad cuando ocurrió una sequía. Laird *et al* (1969) observaron que la quema o retiro de residuos de cultivos anteriores rebajaron las dosis necesarias para obtener rendimientos óptimos en un 20 por ciento. Una serie de experimentos realizados en Andeptos en la Planicie Central de Guatemala mostró que los rendimientos máximos de 2,3 ton/ha se produjeron con 75 a 140 kg N/ha. Se observó acame en altas dosis así como una interacción positiva con fósforo (Ramírez *et al* 1971). En 16 pruebas realizadas en Bolivia, se observaron respuestas lineales en dosis hasta de 80 kg N/ha, algunos de los cuales rindieron tanto como en el Noroeste de México (Manzano *et al* 1969).

En latosoles amarillos en el sur de São Paulo, Brasil, Jorge *et al* (1965) y Blanco *et al* (1965) observaron poca o ninguna respuesta a nitrógeno en áreas con rendimientos máximos de 1 a 2 ton/ha.

En todas las áreas se ha tratado de relacionar las respuestas a nitrógeno con parámetros del suelo. Torres *et al* (1963), observaron que un contenido de 750 ppm de  $\text{NO}_3$  en plantas de trigo de 45 días de edad representa el límite crítico para obtener respuestas en el norte de México. Arvizu y Laird (1958) no encontraron correlaciones entre respuestas y materia orgánica o nitrógeno total del suelo en la misma área, mientras que únicamente suelos con menos del 0,1 por ciento de N total respondieron en Sao Paulo (Blanco *et al*, 1961).

No se encontraron estudios sobre los efectos de fuentes, ubicación y épocas de aplicación en la literatura disponible.

## 5.2 TUBERCULOS Y RAICES

### Yuca

Este cultivo (conocido también como cassava, mandioca, tapioca) es el cultivo comestible que se produce en mayor cantidad en toda la América Tropical. Desgraciadamente la yuca ha recibido atención de parte de los edafólogos latinoamericanos. Generalmente se considera como un cultivo adaptado a suelos infértiles por su habilidad de extraer nutrimentos a considerables profundidades del perfil. Sin embargo, la yuca puede extraer alrededor de 60 kg N/ha con rendimientos moderados de 17 ton/ha y más de 200 kg N/ha con rendimientos de 60 ton/ha (Normanha y Pereira, 1950).

El único estudio a largo plazo disponible es el de Normanha y colegas en São Paulo, Brasil. Estos estudios muestran que las respuestas significativas o económicas al nitrógeno fueron menos frecuentes que las de fósforo o potasio. En algunos casos, la relación tallo:raíz aumentó con tasas de nitrógeno de 40 a 80 kg N/ha sin aumentar los rendimientos de las raíces (Silva y Freire 1968b). En otros casos, los pesos de las raíces y el contenido de proteína aumentaron pero no así el rendimiento de almidón (Malavolta *et al*, 1953). Los datos brasileños enfatizan la importancia del balance entre nitrógeno y potasio. La mayoría de las respuestas al nitrógeno fueron obtenidas con la presencia de amplios suministros de fósforo y potasio. Estudios en otras regiones son muy escasos. Un estudio realizado en Colombia mostró que una aplicación de 45 kg/ha de N y P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> aumentó los rendimientos de yuca en un 250 por ciento (De Geus 1967).

Se han realizado estudios sobre métodos y épocas de aplicación en el Estado de São Paulo (Normanha 1951, Normanha y Freire 1959, Normanha *et al*, 1968, Silva y Freire 1960a). Los resultados demuestran que las fuentes de nitrógeno por sí solas o en combinación con otros materiales al aplicarse en el surco, pueden reducir el brote y el vigor de la planta de una manera significativa. Recomiendan que la mitad del nitrógeno y todo el fósforo y potasio se aplique al lado del surco y que el resto del nitrógeno sea aplicado al voleo a los lados del surco en etapas posteriores.

Algunos estudios de invernadero han sido realizados en Trinidad y Brasil. Los patrones de acumulación de materia seca y absorción de elementos nutritivos han sido determinados en el norte de Argentina (Orioii *et al*, 1967).

Grandes respuestas de yuca a la fertilización balanceada en suelos profundos son comunes en otras partes del mundo. La ausencia de tal información en América Latina es uno de los vacíos más significativos en las investigaciones edafológicas.

### Papa

**Respuestas.** Valverde *et al* (1966) y McCollum y Valverde (1968) resumieron las investigaciones realizadas desde 1950 hasta 1964 en la sierra peruana. Una ecuación múltiple de regresión fue producida con 58 experimentos de campo. Encontraron que el nitrógeno fue el primer factor limitante seguido de cerca por el fósforo y con una fuerte interacción entre los dos. Por medio de extrapolaciones ellos demostraron que con una dosis de 240 kg N/ha se obtuvo el óptimo resultado económico, pero debido a la falta de datos más allá de 160 kg N/ha, recomendaron una aplicación global de 160–160–100, la que triplica los rendimientos de papas. La respuesta a nitrógeno fue inversamente proporcional al contenido de materia orgánica del suelo. Se observó variabilidad sustancial de lugar y estación, pero dicha variabilidad fue menor con nitrógeno que con fósforo o potasio. Variedades mejoradas produjeron curvas de respuestas más agudas y dosis óptimas más altas. También se estudió la interacción con distanciamientos. Aumentos en rendimientos a dosis altas parecen relacionarse a los diversos componentes de rendimiento en el siguiente orden: número de tubérculos por planta, población de plantas, y tamaño del tubérculo.

También se han realizado numerosos experimentos en São Paulo, Brasil, en una amplia gama de suelos. Las respuestas a nitrógeno siempre estaban presentes con los rendimientos más altos obtenidos entre 60 y 120 kg N/ha (Gómez y Freire 1962, Nobrega *et al* 1964, Gargantini *et al* 1965). En suelos ácidos no se observaron interacciones entre las dosis de NPK y cal comercial (Book y Freire 1961, Book *et al*, 1961).

**Fuentes, épocas y métodos de aplicación.** El tradicional "guano de islas" fue evaluado extensivamente contra fuentes de nitrógeno sintético en el Perú (McCollum y Valverde, 1968). El guano resultó igual en eficiencia pero más barato que las fuentes inorgánicas, pero

estas últimas tenían que aplicarse para obtener las dosis altas recomendadas. No se observaron diferencias significativas entre urea, sulfato de amonio, nitrato de amonio y nitrato de calcio, lo que llevó a los autores a recomendar cualquier fuente que fuera más barata. No se encontraron diferencias debido a la época de aplicación.

Los trabajadores brasileños han comparado varias fuentes orgánicas tales como harina de cacao con fuentes inorgánicas (Book y Freire 1960, Gómez *et al* 1967). Estos datos muestran un comportamiento consistentemente superior de las fuentes orgánicas que los autores atribuyen a mala ubicación o mala regulación de la época de aplicación de las fuentes inorgánicas, o la variabilidad en el contenido de nitrógeno de las fuentes orgánicas. Estudios de ubicación han demostrado que al aplicar todo el nitrógeno en el surco de siembra, es efectivo únicamente si es seguido por lluvias, pero puede causar daños por salinidad en épocas secas (Nobrega *et al* 1963ab, Nobrega 1964). La división de las aplicaciones en mitades, o el retraso de una aplicación, resultó más efectiva en períodos secos.

#### Camote y Ñame

La experiencia mundial con camotes indica que cantidades moderadas de nitrógeno en el orden de 40 a 60 kg N/ha producen respuestas positivas, pero cantidades excesivas aumentan la razón tallo:raíz y disminuyen los rendimientos de tubérculos. La experiencia limitada en América Tropical sugiere que las respuestas positivas a nitrógeno no son tan comunes. Landrau y Samuels (1959) obtuvieron respuestas positivas hasta 82 kg N/ha en dos de cuatro sitios en Puerto Rico y respuestas negativas en el resto. Encontraron que no había relación entre la respuesta y propiedades del suelo. Un gran número de experimentos realizados en los principales suelos de São Paulo, Brasil, muestra sólo ocasionales respuestas económicas al nitrógeno, pero la mayoría de los rendimientos fueron bajos (Camargo 1951, Camargo y Freire 1962abc, Breda *et al* 1966ab). Experimentos sobre fuentes y métodos de ubicación no mostraron tendencias claras, excepto que el abono orgánico rindió mejor que las aplicaciones de NPK.

Los Ñames (*Dioscorea* spp.), se cultivan extensivamente en el Caribe y otras áreas. La experiencia en Africa Occidental ha demostrado que los rendimientos aumentan en el orden del 10 al 20 por ciento con 6 ton/ha de abono de establo o sulfato de amonio aplicados en dosis de 20 a 150 kg N/ha. El efecto del estiércol parece relacionarse a mejoramientos en las propiedades físicas del suelo. La época de

aplicación de nitrógeno inorgánico está relacionada a las fluctuaciones de nitrato en ambiente ústicos (DeGeus 1967). En Trinidad, Champman (1965) encontró que la época de aplicación de nitrógeno afectó los rendimientos de una manera dramática. Cuando se aplicaron 120 kg N/ha como sulfato de amonio a la siembra, los rendimientos bajaron pero cuando se aplicó la misma dosis tres meses más tarde, los rendimientos aumentaron en un 50 por ciento. Champman atribuye este efecto a las pérdidas por lixiviación al tiempo de plantío y al hecho de que a los tres meses el índice de área foliar aumenta agudamente y las plantas comienzan a producir vástagos secundarios. También observó que el estacado es probablemente necesario para obtener respuestas al nitrógeno. Ferguson y Haynes (1970) también en Trinidad, observaron una respuesta diferencial con especies. *Dioscorea alata* respondió positivamente a 200 kg N/ha mientras que *D. esculenta* respondió positivamente hasta 56 kg N/ha y negativamente a dosis más altas. Gooding (1971) reportó que las dosis de 20 kg N, 72 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> y 51 kg K<sub>2</sub>O aumentaron los rendimientos de ñame en más de 100 experimentos en Barbados. Debido al diseño experimental, desgraciadamente, no fue posible evaluar los efectos de los elementos nutritivos individuales.

### 5.3 LEGUMINOSAS DE GRANO

#### Frijoles

Los frijoles (*Phaseolus* spp.) ocupan el segundo lugar después del maíz en el área total plantada en la América Latina Tropical. Constituyen la principal fuente de proteína vegetal en las dietas y se encuentra en casi todas las fincas latinoamericanas. Los requisitos de nitrógeno de frijoles en las áreas tropicales son en el orden de 60 a 150 kg N/ha. Se supone que la fijación simbiótica provea una proporción sustancial de este requisito. Fassbender (1967) revisó los informes de Costa Rica, Brasil y Perú y encontró poca evidencia de que la inoculación con *Rhizobium* fuera efectiva. De hecho, una correlación negativa entre la producción de frijoles y nodulación fue obtenida en el Brasil (Van Wambeke, 1970). La toxicidad de aluminio o manganeso, deficiencia de calcio y fósforo, alto contenido de nitrato y alta especificidad de los huéspedes son algunas de las explicaciones dadas para este fenómeno.

La respuesta de frijoles al nitrógeno inorgánico es extremadamente variable en la región. Fassbender (1967) informó que las dosis óptimas recomendadas van de 30 a 60 kg N/ha en México, América Central,

Perú y partes del Brasil, pero dosis de 100 a 400 kg N/ha han sido recomendadas en Costa Rica y Minas Gerais, Brasil.

Miyasaka y colaboradores encontraron respuestas poco frecuentes al nitrógeno en un gran número de experimentos llevados a cabo por todo el Estado de São Paulo, Brasil. Cuando se aplicó cal comercial a los Latosoles ácidos, los rendimientos aumentaron pero las respuestas a nitrógeno, si estaban presentes en lotes sin cal, disminuyeron (Miyasaka *et al* 1963). Los brasileños también han estudiado la adición de abono verde y encontraron que en la mayoría de los casos se obtuvieron respuestas positivas en presencia y ausencia de nitrógeno inorgánico. (Miyasaka *et al* 1967bd, Mascarenhas *et al* 1967bc, Hiroce *et al* 1969). Poca diferencia fue encontrada entre las fuentes de nitrógeno inorgánico (Miyasaka *et al* 1963, Mascarenhas *et al* 1966). En un experimento en suelo terra roxa, al retrasar las aplicaciones de 50 kg N/ha se redujo el rendimiento significativamente, aunque aumentó la nodulación (Miyasaka *et al* 1963).

A pesar del gran número de publicaciones sobre la materia, la información obtenida es muy limitada debido a la naturaleza superficial de la mayoría de los ensayos.

### Soya

Sólo se obtuvieron referencias del Campo Cerrado en el Brasil sobre este cultivo. Excepto por estudios realizados por DeFreitas *et al*, 1960 en Goiás y Mascarenhas *et al* 1967b en São Paulo, otros estudios no reportan respuestas a fertilización con nitrógeno a pesar de la gran variabilidad en tipos de suelos. Cuando se obtuvieron respuestas, había una excelente nodulación aunque tendía a disminuir con dosis crecientes de nitrógeno. Los niveles de rendimiento obtenidos sugieren que la fertilización con nitrógeno a la soya es de poca importancia en el Campo Cerrado, mientras que aplicaciones de fósforo y cal son esenciales.

## 5.4 PASTOS Y FORRAJES

La producción de ganado, especialmente para carne, es de mayor importancia en los trópicos de América Latina que en los trópicos de África o Asia. Con más de 552 millones de hectáreas en potreros y forrajes no es sorprendente que la fertilización con nitrógeno ha recibido mucha atención en toda la región. La mayoría de los suelos de

América Latina no mineralizan suficiente nitrógeno a través de un largo período de tiempo para satisfacer los requerimientos de forrajes y pastos, aún los que tienen alto contenido de materia orgánica y de nitrógeno total y estrechas relaciones C/N (Blue 1968). El enfoque principal ha sido hacia la fertilización masiva con nitrógeno de las gramíneas con atención limitada a la introducción de leguminosas tropicales.

### Respuestas

**Oxisoles y Ultisoles.** En los Oxisoles y Ultisoles bien lixiviados, los potreros a menudo son la única fuente de nutrición del ganado vacuno. En ambientes ústicos, los animales sufren de severas pérdida de peso durante la estación seca que retarda la edad de matanza a cuatro o seis años. Un estudio de dos años realizado por Quin *et al* (1961) muestra que cuando se aplicaron 200 kg N/ha a potreros de hierba Guinea (*Panicum maximum*) en el Campo Cerrado del Brasil, la producción de elementos nutritivos totalmente digeribles y el aumento en peso vivo por hectárea se duplicó, y la capacidad de carga aumentó de 1,4 a 3,5 cabezas por hectárea. Cuando se aplicó nitrógeno durante la estación seca, los aumentos fueron superiores a los obtenidos con aplicaciones durante la estación lluviosa, y la calidad del potrero tendía a ser más uniforme. Quinn *et al* postularon que el nitrógeno disponible del suelo se agota al final de la estación lluviosa, que la aplicación en esa época estaba sujeta a menos pérdidas por lixiviación y que tenían un efecto residual en la siguiente temporada lluviosa. Un informe posterior (Quinn *et al* 1963) no mostró respuestas a aplicaciones en la estación seca debido a la severa sequía. Estos estudios enfatizan la necesidad de relacionar las respuestas a nitrógeno al estado de humedad del suelo en ambientes ústicos.

En Ultisoles y Alfisoles de Puerto Rico, Vicente—Chandler y colaboradores han estudiado los diferentes niveles de intensidades de manejo en potreros y forrajes. En ambientes ústicos, los potreros naturales en áreas empinadas produjeron alrededor de 5 ton/ha de materia seca por año, un aumento promedial anual de peso de 100 kg/ha y poseen una capacidad de carga de 0,5 a 0,7 cabezas/ha con una utilización de nitrógeno anual de 100 kg N/ha. Cuando se fertilizaron los potreros de especies mejoradas tales como Guinea, Elefante (*Pennisetum purpureum*), Pará (*Panicum purpuraceum*, syn *Brachiaria mutica*) o Pangola (*Digitaria decumbens*) con 400 kg N/ha por año, el forraje anual consumido por animales alcanzó 14 ton/ha con un contenido del 16 por ciento de proteína. Esta producción sustentó un

aumento de peso vivo de 1.100 kg/ha y una capacidad de carga de 5,5 cabezas/ha. El uso anual de nitrógeno por estos pastos promedió 300 kg N/ha. Cuando se cortaron las mismas especies como forraje cada dos meses, la producción anual alcanzó 40 toneladas/ha de materia seca con pasto Elefante fertilizado a razón de 800 kg N/ha por año. Guinea, Pangola y Pará produjeron rendimientos máximos anuales de 25 ton/ha por año con 400 kg N/ha y la hierba Melao (*Melinis minutiflora*) alcanzó 14 ton/ha con una dosis óptima de 200 kg N/ha. La excelente calidad del forraje aumentó la capacidad de carga a 10 animales por hectárea. Niveles adecuados de otros elementos nutritivos y cal comercial, más prácticas de cultivo apropiadas, fueron necesarias para obtener estos niveles de rendimientos (Vicente—Chandler *et al* 1967).

**Regiones Montañosas.** En los Andes y los valles intermontañosos de América Central y Colombia, las aplicaciones de nitrógeno a menudo aumentan los rendimientos de forraje diez veces. La ausencia de respuestas al nitrógeno no ha sido reportada, aún en tierras recién desmontadas en Costa Rica (Blue 1967). Las diferencias entre suelos se asocian más con limitaciones de otros elementos nutritivos, particularmente fósforo y azufre. La magnitud de las respuestas varían primordialmente con la altura, especie y distribución de lluvias. Un gran número de experimentos a largo plazo realizados en Colombia por Lotero, Chaverra y colaboradores y varios experimentos de corto plazo realizados en Costa Rica por Blue y Tergas, indican que la mayor producción de forrajes y más altas dosis de nitrógeno se encontraron en elevaciones más bajas. El pasto Elefante produjo de 40 a 42 ton/ha de materia seca con 600 kg N/ha por año en la región del litoral Atlántico de Costa Rica y Colombia, mientras que a elevaciones de unos 1.500 metros en ambos países los rendimientos óptimos varían de 20 a 32 ton/ha con dosis entre 100 y 200 kg N/ha por año (Blue 1967, Lotero *et al* 1968).

Estudios con más de 20 especies de gramíneas, realizados en los principales valles intramontanos de Colombia, muestran que las aplicaciones de 50 a 150 kg N/ha después de cada corte o pastoreo producen rendimientos óptimos. Un rendimiento promedio anual de 50 ton/ha de materia seca de Pangola se obtuvo en Cali con 900 a 1200 kg N/ha por año (Crowder *et al* 1964).

En ambientes ústicos, pastos tales como Yaragua (*Hyparrhenia rufa*) producen menos y responden a menores aplicaciones de nitrógeno que pastos Pangola o Elefante en ambientes údicos en Costa Rica (Blue 1967). La disminución de cantidad y calidad de pastos durante la

estación seca fueron estudiados por Tergas y Blue (1971) en la península de Guanacaste en Costa Rica. Observaron que al aplicar de 75 a 150 kg N/ha un mes antes de la estación seca, se aumentaba la producción de pasto Yaragua durante los primeros dos meses de la estación seca. Luego, los rendimientos, el contenido de proteína y el contenido de la mayoría de los elementos nutritivos excepto calcio, declinaron de una manera aguda aparentemente debido a la translocación en el sistema radicular. Sugieren la ventaja de almacenar hierbas cosechadas al final de la estación lluviosa como heno o ensilaje. Vicente—Chandler *et al* (1967) hicieron recomendaciones similares para la costa sur de Puerto Rico.

**Mezclas de Leguminosas y Gramíneas.** Mucho de los conocimientos actuales sobre leguminosas de pastoreo en América Latina ha sido resumido por Williams (1967). Aunque una proporción significativa de especies tales como *Desmodium* y *Centrosema* se encuentran en muchos potreros sin mejorar de Costa Rica y América del Sur, el uso extensivo de leguminosas en forrajes y potreros es bastante limitado. El Kudzu tropical (*Pueraria phaseoloides*) ha sido estudiado en asociación con hierbas Melao, Elefante y Pará en regiones húmedas de Puerto Rico (Vicente—Chandler *et al* 1967). Una aplicación inicial de 42 kg N/ha fue necesaria para el establecimiento y nodulación del Kudzu, pero aplicaciones subsiguientes casi erradicaron la leguminosa. Los potreros con gramíneas y Kudzu en Ultisoles empinados produjeron hasta 12 ton/ha de materia seca consumidos por ganado por año, lo que resultó en aumentos anuales de peso de 500 kg/ha y una capacidad de carga de 2,5 cabezas por hectárea. Los potreros de gramíneas intensamente fertilizados, sin embargo, produjeron más forrajes y más proteínas que las mezclas de gramíneas y hierba Kudzu. Vicente—Chandler *et al* estiman que el Kudzu fija alrededor de 200 kg N/ha por año en esas condiciones.

Chaverra *et al* (1967) observaron respuestas significativas a dosis de 25 kg N/ha por corte en potreros de trébol en la Sabana de Bogotá cuando la proporción de leguminosas fue menor del 25 por ciento. Mayores aplicaciones de nitrógeno disminuyeron el porcentaje de leguminosas.

**Epoca, ubicación y fuentes de aplicación.** Hay un completo acuerdo en la región que la época óptima de aplicación de nitrógeno se obtiene al dividir la dosis anual en cantidades iguales después de cada corte (de 4 a 6 veces por año) o la misma proporción para potreros, sin importar el suelo, clima o diferencias de especies (Crowder *et al* 1967, Herrera *et*

*al* 1967, Vicente—Chandler *et al* 1967). Tanto el rendimiento de forraje como su calidad, son superiores en esta forma que con mayor o menor frecuencia de aplicaciones. En localidades con estaciones secas fuertes, la situación es completamente diferente, pero son muy escasos los datos adicionales de los trabajos anteriormente mencionados de Quinn *et al*, y Tergas y Blue.

Lotero *et al* (1968) no encontraron diferencias entre métodos de aplicación tales como al voleo, en bandas o alrededor de manojos de hierba Elefante en Colombia.

No se han encontrado diferencias significativas entre fuentes de nitrógeno comercial inorgánico a través de la región (Lotero *et al* 1968, Rodríguez *et al* 1966, Rodríguez 1970, Vicente—Chandler y Figarella 1962, Werner *et al* 1967). En tales casos, se recomienda la urea por su menor costo y menor efecto acidificante siempre que se aplique bajo condiciones desfavorables para la volarización. Villamizar y Lotero (1967) informan que el nitrato de sodio fue superior a la urea y el sulfato de amonio en un ensayo a largo plazo con Pangola en Medellín, Colombia. No dieron explicaciones adecuadas. No se encontraron referencias sobre la evaluación de fuentes de nitrógeno de lenta liberación para potreros y forrajes.

**Eficiencia.** Debido a la necesidad de determinaciones de proteína, los datos sobre la recuperación aparente de nitrógeno por pastos son abundantes en la región. Las dosis de recuperación varían de 20 al 100 por ciento y varían con ubicación, especies y dosis. Vicente—Chandler *et al* (1967) obtuvieron un promedio del 48 al 56 por ciento de recuperación en forrajes abonados con 200 a 800 kg N/ha por año en Puerto Rico. Además, estimaron que un 12 por ciento adicional del nitrógeno aplicado permaneció en el suelo como nitrógeno orgánico cuando se aplicó una dosis anual de 800 kg N/ha durante cinco años. No se observaron mayores diferencias en recuperación de fertilizantes entre las especies, pero una disminución en eficiencia a medida que las dosis aumentaran. En Costa Rica, Blue (1967) observó diferencias de recuperación significativas entre especies en tres principales áreas ecológicas. Pangola recuperó más del 80 por ciento, mientras que el pasto Elefante recuperó del 20 al 30 por ciento en los litorales údicos. El pasto Yaragua fue superior a la hierba Bahía (*Paspalum notatum*) en los litorales ústicos y el Kikuyo (*Pennisetum clandestinum*) fue superior al pasto Elefante en condiciones de altura. Los valores de recuperación en Colombia con dosis óptimas de nitrógeno varían de 50 al 75 por ciento (Crowder *et al* 1967, Lotero *et al* 1968, Villamizar y Lotero

1967). La urea generalmente se recupera en cantidades menores que el sulfato de amonio y el nitrato de sodio, pero estas diferencias no parecen ser lo suficientemente grandes como para afectar los aspectos económicos.

**Efectos de aplicaciones intensivas de nitrógeno en las propiedades del suelo.** Las dosis recomendadas para la producción intensiva de forrajes mencionadas anteriormente pueden añadir más de 2.500 a 4.000 kg N/ha al suelo en tres a cinco años. Las aplicaciones de 2.500 kg N/ha durante cuatro a cinco años en un Tropohumult encalado en Puerto Rico y en un Andept en Colombia con un pH inicial de cerca de 6,0, bajaron el pH de la capa arable de 1,0 a 1,5 unidades cuando se usó sulfato de amonio. Con nitrato de sodio, el pH aumentó unas 0,8 unidades. Con urea o nitrato de amonio el pH bajó levemente (Vicente—Chandler *et al* 1967, Villamizar y Lotero 1967, Herrera *et al* 1967). Dosis más altas de urea, 5,4 a 10,8 ton N/ha, disminuyeron el pH de 5,8 a 5,0 y 4,5 en Medellín, Colombia (Ramírez y Lotero 1969). El efecto predecible de estos cambios en la saturación de bases de la capa arable del suelo ha sido documentado por Ramírez y Lotero (1969) y Vicente—Chandler *et al* (1967). El agotamiento de las bases a 60 cm en el subsuelo fue causado por aplicaciones fuertes de N en dos suelos de Puerto Rico (Abruña *et al* 1958). Cuando se aplicó cal con altas dosis de N, la saturación de bases de los subsuelos ácidos aumentó dramáticamente debido al movimiento del calcio y magnesio aplicado en la superficie (Pearson *et al* 1962).

El efecto de la fertilización intensiva con nitrógeno en la compactación del suelo por pastoreo en suelos portorriqueños fue estudiado por Vicente—Chandler y Silva (1960). Encontraron que dosis altas de nitrógeno bajaron la compactación en la capa superior del suelo sembrado de Pangola, Pará y Elefante, pero no así con la hierba Guinea. Sin embargo, una fuerte fertilización con nitrógeno aumentó el porcentaje y volumen total de los poros grandes en la capa de 7 a 15 cm del suelo con todos los pastos. Concluyeron que las propiedades físicas no se deterioran en potreros fuertemente fertilizados en Ultisoles de Puerto Rico.

## 5.5 CONCLUSIONES

Se han realizado bastantes investigaciones sobre la fertilización con nitrógeno en la América Latina Tropical. Sin embargo la cantidad y calidad de la información obtenida no está balanceada ni geográficamente.

camente ni en términos de la importancia relativa de los cultivos. Más allá de simples curvas de respuestas, existe información extensiva para cultivos tales como el maíz, el arroz, la papa, y forrajes en sólo uno o dos países por cultivo. La falta de datos sobre fertilización de yuca es uno de los vacíos más obvios. La necesidad de aplicar altas dosis de nitrógeno a frijoles implica que la fijación simbiótica de nitrógeno por *Rhizobia* no ha sido efectiva en la región. Se requiere un mayor énfasis en el uso de leguminosas como fuente de nitrógeno en pastos.

En muchos casos, las respuestas a nitrógeno fueron lineales. Dosis más altas deben ser incluidas en experimentos futuros a fin de obtener mejores estimaciones de dosis óptimas, particularmente cuando se emplean prácticas culturales mejoradas o se usan variedades de alto rendimiento.

La variación en necesidades de nitrógeno por estaciones, humedad del suelo, acidez, susceptibilidad de vuelco y otros factores, requieren mayor atención. Las curvas de asimilación de nitrógeno por varios cultivos existen en sólo algunos lugares. Hay necesidad de mejores estimaciones de las cantidades mineralizadas en el suelo y la eficiencia del uso de fertilizantes. También se debe experimentar más de cerca con los sistemas principales de cultivo, tales como el arroz de secano en vez del arroz bajo riego. Esta información puede ser obtenida de una manera rápida con menor número de experimentos mejor diseñados y controlados.

## 5.6 BIBLIOGRAFIA

### General

- DeGeus, J. G. 1967. Fertilizer guide for tropical and subtropical farming. Centre d'Etude de l'Azote, Zurich.
- Medina, H. 1972(ed). Segundo Coloquio de Suelos. El Uso del Nitrógeno en el Trópico. Suelos Ecuatoriales 4. Volumen 1.
- Rodríguez, M. 1967. Desarrollo de la ciencia del suelo en los últimos 25 años en América Latina. En: IICA: Las Ciencias Agrícolas en América Latina, Turrialba, Costa Rica pp. 523–565.
- Van Wambeke, A. 1970. Soils studies in tropical Latin America. II. Soil fertility. Unpublished report to the Committee on Tropical Soils, National Academy of Sciences 43 pp.

**Maíz**

- Berger, J. 1972. Maize production and the manuring of maize. Centre d'Etude de l'Azote No. 5., Geneva.
- CIMMYT, 1967. Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo. Memoria Anual. 1966-67. México, DF, México.
- CIMMYT, 1969. Puebla project. Report of a program to rapidly increase corn yields on small holdings. Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo, México, D.F., México.
- Colwell, W. E. 1946. Studies on the effect of nitrogen, phosphorus and potassium on the yield of corn and wheat in Mexico. Soil Sci. Soc. Amer. Proc. 11:332-340.
- Cornell University 1971. Annual Progress Report. Contract AID/csd 2490, Ithaca, N. Y. 30 pp.
- Fernández, R. y Laird, R. G. 1958. Efectos de la sequía durante el espigamiento de maíz fertilizado con diferentes cantidades de nitrógeno. Secr. Agric. Ganad., (México) Foll. Tec. 30.
- Flor, C. A. 1965. Respuesta del maíz a la aplicación de fertilizantes en las regiones sur y central del valle del río Cauca. Tesis de grado. Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Agronomía, Palmira.
- Freitas, L. M. M. de., McClung, A. C. and Lott, W. L. 1960. Field studies on fertility problems of two Brazilian Campo Cerrados. 1958-1959. IBEC Res. Inst. Bull. 21.
- Gallo, J. R. & Coelho, F. A. S. 1963. Diagnose da nutrição nitrogenada do milho pela análise química das folhas. *Bragantia* 23(43):537-548.
- Gallo, J. R., Hiroce, R. & Miranda, L. T. de. 1965. Análise foliar na nutrição de plantas de milho. II. Relatório em progresso sobre estudos em N, P, K, e elementos menores. *Bragantia* 24:47.
- Gallo, J. R., Hiroce, R. and Miranda, L. T. de. 1968. Análise foliar na nutrição de plantas de milho. III. Correlações de análise das folhas com produção. *Bragantia* 27(1):177-186.
- Galiano, S. F. 1968. Diagnóstico foliar en maíz. Ensayo de campo con Diacol V-103. Rev. Inst. Investig. Tecnológicas. J2:14-24.
- Gargantini, H., dos Santos, D., Sobrinho, J *et al.* 1968. Estudo comparativo das formas de nitrogênio, sulfato de amônia e amônia anidra na fertilização do milho. *Bragantia* 27(2):67-70.
- Gargantini, H., Santos, D. dos, *et al.* 1968. Estudo comparativo das formas de nitrogênio sulfato de amônia e amônia anidra na fertilização do milho. *Bragantia* 27(17):LXI-LXX.

- Gil, A. A. 1959. Comparación entre cuatro fertilizantes nitrogenados en maíz, en un suelo del valle del Cauca, Colombia. *Acta Agron.* 9:153–167.
- Gómez, J. A. 1968. Respuesta de un monocultivo de maíz a la fertilización con N, P y K. *Agric. Trop. (Colombia)* 24(3):157–161.
- Gomes, A. G., Viegas, G. P. & Freire, E. S. 1963. Experimentos de fertilização em milho no vale do Paraíba. *Bragantia* 22(4):149–157.
- Gómez, J. A. y McClung, A. C. 1968. Influencia de la irrigación, de la población y la fertilización con nitrógeno en la producción y otras características del maíz. *Agric. Trop. (Colombia)* 14(1):55–64.
- Gómez, J. A., Zorilla, D. F. y Flor, C. A. 1969. Algunas consideraciones sobre la materia orgánica en los suelos cultivados con maíz en el Valle del río Cauca. *Rev. ICA* 4(1):3–10.
- IAEA. 1970. Fertilizer management practices for maize: Results of experiments with isotopes. Tech. Reports Series 121. International Atomic Energy Agency, Vienna.
- Hardy, F. and Bazan, R. 1966. The maize microplot method of soil testing. *Turrialba* 16(3):267–270.
- Laird, R. J. y Lizárraga, H. H. 1959. Fertilizantes y población óptima de plantas para maíz de temporal en Jalisco. *Secr. Agric. Ganad. (México) Foll. Tec.* 35.
- Laird, R. J., Núñez, R., Puente, R. y del Toro, J. 1959. Manejo de los residuos de las cosechas en una rotación de maíz y trigo en El Bajío. *Secr. Agric. Ganad. (México) Foll. Tec.* 37.
- Laird, R. J. y Rodríguez, G. H. 1965. Fertilización de maíz de temporal en regiones de Guanajuato, Michoacán y Jalisco. *Secr. Agric. Ganad. (INIA, México) Foll. Tec.* 50.
- Lopez-Arana, M. 1969. Problemas de fertilización en suelos derivados de cenizas volcánicas en Colombia. Panel sobre Suelos Derivados de Cenizas Volcánicas en América Latina. pp. C. 1.1–C.1.6, Turrialba, Costa Rica.
- Lugo, C., J. 1969. Determinación de la eficiencia de utilización del nitrógeno mediante el empleo del isótopo estable  $N^{15}$  en el cultivo del maíz. *Fitotecnia Lat.* 6(1):211–233.
- Mandarres, D. C. 1960. Influencia de algunas labores de nivelación y adición de nitrógeno sobre la fertilidad de un suelo franco arcilloso de la serie Estación Palmira. *Acta Agron.* 10:331–344.
- Martini, J. A. 1969. La microparcela de campo como un método biológico rápido para evaluar la fertilidad del suelo. *Turrialba* 19(2):261–266.

- Mikkelsen, D. S., Freitas, L. M. M. de, and McClung, A. C. 1963. Effects of liming and fertilizing cotton, corn and soybeans on Campo Cerrado soils, State of São Paulo, Brazil. IRI Res. Inst. Bull. 29.
- Miranda, L. T. 1960. Relação entre teores de nitrogênio, fósforo e pH do solo, e a resposta à adubação fosfatada em milho. *Bragantia* 19(31):503-513.
- Miranda, L. T., Viegas, G. P., & Freire, E. S. 1964. Adubação do milho. XXIV. Resultados de um ensaio permanente com estêrco, calcário e N, P, K mineral. *Bragantia* 23(15):153-177.
- Miranda, L. T. & Freire, E. S. 1964. Adubação do milho. XXV. Modo e época de aplicação de nitrogênio. *Bragantia* 23(31):371-386.
- Navarro, J. 1966. ¿Cómo deben aplicarse los fertilizantes en el maíz? *Bol. Guanos Fert. Méx.* 11(47):10-16.
- Orihuela, G., J. y Espinoza, J. 1968. Efectos de diferentes fuentes y niveles de nitrógeno en el rendimiento del maíz. *Oriente Agrop. (Venez.)* 1(1):33-43.
- Peregrina, R. P. 1965. La influencia del espaciamiento entre las hileras de plantas de maíz sobre la producción de abonos verdes en el trópico. 2º Congreso Soc. Mex. *Ciencia de Suelo* 1:121-127.
- Peregrina, R. P. 1965. La magnitud de la aportación de nitrógeno por diferentes leguminosas en siembras asociadas con maíz. 2º Congreso Soc. Mex. *Ciencia de Suelo* 1:135-141.
- Puente, F., Sánchez, D. N., Chávez, S. y Laird, R. J. 1963. Prácticas de fertilización y población óptima para siembras de maíz en las regiones tropicales de Veracruz. *Secr. Agric. y Ganad. (INIA, México) Foll. Tec.* 45.
- Ramírez, R. 1964. Fertilización nitrogenada y densidad de siembra del maíz en la serie Maracay. *Agron. Trop. (Venezuela)*. 14(23):155-167.
- Rockefeller Foundation 1963-64. Annual Report. Program in the Agricultural Sciences, New York.
- Rodríguez, J. H. y Laird, R. J. 1967. Estudio preliminar de las posibilidades de fertilizar el maíz temporal en El Bajío. *Bol. Guanos Fert. Mex.* 12(52):12-16, 21-28.
- Seminario C. y Peña E. 1971. Estudio de los efectos de nitrógeno, fósforo y potasio en los rendimientos de maíz híbrido. Centro Regional de Investigaciones Agropecuarias del Norte, Lambayeque, Perú, 16 pp.
- Turrent, A. 1970. Aporte de la investigación agronómica en un proyecto para obtener aumentos rápidos de la producción. En: CIMMYT: Estrategias para aumentar la productividad agrícola pp. 37-45.
- Urrutia, V. M. 1967. Corn production and soil fertility changes under shifting cultivation in Uaxatún, Guatemala. M. S. Thesis, Univ. of Florida, Gainesville, 103 pp.

Viegas, G. P. & Freire, E. S. 1961. Experimentos de adubação do milho. XXIII. Influência de P, K e NPK em certas características das plantas e das espigas. *Bragantia* 20(31):741-757.

Viegas, G. P., Andrade Sobrinho J., & Venturini, W. R. 1963. Comportamento de 3 variedades de milho plantadas em 3 níveis de fertilizantes e 3 espaçamentos. *Bragantia* 22(18):201-236.

### Arroz

Ahmad, N. and Whiteman, P. T. S. 1969. Comparison of sulfate of ammonia and slow-release nitrogen fertilizers for rice in Trinidad. *Agron. J.* 61(5):730-734.

Calzada, J., Contreras, P., Espinoza, M. *et al.* 1959. Resumen de 64 experimentos de abonamiento en el cultivo del arroz y recomendaciones para agricultores. Min. de Agr. PCEA Informativo 65, Lima, Perú.

Carmen, M. L. 1969. Yield of rice as affected by fertilizer rates, soil and meteorological factors. Ph.D. Thesis. Iowa State University, Ames. 174 pp.

Carmen, M. L. 1969. Fertilización de suelos arroceros. En: Curso de Capacitación sobre el Cultivo del Arroz, pp. 339-367. Programa Nacional de Arroz, Lambayeque, Perú.

Cordero, A. 1965. Respuesta del arroz a cuatro fuentes del sulfato de amonio de diferente solubilidad. Dept. de Agronomía, Ministerio de Agric. y Ganadería, San José, Costa Rica, 19 pp.

Cordero, A. 1970. Estudios de la fertilización nitrogenada de arroz variedad IR-8, Dept. de Agronomía, Ministerio de Agric. y Ganadería, San José, Costa Rica, 21 pp.

Cordero, A. y Romero, A. 1972. Estudios de fertilización nitrogenada del arroz en el Pacífico Húmedo de Costa Rica. Dept. de Agronomía, Ministerio de Agric. y Ganadería, San José, Costa Rica, 14 pp.

Doyle, J. J. 1966. The response of rice to fertilizer. *FAO Agr. Studies* 70.

Espinoza, E., Alvarez, L. F. y Concepción, M. 1965. Efecto del nitrógeno en el rendimiento de variedades de arroz de diferentes características En: 11 Reunión anual PCCMA, Panamá pp. 128-133.

Estación Experimental Agropecuaria de Lambayeque 1963. Memoria Anual. SIPA, Zona Agraria II, Lambayeque, pp. 23-75.

Estación Experimental Agropecuaria de Lambayeque 1965. Memoria Anual. SIPA, Zona Agraria II, Lambayeque. pp. 18-19.

Galiano S., F. 1960. Efecto de la fertilización nitrogenada en la absorción de potasio por el arroz según el análisis foliar. *Rev. Inst. Invest. Tecnológicas.* 40:9-19.

- Gómez, J. A. 1966. Manejo de suelos arroceros. *Agr. Trop. (Colombia)* 22(7):382–385.
- Jarero, M. y Ortega E. 1968. Fertilización del arroz en el valle del río Fuerte. *Agr. Tec. (Méx.)* 2(8):370–373.
- Kawano, K., Sánchez, P. A., Nureña, M. A. and J. R. Vélez. 1972. Upland rice in the Peruvian Selva. In: "Rice Breeding". pp. 637–643. International Rice Research Inst., Los Baños, Philippines.
- Marín, G. y Rosero, M. J. 1968. Análisis de suelos y la fertilización del arroz. *Agr. Trop. (Colombia)* 24(7):404–406.
- Mata, J. 1953. Ensayos regionales de fertilización en arroz. *B. Tec. Min. Agr. Costa Rica* 13:15.
- Mota, F. S. da 1951. Relação entre produção e fertilizantes en arroz no Estado do Río Grande do Sul. *Lav. Arroz.* 5(49):17–19.
- Murdock, J., Bernardes, B., Pavageau, M. *et al.* 1965. Experimentos de adubação de arroz. *Lav. Arroz.* 19(224):7–13.
- Oliveira, A., Montojos, J. C. e Igue, T. 1964. Adubação do arroz de sequeiro. I. Avaliação do influência de nitrogênio, fósforo e potássio sobre características da variedades precoces de arroz de sequeiro. *Bragantia* 23(8):73–81.
- Oliveira, D. de A., Montojos, J. C. & Igue, T. 1965. Ensaio preliminares de adubação do arroz de sequeiro. II. Cultivar Pratão. *Bragantia* 24(33):437–446.
- Oliveira, D. de A., Montojos, J. C., Igue, T. *et al.* 1966. Ensaio preliminares de adubação do arroz de sequeiro. III. Cultivar Dourado Precoco. *Bragantia* 25(1):1–8.
- Owen, E. 1970. Fertilización de arroz en los Llanos Orientales. Programa Nacional de Arroz (Colombia) Informe Anual, ICA, Palmira pp. 154–159.
- Penny, J. M. 1956. Novas variedades e fertilidade do solo. *Lav. Arroz.* 10(114):237–238.
- Penny, J. M. 1965. 27 años de pesquisas com adubação mineral na cultura do arroz. *Lav. Arroz.* 19(215):11–12.
- Penny, J. M. 1965. Ensaio de adubação: adubos en cobertura. *Lav. Arroz.* 19(221):29–31.
- Ramírez, G. E. y Sánchez, P. A. 1971. Factores que afectan la eficiencia de utilización del nitrógeno por el cultivo del arroz bajo riego intermitente en la Costa del Perú. *Progr. Nac. Arroz. (Perú) Inf. Tec.* 59.
- Riccio, O. y Gavidia O., A. 1972. Respuesta de siete cultivares de arroz (*Oryza sativa* L.) a ocho niveles crecientes de nitrógeno. *Progr. Nac. Arroz (Perú) Inf. Tec.* 70.

- Rodríguez, A. y Arias, C. 1966. Efectos de nitrógeno, fósforo y potasio sobre rendimientos en arroz, en suelos del sistema de riego Guarico, Calabozo, Mem. Soc. Venez. Ing. Agr. 2, 13 pp.
- Rosero, M. J. y Moreno, P. 1970. Resultados preliminares sobre fertilización del cultivo del arroz en Aracataca, Magdalena. Progr. Nac. Arroz (Colombia) Inf. Anual ICA Palmira pp. 144–153.
- Sánchez, P. A. 1972a. Fertilización y manejo del nitrógeno en el cultivo del arroz tropical. Suelos Ecuatoriales 4(1):197–240.
- Sánchez, P. A. 1972b. Técnicas agronómicas para optimizar el potencial productivo de nuevas variedades de arroz en América Latina. "Políticas Arroceras en Latinoamérica". pp. 27–43. Centro Internacional de Agricultura Tropical, Cali, Colombia.
- Sánchez, P. A. y Delgado, A. 1969. Propiedades de suelos en relación al cultivo del arroz bajo condiciones peruanas. En: "Curso de Capacitación sobre el Cultivo del Arroz", pp. 217–254. Programa Nacional de Arroz, Lambayeque, Perú.
- Sánchez, P. A. y Calderón, M. V. de. 1970a. Respuesta varietal a niveles de nitrógeno en sistemas de transplante y siembra directa en la Costa Norte del Perú. Progr. Nac. Arroz (Perú). inf. Tec. 16.
- Sánchez, P. A. y Calderón, M. V. 1970b. Epocas de aplicación de nitrógeno en sistemas de transplante y siembra directa en la Costa Norte del Perú. Progr. Nac. Arroz (Perú). Inf. Tec. 17.
- Sánchez, P. A. and Calderón, M. V. 1971. Timing of nitrogen applications for rice grown under intermittent flooding in the Coast of Peru. Int. Symp. Soil Fert. Eval. Proc. (New Delhi) 1:595–602.
- Sánchez, P. A. and Nureña, M. A. 1972. Upland rice improvement under shifting cultivation in the Amazon Basin of Peru. North Carolina Agr. Exp. Sta. Tech. Bull. 210.
- Sánchez, P. A., Ramírez, G. E. y Calderón, M. V. 1973. Nitrogen responses to rice under high solar radiation and intermittent flooding in Perú. Agronomy Journal 65:523–529.
- Schmidt, N. C. & Gargantini, H. 1966. Aplicação de nitrogênio em cobertura em cultura de arroz. Bragantia 25(5):57–63.
- Schmidt, N. C. & Gargantini, H. 1963. Adubação nitrogenada para arroz em solos argilosos de várzeas. Bragantia 22(28):367–371.
- Ten Have, H. 1967. Research and breeding for mechanical culture of rice in Surinam. pp. 197–231. Wageningen: Centre for Agricultural publications and Documentations.
- Vasconcelos, M. de & Almeida, L. M. 1966. Adubação química do arroz no nordeste. Pes. Agropec. Bras. 1:353–356.

### Trigo

- Arvizu, Z. y Laird, R. J. 1958. Fertilización del trigo en el Valle del Yaqui. Secr. Agric. Canad. (México) Foll. Tec. 26.
- Blanco, H. G., Venturini, W. R. & Gargantini, H. 1965. Adubação mineral para o trigo no sul do Estado de São Paulo. *Bragantia* 24:481–505.
- Chávez, S. y Laird, R. J. 1959. Calificación de algunos aspectos de las prácticas de riego usadas en los sembríos de trigo en El Bajío y su relación con la respuesta a fertilizantes. Secr. Agric. Ganad. (México) Foll. Tec. 36.
- CIMMYT 1968–69. Report. International Maize and Wheat Improvement Center, Mexico.
- Fernández, R. y Laird, R. J. 1958. Efectos de la humedad del suelo y la fertilización con nitrógeno sobre el rendimiento y la calidad del trigo. Secr. Agric. Ganad. (México) Foll. Tec. 27.
- Jorge, J. A., Gargantini, H., Igue, T. *et al.* 1965. Efeito da adubação NPK na produção e no teor de proteína do trigo no sul do Estado de São Paulo. *Bragantia* 24:457–480.
- Laird, R. J., Núñez, R., Puente, F. y del Toro, J. 1959. Manejo de los residuos de las cosechas en una rotación de maíz y trigo en el Bajío. Secr. Agric. Ganad. (México) Foll. Tec. 37.
- Manzano, A., Carrera, W. y Waugh, D. L. 1969. La fertilización del trigo y su relación con el análisis de suelo. *Int. Soil Fert. Eval. Imp. Project Spec. Bull.* 1.
- Peña, J. 1961. Estudio de los suelos de las zonas trigueras del Ecuador, y su fertilidad. *An Univ. Centr. Ecuador* 90(345):221–238.
- Ramírez, C. H., Martínez, M. A., Ibarry, E. L. y Palencia, E. 1971. Exploración de la respuesta del trigo a la fertilización con N, P y K en suelos de las series Quezaltenango y Tecpán. *Agronomía (Guatemala)* 11(1):5–22.
- Torres, C., Ortega, E. y Moreno, D. 1963. Correlación entre el contenido de nitratos y los rendimientos en el trigo y el algodón. *Agric. Tec. (México)* 2(3):104–106.
- Vega, V. M., Baird, G. B. *et al.* 1959. Algunos aspectos de la fertilización del trigo en suelos de la Sabana de Bogotá y alrededores. D.I.A. Boletín Técnico No. 4.

### Yuca

- Krochmal, A. and Samuels, G. 1961. The influence of N, P, K levels on the growth and tuber development of cassava in tanks. *Proc. Int. Symp. Trop. Root Crops Trinidad* 1(2):97–102.
- Malavolta, E., Coury, T., Graner, E. A. *et al.* 1953. Adubação da mandioca 1. Experimento em areia lavada. *Ann. Esc. Agric. Luiz de Queiroz* 10:217–222.

- Molinary, E. and Juliá, F. 1939. Fertilizer experiments with cassava. P. Rico Agr. Exp. Sta. Ann. Report 1938–1939. pp. 89.
- Normanha, E. S. & Pereira, A. S. 1950. Aspectos agronômicos da cultivo da mandioca. *Bragantia* 10:179–202.
- Normanha, E. S. 1951. Adubação da mandioca no Estado de São Paulo. *Bragantia* 11:181–194.
- Normanha, E. S. & Freire, E. S. 1959. Consequências da aplicação de adubos em contato com ramas de mandioca. *Bragantia* 18:1 -IV.
- Normanha, E. S., Pereira, A. S. & Freire, E. S. 1968. Modo e época de aplicação de adubos minerais em cultura de mandioca. *Bragantia* 27(12):143–154.
- Orioli, C. A., Mogilner, I., Bartra, W. L. *et al.* 1967. Acumulación de materia seca, N, P, K y Ca en *Manihot esculenta*. *Bonplandia* 2:175–182.
- Silva, R. J. da, & Freire, E. S. de 1968. Efeito de adubos minerais aplicados no sulco no plantio da mandioca no campo. *Bragantia* 27(2):291–300.
- Silva, J. R. de & Freire, E. S. de 1968. Efeito de doses crescentes de nitrogênio, fósforo e potássio sobre a produção de mandioca em solos de baixa e alta fertilidade. *Bragantia* 27(2):357–364.
- Stehle, H. 1959. The cultivation of manioc and its industrial possibilities in the French Antillies. *Riz. Rizicult.* 5:188–192.

#### Papa

- Boock, O. J. & Freire, E. S. 1960. Adubação da batatinha. Experiências com adubos minerais e farelo de cacau. *Bragantia* 19(19):785–798.
- Boock, O. J. & Freire, E. S. 1961. Adubação da batatinha. Experiências em solos de baixa fertilidade. *Bragantia* 20(32):759–776.
- Boock, O. J., Küpper, A. & Freire, E. S. 1961. Adubação da batatinha. Experiências com calcário, sulfato de magnésio e NPK. *Bragantia* 20(18):85–88.
- Boock, O. J. & Freire, E. S. 1962. Adubação da batatinha com nitrogênio orgânico e inorgânico. *Bragantia* 21(8):47–51.
- Boock, O. J., Netto, J. E. & Freire, E. S. 1962. Adubação da batatinha em solo rico de materia orgânica. *Bragantia* 21(2):13–19.
- Gargantini, H., Freire, E. S., & Nobrega, S. 1965. Adubação mineral da batatinha. *Bragantia* 24(3):29–40.
- Gargantini, H. *et al.* 1963. Absorção de nutrientes pela batatinha. *Bragantia* 22(22):267–290.

- Gómez, A. G. & Freire, E. S. 1962. Adubação da batatinha no vale do Paraíba. Experiências com doses crescentes de NPK. *Bragantia* 21(10):123–141.
- Gómez, A. G., Gargantini, H. & Venturini, W. R. 1963. Competição entre fertilizante nitrogenado, orgânico e mineral na cultura da batatinha. *Bragantia* 22(46):575–581.
- Gómez, A. G. & Freire, E. S. 1967. Adubação da batatinha no vale do Paraíba. *Bragantia* 26(14):241–255.
- McCollum, R. E., and Valverde, C. 1968. The fertilization of potatoes in Peru: I. A summary and interpretation of data from field experiments completed from 1959 through 1964 in the Sierra. N. C. Agr. Exp. Sta. Tech. Bull. 185.
- Nobrega, S., Schmidt, N. C. & Freire, E. S. 1963. Modo e época de aplicação de nitrogênio na cultura da batatinha. I. *Bragantia* 22(32):401–415.
- Nobrega, S. & Boock, O. J. 1963. Modo e época do aplicação de nitrogênio na cultura da batatinha II. *Bragantia* 22(41):521–528.
- Nobrega, S. *et al.* 1964. Adubação mineral da batatinha. I. Região da Alta Sorocabana. *Bragantia* 23(29):83–93.
- Nobrega, S. & Freire, E. S. 1964. Modo e época de aplicação de nitrogênio na cultura da batatinha. III. *Bragantia* 23(29):350–364.
- Rodríguez, M. J., Baird, G., y Correa, J. V. 1960. Fertilización de la papa en Antioquia. D.I.A. Bol. Tec. 5.
- Valdez, L. A. y Arca, M. 1964. Producción de materia seca y extracción de N, P, K, Ca y Mg por un cultivo de papa en la costa central. *An. Cient. Univ. Agr. Lima* 2(3):221–224.
- Valverde, S. C., Quevedo, F. and McCollum, R. 1966. Response of potatoes to nitrogen, P and K in soils of the Peruvian Sierra. In: *Congresso Panamericano de Conservação de Solos*. pp. 491–502.

#### Camote y Ñame

- Breda, J., Freire, E. y Abramides, E. 1966a. Adubação da batata-doce em "cerrado". Efeito do nitrogênio, fósforo e potássio. *Bragantia* 25(22):241–251.
- Breda, J., Freire, E. S. y Abramides, E. 1966b. Adubação de batata-doce com diferentes doses de nitrogênio, fósforo e potássio. *Bragantia* 25:291–296.
- Camargo, A. 1951. Adubação da batata-doce. I. Efeito da adubação mineral. *Bragantia* 11:55–79.
- Camargo, A., Freire, E. S. & Venturini, W. R. 1962a. Efeito da calagem e de diversas adubações na batata-doce e no cará em solos de baixa fertilidade derivados do arenito de Botucatu. *Bragantia* 21(11):143–161.

- Camargo, A. & Freire, E. S. 1962b. Adubação na batata-doce em São Paulo. III. Métodos de aplicação de NPK e estérco. *Bragantia* 21(36):639–652.
- Camargo, A. & Freire, E. S. 1962c. Adubação da batata-doce em São Paulo. IV. Experiências comparando formas do NPK. *Bragantia* 21(49):849–855.
- Chapman, T. 1965. Some investigations into factors limiting yields of White Lisbon yam (*Dioscorea alata*, L.) under Trinidad conditions. *Trop. Agr. (Trinidad)* 42(2):145–151.
- Da Silva, J. *et al* 1971. Efeitos do espaçamento, adubação e tamanho de nudos na produção do inhame. *Experientiae* 12:5.
- Ferguson, T. V. and Haynes, P. H. 1970. The response of yams (*Dioscorea* spp.) to nitrogen, phosphorus, potassium and organic fertilizers. *Proc. Second Inter. Symp. on Tropical Root and Tuber Crops. Honolulu* 1:93–96.
- Gooding, E. G. B. 1971. Effects of fertilizing and other factors on yams in Barbados. *Exp. Agr.* 7(4):315–319.
- Landrau, P. and Samuels, G. 1951. The effects of fertilizer on the yield and quality of sweet potatoes. *J. Agr. Univ. Puerto Rico* 35(2):71–87.

#### Frijoles

- Fassbender, H. W. 1967. La fertilización del frijol (*Phaseolus* sp.). Turrialba 17(1):46–52.
- Fontes, L. A. N., Gomes F. R. & Viera, C. 1965. Resposta do feijoeiro a aplicação de N, P, K e calcário da zona da mata, Minas Gerais. *Ceres* 12(71):265–285.
- Gargantini, H. & Wutke, A. C. 1960. Fixação de nitrogênio associado às raízes do feijão de porco e do feijão baiano. *Bragantia* 19:639–652.
- Hiroce, R., Gallo, J. R. & Miyasaka, S. 1969. Análise foliar em feijão das sêcas (*Phaseolus vulgaris* L.). I. Nutrição nitrogenada e potássica. *Bragantia* 28(1):1–7.
- Igue, T. & Pompeu, A. S. 1968. Reação de feijão das sêcas à diferentes níveis de fertilização. *Bragantia* 27(18):71–75.
- Martini, J. A. y Pinchinat, A. M. 1967. Ensayos de abonamiento del frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) en el invernadero con tres suelos de áreas frijoleras de Costa Rica. Turrialba 17(4):411–418.
- Mascarenhas, H. A. A., Miyasaka, S., Igue, T. *et al* 1966. Influência de nitrogênio de varias fontes e datas de aplicação na cultura do feijoeiro de seca. *Bragantia* 25(9):XLI–XLIII.
- Mascarenhas, H. A. A., Moyasaka, S., Freire, E. S. *et al*. 1967a. Respostas do feijão das sêcas ao N, P e K em solo orgânico no município de Ribeirão Preto, Estado de São Paulo. *Bragantia* 26(2):V–VII.

- Mascarenhas, H. A. A., Miyasaka, S., Almeida, L. D. de. *et al.* 1967b. Adubação verde do feijoeiro da sêca com ervilha de vaca. *Bragantia* 26:37–40.
- Mascarenhas, H. A. A., Miyasaka, S., Lovadini, L. A. C. *et al.* 1967c. Efeito da adubação verde do feijoeiro da sêca com crotalaria. *Bragantia* 26(17):219–234.
- Mascarenhas, H. A. A., Miyasaka, S., Igue, T. *et al.* 1967d. Adubação mineral do feijoeiro XI. Efeitos de N, P, K e da calagem em campo cerrados de planalto Paulista. *Bragantia* 26(22):303–316.
- Mascarenhas, H. A. A., Almeida, L. D., Miyasaka, C. *et al.* 1969. Adubação mineral do feijoeiro, XII. Efeitos da calagem, do nitrogênio e do fósforo em solo Latosol Vermelho Amarelo do vale do Ribeira. *Bragantia* 28(7):71–83.
- Miyasaka, S., Freire, E. S. & Mascarenhas, H. A. A. 1963. Modo e época de aplicação de nitrogênio na cultura do feijoeiro. *Bragantia* 22(4):511–519.
- Miyasaka, S., Igue, K., Freire, E. S. 1965a. Adubação do feijoeiro em solos derivados do Arenito Bauru. *Bragantia* 24(20):231–245.
- Miyasaka, S., Freire, E. S., Mascarenhas, H. A. A. *et al.* 1965b. Adubação verde, calagem e adubação mineral do feijoeiro em solo com vegetação de cerrado. *Bragantia* 24(26):321–338.
- Miyasaka, S., Freire, E. S. & Mascarenhas, H. A. A. 1965c. Efeito da matéria orgânica sobre a produção de feijoeiro. *Bragantia* 24(38):LIX–LXI.
- Miyasaka, S., Igue, T. & Campaua, M. 1966a. Adubação mineral do feijoeiro. II. Efeito de N, P, K da calagem de uma mistura de enxofre e micronutrientes em terra roxa misturada. *Bragantia* 25(13):145–159.
- Miyasaka, S. *et al.* 1966b. Adubação mineral do feijoeiro. III. Efeito de N, P, K da calagem e de uma mistura de enxofre e micronutrientes em solo massapé–salmourão. *Bragantia* 25(15):179–188.
- Miyasaka, S., Freire, E. S., Mascarenhas, H. A. A. *et al.* 1966c. Efeito da adubação verde com uma gramínea e quatro leguminosas sôbre a produção do feijoeiro da sêca em terra roxa misturada. *Bragantia* 25(25):277–289.
- Miyasaka, S., Pettinelli, A., Freire, E. S. *et al.* 1966d. Adubação mineral do feijoeiro. IV. Efeitos de N, P, K da calagem e de uma mistura de enxofre e micronutrientes em Tietê e Tatuí. *Bragantia* 25(27):297–305.
- Miyasaka, S., Igue, T. *et al.* 1966e. Adubação mineral do feijoeiro da sêca. Efeitos de N, P, K, S e de uma mistura de micronutrientes em dois solos do Paraíba. *Bragantia* 25(28):307–316.
- Miyasaka, S., Mascarenhas, H. A. A., & Freire, E. S. 1966f. Adubação mineral para feijoeiro. VI. Efeito de N, P, K, S e de uma mistura de micronutrientes em solos “massapé–salmourão”. *Bragantia* 25:371–384.

- Miyasaka, S., Freire, E. S., Mascarenhas, H. A. A. *et al.* 1966g. Adubação mineral do feijoeiro. VII. Efeito do N, P, K, S, calcário e uma mistura de micronutrientes na parte sul do planalto de São Paulo. *Bragantia* 25:385–393.
- Miyasaka, S., Freire, E. S. & Mascarenha., H. A. A. 1966h. Adubação mineral do feijoeiro. VIII. Efeito de N, P, K, S uma mistura de micronutrientes em experimentos recentes em Tatuí e Tieê. *Bragantia* 25:393–405.
- Miyasaka, S., Mascarenhas, H. A. A., Freire, E. S. *et al.* 1967a. Adubação mineral do feijoeiro, IX. Efeitos de N, P, K, S, e uma mistura de micronutrientes em terra roxa misturada previamente tratada ou não com calcário dolmítico e adubação verde com labelabe. *Bragantia* 26(12):161–180.
- Miyasaka, S., Lovadini, L. A. C., Freire, E. S. *et al.* 1967b. Efeitos, sobre a produção do feijoeiro, da aplicação de diversos tipos de matéria orgânica não decomposta, na presença da adubação mineral com P, NP ou PK. *Bragantia* 26(14):187–196.
- Miyasaka, S., Freire, E. S., Mascarenhas, H. A. A. *et al.* 1967c. Adubação mineral do feijoeiro. X. Efeito de N, P, K, S e de uma mistura de micronutrientes, em terra roxa legítima e terra roxa misturada. *Bragantia* 26(21):287–302.
- Miyasaka, S., Freire, E. S. & Igue, T. *et al.* 1967d. Respostas do feijoeiro a aplicação de diversos tipos de matéria orgânica não decomposta na presença de adubações mineral com P, PK, NP ou NPK. *Bragantia* 26(25):335–344.
- Oliveira, H. A., Moraes, J. F. V., Pilczer, M. M. *et al.* 1968. Efeito da aplicação de nitrogênio, fósforo, potássio e calcário na produção de ervilhas (*Pisum sativum* L.) em Rosário do Sul, R. G. S., Brasil. *Pesq. Agropec. Bras.* 3:243–253.

#### Soya y Maní

- Acuña, E. J., and Sánchez, C. P. 1969. Response of the groundnut to application of nitrogen, phosphorus and potassium on the light sandy savanna soils of the state of Monegas. *Fertilité* 35:3–9.
- Arroyo, J., Allievi, J., y Mazzani, B. 1967. Ensayo de fertilizantes en maní realizado en la Sabana de Londres. (Venezuela). 2(2):101–111.
- De Freitas, L. M. M., Mc Clung, A. C. and Lott, W. L. 1960. Field studies on fertility problems of two Brazilian Campos Cerrados. *IBEC Res. Inst. Bull.* 21.
- Mazzini, B., Allieve, J., Hinojosa, S. *et al.* 1969. Quelques aspects de la fertilisation minerale de l'arachide au Venezuela. *Oleagineux* 23(6):383–385.
- Mascarenhas, H. A. A., Miyasaka, S., Freire, E. S. *et al.* 1967a. Adubação da soja. V. Efeitos da inoculação das sementes com *Rhizobium* e da subsequente "peletização" com pasta de carbonato de cálcio na ausência e na presença da calagem e da adubação nitrogenada. *Bragantia* 26:143–154.

- Mascarenhas, H. A. A., Miyasaka, S., Freire, E. S. *et al.* 1967b. Adubação da soja VI. Efeitos do enxofre e alguns nutrientes menores em um solo Latosol com vegetação de cerrado. *Bragantia* 26(24):373–379.
- Mikklesen, D. S., Freitas, L. M. M. de and McClung, A. C. 1963. Effects of liming and fertilizing cotton, corn and soybeans on Campo Cerrado Soils. State of São Paulo, Brazil. IRI Res. Inst. Bull. 29.
- Miyasaka, S., Silva, G. da J., & Gallo, R. J. 1960. Adubação da soja I. Testes preliminares com adubação mineral em solo Terra roxa misturada. *Bragantia* 19(42):667–674.
- Miyasaka, S., Pimentel, W. A. C., Venturini, W. R. 1962. Adubação mineral em Terra roxa misturada com argilito do glacial. *Bragantia* 21(34):617–630.
- Miyasaka, S., Freire, E. S. & Mascarenhas, H. A. A. 1964a. Ensaio de adubação da soja e do feijoeiro em solo do arenito Botocatu com vegetação de cerrado. *Bragantia* 23(5):45–54.
- Miyasaka, S., Mascarenhas, H. A. A. & Freire, E. S. 1964b. Adubação da soja. III. Efeito de N, P, K do enxofre e de micronutrientes em solo do arenito Botocatu com vegetação de cerrado. *Bragantia* 23(7):65–71.
- Miyasaka, S., Alencar, C. & Freire, E. S. 1966. Resposta da soja a N, P, K, S e micronutrientes em solos pobres em Itararé (São Paulo). *Bragantia* 25:XXIX–XXXIII.
- Rocha, J. Li., Freire, E. S. *et al.* 1965. Experiências de adubação do amendoim. *Bragantia* 24(23):281–303.
- Silva, I. C., de Souza, I. B. de & Lucas, A. 1967. Ensaio de adubação N, P, K em amendoim nos taluleiros costeiros do nordeste. *Sudene* 5(1):17–27.

#### Pastos y Forrajes

- Abruña, F., Pearson, R. W. and Elkins, C. 1959. Quantitative evaluation of soil reaction and base status changes from field applications of residually acid forming N fertilizers. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.* 22(6):539–542.
- Aguirre, R. 1968. Efecto de la fertilización en el contenido de proteínas en sorgo granero. *Rev. Fac. Agron. (Maracaibo)* 1(2):80–85.
- Ahmad, N., Tulloch–Reid, L. I. and David, C. E. 1969. Fertilizer studies in Pangola Grass (*Digitaria decumbens* Stent.) in Trinidad. I. Description of the experiments and effect of nitrogen. *Tropical Agr. (Trinidad)* 46(3):173–178.
- Andrade, J. L., Rey, G. E., Ramírez, M. T., *et al.* 1964. Fertilizer response and dry season changes in forage grasses in the Pacific region of Costa Rica. *Trop. Agr. (Trinidad)* 41:31–39.

- Arias, P., y Bascones, L. 1963. Primeros datos de un ensayo de abonamiento en pasto elefante. *Rev. Fac. Agron. (Maracay) Venezuela*. 3(1):31–39.
- Baca, J., Johnson, W. L. y Torres, E. 1971. Efecto de niveles de nitrógeno y frecuencia de corte sobre el rendimiento y valor nutritivo de sorgo forrajero. En: *Primer Congreso Nac. Inv. Agric. y Pecuarios*, Lima.
- Bastidas, A., Berna, J., Lotero, J. *et al.* 1967. Frecuencias de corte y aplicación de nitrógeno en cuatro gramíneas de clima cálido. *Agric. Trop. (Colombia)* 23(11):747–756.
- Blue, W. G. 1967. Fertilizando los pastos tropicales. Monografía II. Centro Agrícola Tropical, Univ. of Florida, Gainesville, 8 pp.
- Blue, W. G. 1968. Soil-plant relations involved in adaptation of forage crops to tropical climates. *Soil Crop Sci. Soc. Fla.* 28:232–240.
- Blue, W. G. 1969. Fertilizer response with Pangola grass on Puletan loomy fine sand, British Honduras as indicated by pot experiments. *Trop. Agr. (Trinidad)* 46(1):25–29.
- Blue, W. G., Andrade, L., Rey, E. *et al.* 1963. Investigations of the potential for pasture development in the Atlantic zone of Costa Rica. *Soil Crop. Sci. Soc. Fla.* 23:208–221.
- Blue, W. G. and Tergas, L. E. 1969. Dry season deterioration of forage quality in the wet-dry tropics. *Proc. Soil Crop. Sci. Soc. Fla.* 29:224–238.
- Blue, W. G., Ammerman, C. B., Loaiza, J. M. *et al.* 1969. Compositional analyses of soils, forages, and cattle tissues from beef-producing areas of Eastern Panama. *Bioscience* 19(7):616–618.
- Cabal, E. R. 1965. Efectos de la aplicación de urea en el suelo y por aspersión foliar en el pasto Bermuda de la costa (*Cynodon dactylon*). *Acta Agron. (Colombia)* 15(1–4):1–32.
- Caro, R. and Vicente-Chandler, J. 1961. Effect of fertilization on carrying capacity and beef produced by Napier grass pastures. *Agron. J.* 53(3):204–205.
- Caro, R., Vicente-Chandler, J. and Burleigh, C. 1961. Beef production and carrying capacity of heavily fertilized irrigated Guinea, Napier and Pangola grass pastures on the semiarid south coast of Puerto Rico. *J. Agr. Univ. Puerto Rico* 45(1):32–36.
- Caro, R., Vicente-Chandler, J. and Figarella, J. 1960. The yield and composition of five grasses growing in the humid mountains of Puerto Rico as affected by nitrogen fertilization, season and harvest procedure. *J. Agr. Univ. Puerto Rico* 44(3):107–120.
- Caro, R., Vicente-Chandler, J. 1963. Effects of liming and fertilization on productivity and species balance of a tropical kudzu-molasses grass pasture under grazing management. *J. Agr. Univ. Puerto Rico* 47(4):236–241.

- Caro, R., Vicente-Chandler, J. and Figarella, J. 1965. Productivity of intensely managed pastures on five grasses on steep slopes in the humid mountains of Puerto Rico. *J. Agr. Univ. Puerto Rico* 49(1):99-111.
- Chauca, L. y Carrasco, A. 1971. Diferentes niveles de fertilización e intervalos de corte y su influencia en la calidad del pasto pangola (*Digitaria decumbens*) I. Congr. Nac. Inv. Agr. Pec., Lima.
- Chaverra, H., Echeverri, S. y Crowder, L. V. 1967. Aplicación de nitrógeno e mezcla de gramíneas y leguminosas de clima frío. *Agr. Trop. (Colombia)* 23(4):226-232.
- Cornell University 1971. Annual Progress Report Contract AID/csd 2490. Ithaca, N. Y. pp. 1-30.
- Cortés, H. 1966. Niveles y frecuencias de aplicación de nitrógeno en el pasto pangola. *Acta Agron. (Colombia)* 16(3-4):101-131.
- Crowder, L. V. y Riveros, G. 1962. Resumen de las investigaciones en pastos y forrajes. *Agric. Trop. (Colombia)* 15:35-51.
- Crowder, L. V., Lotero, J., Michelin, A. *et al.* 1963. Fertilización de gramíneas tropicales y subtropicales en Colombia. D.I.A. Div. Invest. Agropecuar. Bol. Divulg. 12.
- Crowder, L. V., Michelin, A. and Bastidas, A. 1964. The response of Pangola grass (*Digitaria decumbens* Stent) to rate and time of nitrogen application in Colombia. *Trop. Agric. (Trinidad)* 41(1):21-29.
- Dávila, V. y Echeverry, A. 1967. Aplicación de nitrógeno y riego en pasto kikuyo (*Pennisetum clandestinum*). *Agric. Trop. (Colombia)* 23(11):744-746.
- Escobar, R. L., Baird, B. G. y Crowder, L. V. 1962. Fertilización de los pastos elefante, sorgo forrajero y sudán en un suelo del Departamento de Córdoba. *Agric. Trop. (Colombia)* 18(9):547-553.
- Escobar, L., Ramírez, A. y Lotero, J. 1967. Dosis y frecuencias de aplicaciones de nitrógeno en tres gramíneas tropicales. *Agric. Trop. (Colombia)* 23(1):726-737.
- Escobar, L., Ramírez, A. y Lotero, J. 1968. Fertilización nitrogenada del pasto Angleton en el Valle del Sinú. *Agr. Trop. (Colombia)* 24(10):692-697.
- Gómez, R. E., and Blue, W. G. 1968. Nitrogen status of two alluvial soils from the humid tropics of Costa Rica. *Soil Crop Sci. Soc. Fla. Proc.* 28:79-86.
- Gomide, J. A., Noller, C. H., Mott, J. H. *et al.* 1969. Effect of plant age and nitrogen fertilization on the chemical composition and in vitro cellulose digestibility of tropical grasses. *Agron. J.* 61(1):116-120.
- Gomide, J. A., Noller, C. H., Mott, G. O. *et al.* 1969. Mineral composition of six tropical grasses as influenced by plant age and nitrogen fertilization. *Agron. J.* 61(1):120-123.

- Grisales, A. y Uribe, A. 1966. Efecto del nitrógeno aplicado al suelo y al follaje sobre la producción y el contenido de proteína del pasto pangola. (*Digitaria decumbens*) Cenicafé (Colombia) 17(4):132-140.
- Guerrero, R., Fassbender, H. W., Blydenstein, J. 1970. Fertilización del pasto elefante (*Pennisetum purpureum*) en Turrialba, Costa Rica. I. Efecto de dosis crecientes de nitrógeno. Turrialba 20(1):53-58.
- Guerrero, R., Fassbender, H. W., y Blydenstein, J. 1970. Fertilización del pasto elefante (*Pennisetum purpureum*) en Turrialba, Costa Rica. II. Efecto de combinaciones nitrógeno-fósforo. Turrialba 20(1):59-63.
- Herrera, G., Lotero, J. y Crowder, L. V. 1967. Influencia del nitrógeno y frecuencia de aplicación en la producción de forraje y proteína del pasto pangola. Agric. Trop. (Colombia) 23(5):297-312.
- Herrera, G., Ramírez, A. y Lotero, J. 1968. Dosis de nitrógeno y frecuencia de aplicación en sorgo forrajero. Agric. Trop. (Colombia) 24:675-680.
- Iturbide, A. 1969. El efecto de dos niveles de nitrógeno, tres frecuencias de corte en la producción de cuatro gramíneas tropicales de pastoreo. Asoc. Latinoamer. Prod. Anim. Mem. 4:47-59.
- Jaramillo, E., R. T., Chaverra, G. H. y Oñoro, C. P. 1968. Frecuencia de aplicación y dosis de nitrógeno para *Festuca alta* y *F. media*. Rev. Inst. Colom. Agropecuar. 3(3):179-193.
- Jones, M. B., Freitas, L. M. M. de and Mohrdiek, K. H. 1970. Differential responses of some cool season grasses to N, P, and lime. IRI Res. Inst. Bull. 37.
- Landrau, P., Samuels, G. and Rodríguez, P. 1953. Influence of fertilizers, minor elements and soil pH on the growth and protein of tropical kudzu. J. Agr. Univ. Puerto Rico. 37(1):81-95.
- Little, S., Vicente-Chandler, J. and Abruña, F. 1959. Yield and protein content of irrigated napier grass, guinea grass and pangola grass as affected by N fertilization. Agron. J. 51:111-113.
- Lopes, E. S., Norris, D. O. & Weber, D. T. 1968. Estudo sobre a influência de nitratos do solo e modo de inoculação das sementes na nodulação em alfalfa. Bragantia 27:239-249.
- Lotero, J., Herrera, G. y Crowder, L. V. 1965. Respuesta de una pradera natural a la aplicación de fertilizantes. Agr. Trop. (Colombia) 21(4):229-232.
- Lotero, J., Bernal, J. y Herrera, G. 1967. Distancia de siembra y aplicación de nitrógeno en pasto elefante. Rev. ICA (Colombia) 2(2):123-133.
- Lotero, J., Ramírez, A. y Herrera, G. 1968. Fuentes, dosis y métodos de aplicación de nitrógeno en elefante. Rev. ICA (Colombia) 3(2):113-121.

- Lotero, J., Herrera, G. y Alberto, R. P. 1969. Distanciamiento y dosis de nitrógeno en pasto *Axonopus scoparius*. Rev. ICA (Colombia) 4(3):147-157.
- Marín, G., Chaverra, H., Crowder, L. V. *et al* 1960. Fertilización de la alfalfa en suelos de clima frío en Colombia. D.I.A. Bol. Tec. 7.
- Mimdarain, R., y Pereira, J. F. 1969. Interacciones foliares de nitrógeno y fósforo en *Digitaria decumbens*. Oriente Agrop. (Venezuela). 1(2):109-124.
- McClung, A. C., Freitas, M. L. M. M. de., Gallo, T. R. *et al*. 1957. Preliminary fertility studies on campo cerrado soils in Brazil. IBEC Res. Inst. Bull. 13.
- Quinn, L. R., Mott, G. O., and Bisschoff, W. V. A. 1961. Fertilization of Colonial Guinea grass pastures and beef production with Zebu steers. IBEC Res. Inst. Bull. 24.
- Quinn, L. R., Mott, G. O., Bisschoff, W. V. A. and da Rocha, G. L. 1963. Beef production in six tropical grasses. IBEC. Res. Inst. Bull. 28.
- Pearson, R. W., Abruña, F. and Vicente Chandler, J. 1962. Effect of lime and nitrogen applications on the downward movement of calcium and magnesium in two humid tropical soils of Puerto Rico. Soil Sci. 93(2):77-82.
- Ramírez, P. A. y Lotero, M. J. 1969. Efectos de la frecuencia de aplicación de nitrógeno y la dosis en la fertilidad y propiedades químicas del suelo. Rev. ICA (Colombia) 4(4):227-254.
- Rivera, L., Marchan F. J., and Cabrera, S. I. 1952. The utilization of grasses, legumes and other forage crop for cattle feeding in Puerto Rico. III. J. Agr. Univ. Puerto Rico 36(2):108-114.
- Rivera, L. 1962. Results of splitting the application of nitrogenous fertilizers to pangola grass (*Digitaria decumbens*). J. Agr. Univ. of Puerto Rico 46(3):171-174.
- Rodríguez, C. A., Palencia, J. A., Martínez, M. A. *et al*. 1966. Evaluación de la respuesta del pasto pangola a la fertilización con 3 niveles de N en 3 niveles de aplicación. Agronomía (Guatemala) 1(3):7-28.
- Rodríguez, C. S. 1970. Effects of two N sources on the composition and yields of Pangola A-24 & SR-954 pastures. Agron. Trop. (Venezuela) 20(2):119-124.
- Santhirasegaram, K. y Morales, V. 1972. Informe sobre la investigación de pastos en IVITA. Instituto Veterinario de Investigaciones del Trópico y Altura, Lima, Perú 15 pp.
- Stanford, G. 1966. Nitrogen requirements of crops for maximum yield. In: McVicar, *et al* (ed) Agricultural Anhydrous Ammonia—Technology and Use, pp. 237-257. American Society of Agronomy.
- Stehle, H. 1965. Des conditions ecologiques et l'interet fourrager des patures a *Digitaria decumbens* Stent var. pangola aux Antilles francaises. Qualitas Plant Mater Vegetabiles 12(1):82-95.

- Tergas, L. E., and Blue, W. G. 1971. Nitrogen and phosphorus in jaragua grass (*Hyparrhenia rufa*) during the dry season in a tropical savanna as affected by nitrogen fertilization. *Agron. J.* 63(1):6–9.
- Tergas, L. E., Blue, W. G. and Moore, J. E. 1971. Nutritive value of fertilized jaragua grass (*Hyparrhenia rufa*) in the wet–dry Pacific Region of Costa Rica. *Trop. Agr. (Trinidad)* 48(1):1–8.
- Uribe, A. y Grisales, A. 1966. Efecto de la fertilización nitrogenada en pasto Pangola. *Cenicafé (Colombia)* 17(3):99–107.
- Vázquez, R. 1965. Effects of irrigation and nitrogen levels on the yields of Guinea grass (*Panicum maximum*), Para grass (*Panicum purpurascens*) and Guinea grass–Kudzu (*Pueraria javanica*) and Para grass–Kudzu mixtures in the Lajas Valley. *J. Agr. Univ. Puerto Rico* 49(4):389–412.
- Vázquez, R. A., Hess, E. and Martínez–Luciano, M. J. 1966. Response of native white sorghum to irrigation under different nitrogen–fertility levels and seeding rates in Lajas Valley, Puerto Rico. *J. Agr. Univ. Puerto Rico* 50(2):92–112.
- Vicente–Chandler, J. and Caro–Costas, R. 1953. The effect of two heights of cutting and three fertility levels on the yield, protein content and species composition of a tropical kudzu–molasses grass pasture. *Agron. J.* 45(9):397–400.
- Vicente–Chandler, J. and Figarella, J. 1958. Growth characteristics of guinea grass on the semiarid south coast of Puerto Rico and the effect of nitrogen Puerto Rico 42(3):151–160.
- Vicente–Chandler, J., Silva, S. and Figarella, J. 1959. The effect of nitrogen fertilization and frequency of cutting on the yield and composition of three tropical grasses. *Agron. J.* 51(4):202–206.
- Vicente–Chandler, J. and Pearson, R. W. 1960. Nitrogen fertilization in hot climate grasses. *Soil Conserv. Mag.* 25(12):269–272.
- Vicente–Chandler, J., Rivera, E., Boneta, R. *et al.* 1963. The management and utilization of the forage crops of Puerto Rico. *Univ. Puerto Rico Agr. Exp. Sta. Bull.* 116, 90 pp.
- Vicente–Chandler, J., Silva, S., and Figarella, J. 1959. Effects of nitrogen fertilization and frequency of cutting on the yield and composition of Napier grass in Puerto Rico. *J. Agric. Univ. Puerto Rico* 43(4):215–227.
- Vicente–Chandler, J., Silva, S., and Figarella, J. 1959. Effects of nitrogen fertilization and frequency of cutting on the yield and composition of Guinea grass in Puerto Rico. *J. Agric. Univ. Puerto Rico* 43(4):228–239.
- Vicente–Chandler, J., Silva, S., and Figarella, J. 1959. Effects of nitrogen fertilization and frequency of cutting on the yield and composition of Para grass in Puerto Rico. *J. Agric. Univ. Puerto Rico* 43(4):240–248.

- Vicente-Chandler, J. and Silva, S. 1960. The effect of nitrogen fertilization and grass species on soil physical conditions in some tropical pastures. *J. Agr. Univ. Puerto Rico* 44(2):77-86.
- Vicente-Chandler, J., Figarella, J. and Silva, S. 1961. Effects of nitrogen fertilization and frequency of cutting on the yield and composition of Pangola grass in Puerto Rico. *J. Agr. Univ. Puerto Rico* 45(1):37-45.
- Vicente-Chandler, J., and Figarella, J. 1962. Effects of five nitrogen sources on yield and composition of Napier grass. *J. Agr. Univ. of Puerto Rico* 46(2):102-106.
- Vicente-Chandler, J., Silva, S., and Figarella, J. 1962. Effect of frequency of application on response of Guinea grass to nitrogen fertilization. *J. Agr. Univ. of Puerto Rico* 46(4):342-349.
- Vicente-Chandler, J. 1966. The role of fertilizers in hot humid tropical pastures. *Soil Crop Sci. Soc. Fla. Proc.* 26:328-360.
- Vicente-Chandler, J., Caro-Costas, R., Pearson, R. W. *et al.* 1967. El manejo intensivo de forrajes tropicales en Puerto Rico. *Univ. Puerto Rico Bol.* 202.
- Vicente-Chandler, J. 1967. Intensive pasture production. In: Turk & Crowder: *Rural Development in Tropical Latin America* pp. 272-295, Cornell University, Ithaca, N. Y.
- Villamizar, F. y Lotero, J. 1967. Respuesta del pasto Pangola a diferentes fuentes y dosis de nitrógeno. *Rev. ICA (Colombia)* 2(1):57-70.
- Weir, C. C., and Davidson, J. G. 1968. The effect of retarding nitrification of added fertilizer nitrogen on the yield and nitrogen uptake of Pangola Grass (*Digitaria decumbens*). *Trop. Agric. (Trinidad)* 45(4):301-306.
- Wermer, J. C., Pedreira, J. V. S. & Caielli, E. L. 1967a. Estudos de parcelamento e níveis de adubação nitrogenada em capim Pangola (*Digitaria decumbens*) *Bol. Indust. Anim. Ser. Nov. (Brazil)* 24:147-154.
- Werner, J., Silveira, J., V. & Quagiliato, J. L. 1967b. Ensaio exploratório de fertilização de capim colônio com solo de Sertãozinho: Nota previa. *Bol. Ind. Anim.* 24:155-158.
- Werner, J. C., Gómez, F. P. & Kalil, E. A. 1968. Fertilização nitrogenada e os seus efeitos na produção de forragem. *Bol. Ind. Anim.* 25:151-159.
- Williams, W. A. 1967. The role of the legumes in pasture and soil improvement in the neotropics. *Trop. Agr. (Trinidad)* 44(2):103-115.
- Wilson, J. R. and Haydock, K. P. 1971. The comparative response of tropical and temperate grasses to varying levels of nitrogen and phosphorus nutrition. *Aust. J. Agr. Res.* 22(4):573-587.

Wollner, J. y Castillo, J. L. 1968. La influencia de distintos niveles de N en el rendimiento de Pangola (*Digitaria decumbens*). Rev. Cub. Cienc. Agric. 2(2):227-232.

## CAPITULO 6

### ACIDEZ DEL SUELO Y ENCALADO

*E. J. Kamprath*

Profesor de Suelos, Universidad Estatal de Carolina del Norte

Anteriormente, el encalado de suelos de los trópicos húmedos, a menudo no producían resultados favorables. Frecuentemente, los suelos se encalaban para obtener un pH de 7 que resultó en una disminución de rendimientos debida a deficiencias de micronutrientes y disponibilidad reducida de fósforo. En los últimos veinte años, sin embargo, los edafólogos han demostrado que el aluminio es el catión principal en los suelos ácidos con un pH de 5 ó menor. Como resultado de estos nuevos conceptos, el enfoque al encalado de suelos ácidos altamente intemperizados se ha modificado considerablemente. Las dosis de cal se basan ahora en cantidades requeridas para neutralizar el aluminio intercambiable en vez de tratar de elevar el pH del suelo a 6,5 ó 7. El propósito de este estudio es examinar la naturaleza de la acidez del suelo y su respuesta a la cal en los trópicos húmedos a la luz de los conceptos modernos sobre acidez del suelo.

#### 6.1 ACIDEZ DEL SUELO Y CATIONES INTERCAMBIABLES

##### Suelos de los Llanos Orientales

Los suelos de sabana de los Llanos Orientales colombianos son ácidos y altamente intemperizados y están clasificados como Ultisoles y Oxisoles. El pH de la capa arable fluctúa entre 4,2 y 5,1 siendo la mayoría menor de 4,7 (Esperanza, 1963). El aluminio intercambiable representa un promedio del 68 por ciento de los cationes intercambiables. La relación de aluminio intercambiable: calcio más magnesio es de 3,1 y 1,5 meq/100 g, respectivamente.

### Brasil

Los suelos representativos de varias áreas del Brasil fueron analizados para comprobar su saturación bases y pH (Anastácio, 1968). Con pH de 5,5 ó mayor, los suelos no contenían esencialmente ningún aluminio intercambiable pero en los suelos con un pH menor de 5,0, el promedio de saturación de aluminio intercambiable era del 58 por ciento. La saturación promedio de aluminio intercambiable de suelos con pH de 5,0 a 5,5 fue del 16 por ciento.

La saturación promedio de aluminio intercambiable de Latosoles Rojo Amarillo (Oxisoles) con un pH menor de 5 fue del 72 por ciento, en Latosoles Rojos (Oxisoles) fue del 79 por ciento, y Podzólicos Rojo Amarillos (Ultisoles) fue del 63 por ciento (Pratt y Alvahydo, 1966). El calcio más magnesio intercambiables de los Latosoles Rojos fue de 0,2 meq/100 g o menos. Los Latosoles Rojos y Rojo Amarillos son los principales suelos encontrados en el Campo Cerrado del Brasil. Estos suelos son altamente intemperizados, desprovistos de cationes básicos y están saturados con aluminio intercambiable a través de todo su perfil. La excepción a esto son los suelos Terra Roxa formados de basalto que tienen una saturación de bases alta.

### Amazonía

Los horizontes superficiales de los suelos forestales bien drenados de la Cuenca Amazónica en el Brasil tenían una saturación promedio de aluminio intercambiable del 44 por ciento y los suelos de sabana bien drenados tenían una saturación del 57 por ciento (Sombroek, 1966). Los suelos mal drenados, sin embargo, tenían una saturación muy baja de aluminio.

La saturación de aluminio intercambiable del horizonte A de suelos bien drenados de la Cuenca Superior del Amazonas en el Perú fluctuaba de 30 a 80 por ciento cuando el pH era menor del 4,5 (Sánchez y Buol, 1971). Los horizontes B, por otra parte, tenían una saturación de aluminio del 71 al 92 por ciento. Los horizontes A<sub>1</sub> de los suelos mal drenados casi no contenían ningún aluminio intercambiable aunque los suelos eran ácidos. Los horizontes B, sin embargo, tenían una saturación de aluminio del 33 al 46 por ciento.

### Suelos Derivados de Ceniza Volcánica

Revisando los suelos de ceniza volcánica, Fassbender y Molina (1969) indican que la mayor parte de los suelos formados de ceniza volcánica tienen pH mayores de 5. Sin embargo, bajo condiciones de intensa intemperización, los suelos formados de ceniza volcánica pueden tener una saturación alta de aluminio (Fox *et al.* 1962). Mucha de la carga de los suelos de ceniza volcánica depende del pH y la capacidad buffer de estos suelos puede ser muy alta, particularmente cuando se acerca al pH de 7.

## 6.2 EFECTO DEL ENCALADO EN LA DISPONIBILIDAD DE FOSFORO

### Efectos Benéficos

El contenido de aluminio intercambiable de Ultisoles y Oxisoles es uno de los factores que afecta la fijación de fósforo (Sa *et al.*, 1968; Esperanza, 1963). El encalado bajó la fijación de fósforo de suelos ácidos de ceniza volcánica encalados a un pH de 5,8 que contenían cantidades apreciables de aluminio extractable (Fassbender y Molina, 1969).

La neutralización de aluminio intercambiable incrementa mucho la absorción del fósforo aplicado a los Latosoles (Fox *et al.* 1964). El encalado de un Andosol ácido de Costa Rica aumentó la absorción de fósforo aplicado en tomates (Fassbender 1969). La aplicación de cal a un Latosol ácido con pH de 4,6, redujo la saturación de aluminio intercambiable del 58 al 8 por ciento y aumentó el pH a 5,4. Dicho tratamiento también aumentó la respuesta de frijoles al fósforo en casi tres veces (Mascarenhas *et al.* 1969).

El encalado de suelos ácidos del Campo Cerrado con un contenido total de fósforo alto, aumentó el nivel de fósforo disponible en el suelo y también redujo la necesidad de aplicaciones de fósforo (Mikkelsen *et al.*, 1963). La disponibilidad de fósforo nativo en ciertos suelos ácidos del Campo Cerrado aumentó por medio del encalado (McClung *et al.*, 1961). La mineralización del fósforo orgánico también aumentó. Al subir el pH de los suelos de Zamorano en Honduras de 5,5 a 6,5 aumentando también la mineralización del fósforo orgánico (Awan, 1964).

### Efectos Perjudiciales

Al ajustar el pH de Latosoles ácidos a 7, se baja drásticamente la absorción de fósforo aplicado (Fox *et al*, 1964). La formación de fosfatos de calcio aparentemente es la razón principal de una menor asimilación de fósforo. De igual manera, se encontró que la capacidad de fijación del fósforo de los Andosoles fue aumentada cuando se elevó el pH a más de 5,8 (Fassbender y Molina, 1969). La reducción en rendimiento de camotes en suelos encalados a un pH de 6,7 está asociada con una apreciable reducción de fósforo disponible (Camargo *et al*, 1962).

### 6.3 RESPUESTAS AL ENCALADO

#### Maíz

Grandes respuestas al encalado han sido obtenidas en suelos del Campo Cerrado en el Brasil que generalmente tienen un pH menor de 5 y una saturación de aluminio intercambiable alta (De Freitas *et al* 1960, Mikkelsen *et al*, 1963). Un crecimiento inferior de maíz fue encontrado en suelos de Pinhão con pH de 4,2 y 4,8 (Igue, 1962). Un crecimiento normal se obtuvo con un pH de 5,2. En experimentos en el Valle de Paraíba de São Paulo, las respuestas a cal no fueron obtenidas hasta que la aplicación de fósforo alcanzó 120 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/ha (Gómez *et al*, 1963).

Esencialmente no se obtuvo respuesta al encalado en cuatro suelos del Brasil con pH de 5,5 a 6,5 (Viegas *et al*, 1960). Un aumento de sólo 180 kg/ha se obtuvo con el encalado en suelo Terra Roxa Misturada con un pH inicial de 5,6 (Miranda *et al*, 1964).

#### Papa y Camote

Los rendimientos de papas en São Paulo aumentaron aproximadamente en 2 ton/ha con encalado cuando el pH inicial fue menor de 5,5 (Book y Freire, 1961). A pH de 5,7, no se obtuvo respuesta al encalado. En otro estudio, al encalar un suelo mal drenado con pH de 4,7 aumentó los rendimientos de papa en 3 ton/ha (Book *et al*, 1961).

Los rendimientos de camotes en São Paulo decayeron cuando el pH fue aumentado a 6,7 (Camargo *et al*, 1962). Con una fertilización adecuada, los camotes no respondieron al encalado en un suelo de pH de 5,6 (Freire *et al*, 1962). El encalado del suelo a pH de 7 bajó los rendimientos de camotes.

## Frijoles

Un aumento de 952 kg de frijoles secos por hectárea fue obtenido al encalar un Latosol con saturación inicial de aluminio intercambiable del 58 por ciento y un pH de 4,6 (Mascarenhas *et al*, 1969). Aplicaciones de 4 toneladas de cal por hectárea aumentaron el pH a 5,4 y redujeron la saturación de aluminio intercambiable al 8 por ciento. En otro estudio, una respuesta a la cal fue obtenida a un pH de 4,6 pero no a pH de 5,0 (Miyasaka *et al*, 1966).

Los frijoles no respondieron a las aplicaciones de cal en siete suelos Terra Roxa Misturada en São Paulo cuyo pH fluctuó de 5,6 a 6,6 (Miyasaka *et al*, 1966). El encalado causó una ligera baja en rendimientos en todas las áreas.

## Soya

En la literatura se encuentran numerosos informes que indican grandes aumentos en rendimientos de soya cuando se encalan suelos ácidos. Los rendimientos aumentaron en un 77 por ciento cuando un Latosol Rojo Oscuro con un pH inicial de 5,0 fue encalado al pH de 5,7 (Mikkelsen *et al*, 1963). Respuestas a cal también se obtuvieron en un Latosol Rojo Oscuro con un pH inicial de 5,0 fue encalado a pH de 5,7 (Mikkelsen *et al*, 1963). Respuestas a cal también se obtuvieron en un Latosol Rojo con un pH inicial de 5,5 (Mascarenhas *et al*, 1963). Un aumento de rendimiento del 59 por ciento se obtuvo en un suelo de Campinas, São Paulo, al aumentar el pH de 5,2 a 5,9 (Miyasaka *et al*, 1966). En estudios de un suelo derivado de arenisca "Botucatu" con un pH de 5,2, se obtuvo una respuesta máxima a la cal únicamente después de una aplicación de 120 kg de  $P_2O_5$ /ha (Miyasaka *et al*, 1964). El encalado aumentó los rendimientos de soya en dos suelos de São Paulo con pH de 4,8 y 5,5 (Mascarenhas *et al*, 1967).

Los efectos benéficos de la cal en el aumento de rendimientos de soya en suelos con un pH inicial de 5,5 pueden deberse a la mayor disponibilidad de molibdeno al aumentarse el pH. El molibdeno en Latosoles probablemente se fija por óxidos de hierro hidratados y están más disponibles cuando se aumenta el pH a 6.

## Caña de Azúcar

El rendimiento de caña de azúcar en Puerto Rico era únicamente de 25 toneladas métricas por hectárea, cuando la saturación de aluminio

intercambiable fue mayor del 70 por ciento, y llegó a más de 100 toneladas por hectárea cuando la saturación de aluminio intercambiable fue menor del 30 por ciento (Abruña y Vicente—Chandler, 1967). Los rendimientos de caña fueron menores de 2 ton/ha en un Ultisol muy ácido en Puerto Rico (Abruña *et al*, 1968).

Un aumento en la producción de caña de azúcar se obtuvo con cantidades moderadas de cal aplicadas a un suelo ácido de ceniza volcánica (Fassbender y Molina, 1969). A tasas más altas de cal, los rendimientos decayeron.

#### 6.4 RESUMEN

Los Oxisoles y Ultisoles altamente intemperizados, generalmente tienen un pH menor de 5 y una saturación de aluminio intercambiable mayor del 50 por ciento. Los suelos mal drenados de la Cuenca del Amazonas tienen una saturación baja de aluminio intercambiable en el horizonte A. La mayoría de los suelos de ceniza volcánica tienen un pH mayor de 5.

La neutralización de aluminio intercambiable por enclado aumentó la utilización de fósforo y la respuesta de rendimiento a fertilización con fósforo. El enclado de ciertos suelos recientemente desmontados bajó la respuesta a fertilizantes de fósforo aparentemente porque había una mayor disponibilidad de fósforo del suelo.

La disponibilidad de fósforo fue disminuida cuando el pH del suelo se elevó a más de 6,7 y los rendimientos de cultivos bajaron. Al subir el pH de Andosoles ácidos a más de 5,8 se aumentó la fijación de fósforo.

La respuesta de cultivos al enclado puede en muchos casos relacionarse a la neutralización de aluminio intercambiable y el suministro de calcio y magnesio. En la mayor parte de los casos, si el pH es de 5,5 ó más, se obtendrá muy poca respuesta al enclado. Los rendimientos de leguminosas pueden aumentarse al encalar a un pH de 6 debido a una mayor disponibilidad de molibdeno.

## 6.5 BIBLIOGRAFIA

### Conceptos de Encalado en Suelos Tropicales

- Bornemisza, E. 1965. Conceptos modernos de acidez del suelo. *Turrialba* 15(1):20–24.
- Hardy, F. 1962. Problemas de fertilización en el campo cerrado de la parte central oriental de Brasil. *Turrialba* 12(3):128–133.
- Laroche, F. A. 1966. A calagem em solos tropicais de clima úmido. *Fitotecnia Latinoamericana* 3(1–2):83–97.
- Martini, J. A. 1968. Algunas notas sobre el problema del encalado en los suelos del trópico. *Turrialba* 18(3):249–256.

### Acidez del Suelo y Cationes Intercambiables

- Anastacio, M. de L. A. 1968. Fixação de fósforo nos solos Brasileiros. *Balotím Técnico* 4. Ministerio da Agricultura, Brazil.
- Bornemisza, E., Laroche, F. A. and Fassbender, H. W. 1967. Effects of liming on some chemical characteristics of Costa Rican Latosol. *Soil and Crop Sci. Soc. of Fla. Proc.* 27:219–226.
- Brauner, J. L. and Catani, R. A. 1967. Variations in the soil content of exchangeable aluminum, and the effects of the application of calcium carbonate. *An. Esc. Super. Agr. "Luiz de Queiroz"* 24:57–69.
- Mahilum, B. C., Fox, R. L. and Silva, J. A. 1970. Residual effects of liming volcanic ash soils in the humid tropics. *Soil Sci.* 109(2):102–109.
- Neves, O. S., Viegas, G. P. & Freire, E. S. 1960. Efeito do uso contínuo de certos adubos azotados, sobre o pH do solo. *Bragantia* 19 Nota 25 CXXV.
- Pearson, R. W., Abruña, F. and Vicente–Chandler, J. 1962. Effect of lime and nitrogen applications on downward movement of Ca and Mg in two humid tropical soils of Puerto Rico. *Soil Sci.* 93:77–82.
- Pratt, P. F. and Alvahydo, R. 1966. Cation exchange characteristics of soils of São Paulo, Brazil. *Pesq. Agropec. Bras.* 1:1–5.
- Rios, V., Martini, J. A. y Tejeira, R. 1968. Efecto del encalado sobre la acidez y el contenido de aluminio y hierro extraíble en nueve suelos de Panamá. *Turrialba* 18(2):139–146.
- Rixon, A. J. and Sherman, G. D. 1962. Effects of heavy lime applications to volcanic ash soils in the humid tropics. *Soil Sci.* 94:19–27.

- Sánchez, P. A. y Buol, S. W. 1971. Características, morfológicas, químicas, y mineralógicas de algunos suelos principales de la Selva Amazónica Peruana. Informe No. 56 Programa Nacional de Arroz, Ministerio de Agricultura, Lambayeque, Perú.
- Schenkel, G. 1969. Acidity problems in volcanic ash soils. Proc. of Panel on Volcanic Ash Soils of Latin America. B.9.1. B.9.10.
- Sombroek, W. G. 1966. Amazon Soils. A reconnaissance of the soils of the Brazilian Amazon region. Centre for Agricultural Publications and Documentation, Wageningen, Netherlands.
- Vargas, E. 1964. El Al de cambio en suelos de los Llanos Orientales Tesis. Instituto Geográfico "Agustín Codazzi", Colombia.

#### Determinación de Necesidades de Cal

- Brauner, J. L., Catani, R. A. & Bittencourt, W. C. 1966. Extração e determinação do alumínio trocável do solo. An. Esc. Super. de Agric. "Luiz de Queiroz". 23:53-73.
- Correa V., J. 1969. Requerimientos de cal de los suelos orgánicos de "La Selva", Rionegro (Antioquia). Agricultura Tropical 15(1):
- De Freitas, L. M. M., Pratt, P. F. & Vettori, L. 1968. Testes rápidos para estimar necessidade de calcário de alguns solos de São Paulo. Pesq. Agropec. Bras. 3(1):159-164.
- Marín, M., G. 1968. Recomendaciones tentativas para la fertilización y encalado de varios cultivos de acuerdo con análisis de suelos. Primera aproximación. Rev. Inst. Colomb. Agropecuario 3(2):91-102.
- Fernández de C., F. 1968. Effect of lime on the availability of phosphorous in soils from the tropics. Univ. Microfilms, Ann Arbor, Mich. Order No. 68-10, 907. Diss. Abstr. 13, 1968. 29(3):840.
- Fassbender, H. W. 1969. Efecto del encalado en la mejor utilización de fertilizantes fosfatados en un andosol de Costa Rica. Fitotecnia Latinoamericana 6(1):115-127.
- Fassbender, H. W. and Molina, R. 1969. The influence of silicates and liming of phosphate fertilization on volcanic ash soils in Costa Rica. Proc. of Panel on Volcanic Ash Soils of Latin America. C.2.1. - C.2.12.
- Fox, R. L., DeDatta, S. K. and Sherman, G. D. 1962. Phosphorus solubility and availability to plants and the aluminum status of Hawaiian soils as influenced by liming. Trans. Joint Meeting Comm. IV and V. Inter. Soc. Soil Sci., New Zealand. pp. 574-583.

- Fox, R. L., DeDatta, S. K. and Wang, J. M. 1964. Phosphorus and aluminum uptake by plants from Latosols in relation to liming. 8th Inter. Congr. Soil Sci. Trans. Bucharest 4:595–603.
- Perdomo C., M. A. and Lopez, M., J. I. 1969. Effect of lime on the absorption of  $P^{32}$  related to fertilization in the growing of rice. Nucl. Sci. Abstr. 24:31768.
- Sa, J. P. M., Jr., Gómez, I. F. & Vasconcelos, A. L. de. 1968. Retenção de fósforo em solos da "Zona da Mata", Pernambuco, Pesq. Agropec. Bras. 3:183–188.
- Sanguino Soto, L. E. 1961. Influencia del pH sobre la fijación de fósforo y su relación con la respuesta del maíz a la fertilización fosfatada. Acta Agronómica 2:188–209.

#### RESPUESTAS AL ENCALADO

##### Maíz

- Awan, A. B. 1964. Effect of lime on the availability of P on Zamorano Soils. Soil Sci. Soc. Amer. Proc. 28(5):672–673.
- De Freitas, L. M. M., McClung, A. C. and Lott, W. L. 1960. Field studies on fertility problems of two Brazilian Campo Cerrados 1958–1959. IBEC Research Institute 21.
- De Freitas, L. M. M., Lobato, E. & Soares W. V. 1971. Experimentos de calagem e adubação em solos sob vegetação de Cerrado do Distrito Federal. Pesq. Agropec. Bras. 6:81–89.
- Gómez, A. G., Viegas, G. P. & Freire, E. S. 1963. Adubação do milho no vale do Paraíba. Experiência com N, P, K em solos da série Tumirim. Bragantia 22(14):149–157.
- Igue, K. & Schmidt, N. 1962. Estudo da fertilidade em solos da serie Pinhão. Bragantia 21(2):743–753.
- Mikkelsen, D. S., De Freitas, L. M. M. and McClung, A. C. 1963. Effects of liming and fertilizing cotton, corn and soybeans on Campo Cerrado soils, State of São Paulo, Brazil. IRI Research Institute Bulletin 29.
- Miranda, L. T., Viegas, G. P. & Freire, E. S. 1964. Adubação do milho. Bragantia 23(15):153–177.
- Viegas, G. P., Freire, E. S. & Fraga, C. G., Jr. 1960. Adubação do milho. XIV. Ensaíos com mucuna intercalada e adubos minerais. Bragantia 19(57):909–941.

##### Papa y Camote

- Boock, O. J. & Freire, E. S. 1961. Adubação da batatinha, experiências em solos de baixa fertilidade. Bragantia 20(32):759–776.

- Boock, O. J., Jupper, A. & Freire, E. S. 1961. Adubação da batatinha, experiência com calcário, sulfato de magnésio e NPK. *Bragantia* 20 Nota 18:LXXXV.
- Boock, O. J., Paiva Netto, S. E. de & Freire, E. S. 1962. Sobre a adubação da batatinha em solo rico de matéria orgânica. *Bragantia* 21. Nota 2. XIII.
- Camargo, P., Freire, E. S. & Venturini, W. R. 1962. Efeito da calagem e de diversas adubações na batata-doce e no cará em solos de baixa fertilidade, derivados do arenito Botucatu. *Bragantia* 21(11):143–161.
- Camargo, A., Freire, E. S. & Venturini, W. R. 1962. Adubação da batata doce em São Paulo, Parte II—Efeito do calcário e de varios adubos. *Bragantia* 21(20):325–339.
- Rodríguez, M. J., Baird, G. y Correa V., J. 1960. Fertilización de la papa en Antioquia, D.I.A. Boletín Técnico 5.

#### Frijoles

- Gargantini, H. & Wutke, A. C. 1960. Fixação do nitrogênio do ar pelas bactérias que vivem associadas as raízes do Feijão de Porco e do Feijão Baiano. *Bragantia* 19:639–652.
- Mascarenhas, H. A. A., Miyasaka, S., Igue, T. *et al.* 1967. Adubação mineral de feijoeiro. XI. Efeitos de NPK, e da calagem, em campos cerrados do planalto Paulista. *Bragantia* 26:303–316.
- Mascarenhas, H. A. A., Almeida, L. D., Miyasaka, C., Jr. *et al.* 1969. Adubação mineral de feijoeiro. XII. Efeitos da calagem, do nitrogênio e do fósforo em solo Latosol Vermelho Amarelo do vale do Ribeira. *Bragantia* 28(7):71–83.
- Miyasaka, S., Freire, E. S., Mascarenhas, H. A. A. *et al.* 1965. Adubação verde, calagem e adubação mineral do feijoeiro em solo com vegetação de cerrado. *Bragantia* 24(26):321–338.
- Miyasaka, S., Igue, T. & Camparia, M. 1966. Adubação mineral do feijoeiro. II—Efeitos de N, P, K da calagem e de uma mistura de enxôfre e micronutrientes, em Terra Roxa Misturada. *Bragantia* 24(13):145–159.
- Miyasaka, S., Pettinelli, A., Freire, E. S. *et al.* 1966. Adubação mineral de feijoeiro. IV. Efeitos de NPK, da calagem e de uma mistura de enxôfre e micronutrientes em Tieté e Tatui. *Bragantia* 25(27):297–305.
- Miyasaka, S., Freire, E. S., Mascarenhas, H. A. A. *et al.* 1966. Adubação mineral do feijoeiro VII. Efeitos de N, P, K, S, da calagem e de uma mistura de micronutrientes no sul do Planalto Paulista. *Bragantia* 25:385–392.
- Miyasaka, S., Mascarenhas, H. A. A., Freire, E. S. *et al.* 1967. Adubação mineral de feijoeiro. *Bragantia* 26(12):161–180.

- Oliveira, H. A., Morales, J. F. V., Pilczer, M. M. *et al.* 1968. Effects of nitrogen, phosphorus, potassium and lime applications on production of peas (*Pisum sativum* L.) in Rosario do Sul, Rio Grande do Sul, Brazil. *Pesqui. Agropecuar. Brazil* 3:243–253.
- Viegas, G. P., Gargantini, H. & Freire, E. S. 1960. Adubação do milho XIII. Efeito da mucuna, do calcário e de outros adubos, sobre as propriedades químicas do solo. *Bragantia* 19(8):91–100.

### Soya

- De Freitas, L. M. M., McClung, A. C. & Lott, W. L. 1960. Field studies on fertility problems of two Brazilian Campo Cerrado 1958–1959. IBEC Research Institute 21.
- De Freitas, L. M. M., Lobato, E. & Soares W. V. 1971. Experimentos de calagem e adubação em solos com vegetação de Cerrado do Distrito Federal. *Pesq. Agropec. Bras.* 6:81–89.
- Mascarenhas, H. A. A., Miyasaka, S., Freire, E. S. *et al.* 1967. Adubação da Soja. V. Efeitos da inoculação das sementes com *Rhizobium* e da subsequente “peletização” com pasta de carbonato de cálcio na ausência e na presença da calagem e da adubação nitrogenada. *Bragantia* 26:143–154.
- Mascarenhas, H. A. A., Miyasaka, S., Freire, E. S. *et al.* 1967. Adubação da soja VI. Efeitos do enxofre e de varios micronutrientes em solo Latosol Roxo com vegetação de Cerrado. *Bragantia* 26:373–379.
- Mascarenhas, H. A. A., Miyasaka, S., Igue, T. *et al.* 1968. Adubação da soja VII. Efeito de doses crescentes de calcário, fósforo e potássio em solo Latossolo Roxo com vegetação de Cerrado recém desbravado. *Bragantia* 27(2):279–289.
- Mascarenhas, H. A. A., Miyasaka, S., Igue, T. *et al.* 1969. Respostas da soja à calagem e a adubações minerais com fósforo e potássio em Latossolo Roxo. *Bragantia* 28(4):17–21.
- McLung, A. C., De Freitas, L. M. M., Callo, T. R. *et al.* 1957. Preliminary fertility studies on Campo Cerrado soils in Brazil. IBEC Research Institute Bulletin 13.
- Mikkelsen, D. S., De Freitas, L. M. M. and McClung, A. C. 1963. Effects of liming and fertilizing cotton, corn and soybeans on Campo Cerrado soils, State of São Paulo, Brazil, IRI Research Institute Bulletin 29.
- Miyasaka, S., Freire, E. S. & Mascarenhas, H. A. A. 1964. Ensaio de adubação da soja e do feijoeiro. *Bragantia* 23(5):45–54.
- Miyasaka, S., Freire, E. S. & Abramides, A. 1966. Adubação da soja IV. Estudo preliminar sobre maneiras de efetuar a calagem com calcário dolomítico e cal extinta, *Bragantia* 25:223–231.

- Miyasaka, S., Mascarenhas, H. A. A. & Freire, E. S. 1964. Adubação da soja III. Efeito de NPK do enxofre e de micronutrientes em solo do Arenito Botucatu com vegetação de Cerrado. *Bragantia* 23(7):65–71.

#### Pastos y Forrajes

- Basurco, J. C. P., Schiel, E., Lombardo, E. O. *et al.* 1966. Inoculación y revestimiento de *Trifolium pratense* y *Medicago sativa* en Oliveros (Prov. de Santa Fe). *Rev. Invest. Agropecuar. Ser 2 Biol. Prod. Veg.* 5(5):67–76.
- Blue, W. G. 1969. Fertilizer response with Pangola grass on Puletan loamy fine sand, British Honduras, as indicated by pot experiments. *Tropical Agriculture* 46(1):25–29.
- Caro Costas, R. and Vicente Chandler, J. 1963. Effect of liming and fertilization on productivity and species balance of a tropical Kudzu- molassesgrass pasture under grazing management. *J. Agric. Univ. Puerto Rico* 47(4):236–241.
- Gómez, R. E. and Blue, W. G. 1968. Nitrogen status of alluvial soils from the humid tropics of Costa Rica. *Soil Crop Sci. Soc. Fla. Proc.* 28:79–86.
- Hortensine, C. C., Blue, W. G. 1968. Growth responses in three plant species to lime and phosphorus applied to Puletan loamy fine sand. *Soil Crop Sci. Soc. Fla. Proc.* 28:23–28.
- Neme, N. A. & Lovadini, L. A. C. 1967. Efeito de adubos fosfatados e calcário na produção de forragem de soja perene em “Terra de Cerrado”. *Bragantia* 26:365–371.
- Rodríguez, M. J. y Lotero C., J. 1967. Respuesta de la lechuga romana y alfalfa a fuentes y dosis de fósforo y cal en un suelo negro orgánico de Antioquia. *Rev. Inst. Colombiano Agropecuar.* 2(2):135–153.
- Werner, J. C., Quagliato, J. L. & Martinelli, D. 1967. Ensaio de fertilização de colônia com solo da “Noroeste”. *Bol. Ind. Anim.* 24:159–167.
- Werner, J. C., Sartini, H. J., Pedreira, J. V. S. *et al.* 1967. Efeito da calagem no aproveitamento da fosforita de olinda e do superfosfato simples em capim Pangola. *Bol. Ind. Anim.* 24:169–173.

#### Caña de Azúcar

- Abruña, F. R. and Vicente-Chandler, J. 1967. Sugar cane yields as related to acidity of a humid tropic Ultisol. *Agron. J.* 59(4):330–332.
- Abruña, F. R., Fiarez, S., Pérez, E. R. *et al.* 1968. Effect of soil acidity and liming on yields and composition of sugar cane growing on an Ultisol. *J. Agric. Univ. Puerto Rico.* 52(2):85–100.

- Baver, L. D. and Ayers, A. S. 1962. Soil analyses as bases for fertilizer recommendations in sugar cane. Trans. Joint Meeting Comm. IV. and V. Inter. Soc. Soil Sci. New Zealand. pp. 835–841.
- Fassbender, H. W. and Molina, R. 1969. The influence of silicates and liming of phosphate fertilization on volcanic ash soils in Costa Rica. Proc. of Panel on Volcanic Ash Soils of Latin America. C.2.1. – C.2.12.
- Wutke, D. A. P., Alvarez, R., Gargantini, H. *et al.* 1960. Restouração de solo para a cultura do cana-de-açucar. *Bragantia* 19(43):675–687.

#### Café

- Abruña, F. and Vicente–Chandler, J. 1963. Effects of six sources of N on yields, soil acidity, and leaf composition of coffee. *J. Agric. Univ. Puerto Rico*. 47(1):41–46.
- Abruña, F., Vicente–Chandler, J., Becerra, L. A. *et al.* 1965. Effects of liming and fertilization on yields and foliar composition of high yielding sun-grown coffee in Puerto Rico. *J. Agric. Univ. Puerto Rico* 49(4):413–428.
- Rodríguez, S. J., Bosque–Lugo, R., Pérez–Pérez, R. *et al.* 1964. Yield response of the Puerto Rico and Columbaris coffee cultivars in two Latosols of Puerto Rico, as affected by different levels of nitrogen, phosphorus, potassium, and lime. *J. Agric. Univ. Puerto Rico* 48(3):255–262.

#### Otros cultivos

- Abruña, F. R., Vicente–Chandler, J., Pearson, R. W. *et al.* 1970. Crop response to soil acidity factors in Ultisols, and Oxisols: I. Tobacco. *Soil Sci. Soc. of Am. Proc.* 34(4):629–635.
- Bhangoo, M. S. and Karon, M. L. 1962. Effect of minor elements and dolomitic lime on fruit yield. *Tropical Agriculture* 39(3):203–210.
- Camargo, L. S., Campos, H. R. & Abramides, E. 1965. Influência da calagem em solo ácido da formação glacial na produção do tomateiro. *Bragantia* 24:51–54.
- Correa, D. M., Pettinelli, A., Venturini, W. R. *et al.* 1961. Adubação do algodoeiro. XI. Ensaio com calcário, adubação verde e adubação mineral. *Bragantia* 20(22):617–633.
- Jorge, J. A. Gargantini, H. & Igue, T. 1965. Efeito da calagem em trigo. *Bragantia* 24:79–80.
- McClung, A. C., De Freitas, L. M. M., Mikkelsen, D. S. *et al.* 1961. Cotton fertilization on Campo Cerrado soils, State of São Paulo, Brazil. IBEC Research Institute Bulletin 27.

Rocha, J. L., Tella, R., Filho, C., & Freire, E. 1965. Experiências de adubação do amendoim em campos da região de Botucatu. *Bragantia* 24:281–303.

Samuels, G., González-Vélez, F., Boneta-García, E. G. *et al.* 1962. Influence of potash fertilizers on tobacco yields and quality on a Mabi clay. *J. Agric. Univ. Puerto Rico* 46(3):183–188.

## CAPITULO 7

### FOSFORO

*E. J. Kamprath*

Profesor de Suelos, Universidad Estatal de Carolina del Norte

Los Oxisoles y Ultisoles de los trópicos, así como los Andosoles, generalmente son muy deficientes en fósforo. Muchos de los suelos fijan grandes cantidades de fósforo añadido. Por lo tanto, sin la aplicación de fósforo, no es posible mantener una producción de cultivos con altos rendimientos. Es el propósito de este estudio resumir los resultados de investigación realizados sobre la fijación de fósforo y respuesta a la fertilización con fósforo en los trópicos latinoamericanos.

#### 7.1 LA FIJACION DEL FOSFORO

##### Capacidad Relativa de Fijación

Las mayores cantidades de fósforo son fijadas por óxidos amorfos hidratados de hierro y aluminio, seguidos por gibbsita, goetita, kaolinita y montmorillonita. Mientras más cristalino sea el material, menor es su capacidad de fijación. Trabajos realizados en suelos de Costa Rica han indicado que el orden de la fijación de fósforo, de mayor a menor, es: Latosoles, Andosoles y suelos aluviales (Fassbender, 1966).

Los Latosoles de la Amazonía del Brasil poseen una capacidad de adsorción de fósforo menor que los suelos de otras áreas tropicales (Fassbender, 1969). Esto puede deberse al bajo contenido de arcilla y por lo tanto a un menor contenido de óxidos hidratados amorfos.

Los suelos de las áreas cafetaleras de Colombia tienen una alta capacidad de fijar fósforo (López, 1960). Muchos de estos suelos han sido formados por ceniza volcánica y contienen apreciables cantidades de alofano, un silicato amorfo de aluminio.

### Factores Relacionados con la Fijación del Fósforo

La fijación del fósforo por suelos altamente intemperizados está relacionada con sus contenidos de óxido de hierro. Estudios realizados con suelos en São Paulo, Brasil, indicaron que dentro de un grupo de suelos, la fijación de fósforo estaba relacionada con el contenido de óxido de hierro del suelo (Pratt *et al*, 1969). Los Ultisoles fijan más fósforo por unidad de hierro que los Oxisoles. Los compuestos de hierro en los Oxisoles rojos parecen ser más cristalinos.

La fijación de fósforo en suelos de ceniza volcánica de Chile está relacionada con la cantidad de aluminio extraída con  $\text{N NH}_4 \text{OAc}$  al pH de 4,8 (Alamos *et al*, 1967). Se ha encontrado que mientras más jóvenes sean los suelos de ceniza volcánica, mayor es la fijación de fósforo. Aparentemente con el tiempo los materiales amorfos se transforman en productos más cristalinos. El encalado de un Andosol de Costa Rica no tuvo efecto en la cantidad de fósforo retenido (Fassbender, 1969). Sólo cuando está presente el aluminio intercambiable, el encalado reduciría la fijación del fósforo.

### Formas de Fósforo en los Suelos

**Suelos derivados de ceniza volcánica.** La mayor parte del fósforo en los Andosoles de Costa Rica está en forma inorgánica y ligado a compuestos de aluminio y hierro (Fassbender, 1968). Los suelos de ceniza volcánica recientes en América Central tienen aproximadamente el 44 por ciento del fósforo total presente en forma inorgánica (Fassbender, 1969). Los suelos de ceniza volcánica en Honduras que fueron formados en situ tenían la mayor parte del fósforo en forma ocluída (Morillo *et al*. 1968). Igualmente en Colombia, el fósforo inerte (ocluído correspondió al 50 por ciento del total del suelo y sólo del 15 por ciento estaba en fosfatos ligados al aluminio (Blasco, 1969). Estudios realizados en Chile revelaron que, con el tiempo, la cantidad de fósforo orgánico baja y la cantidad de Fe—P aumenta (Casado, 1966). Ya que los suelos de ceniza volcánica tienen la mayor parte de su fósforo en las formas más insolubles, la disponibilidad de fósforo generalmente será baja.

**Latosoles.** El fosfato de hierro es la forma principal de un Latosol de Costa Rica y correspondiendo el 42 por ciento al fósforo inorgánico (Fassbender 1966). Casi todo el fósforo añadido a los suelos está ligado a compuestos de Fe y Al. La forma inerte de fósforo es la fracción mayor en Latosoles de Colombia (Blasco y Bahorquez, 1968). Los

Latosoles de la Amazonía del Brasil contienen la mayoría de su fósforo en forma ocluída y reductora (Vieira y Bornemisza, 1968). El fósforo orgánico fluctuó del 20 al 50 por ciento del fósforo total. Cuando se añadió fósforo a dichos suelos, aproximadamente el 63 por ciento fue convertido en Al-P y Fe-P (Fassbender, 1969). La disponibilidad de fósforo en Latosoles es generalmente muy baja porque el fósforo en su mayor parte está en formas muy insolubles ligados con hierro y aluminio. Los suelos altamente intemperizados del Brasil, Trinidad y El Salvador tienen la mayor parte de su fósforo en forma ocluída o como fosfatos de hierro (Danke *et al*, 1964; Jorge y Valadares, 1969 y Weir, 1966).

**Suelos aluviales.** La forma de fósforo en aluviones depende del material originario del suelo. En un estudio en Costa Rica, el 40 por ciento del fósforo inorgánico estaba en forma de Fe-P (Fassbender, 1966). Aluviones recientes en la parte baja de la cuenca del río Choluteca en Honduras tenían un contenido alto de Ca-P (Morillo y Fassbender 1968).

#### Factores que Afectan la Forma de Fósforo

**El pH del suelo.** El pH natural de un suelo, que es el reflejo de la saturación de calcio, determina la forma de fósforo dominante. Estudios realizados en América Central mostraron que el pH de 5,5 es la línea divisoria en cuanto a la forma principal de Ca-P o Al-p más Fe-P (Fassbender *et al*, 1968).

**Intemperización.** A medida que los suelos llegan a ser altamente intemperizados, por lo general hay una disminución en el contenido de calcio y mayores cantidades de Al y Fe reactivos. Por lo tanto, con la mayor intemperización hay un cambio de Ca-P a Fe-P y el resultado es una disminución en la disponibilidad de fósforo (Westin y De Brito, 1969).

**Condiciones de humedad.** El contenido de humedad determina el potencial de reducción y oxidación del suelo. Estudios realizados en Trinidad mostraron que durante la estación seca había un aumento en P reductor (Fe-P mientras que con condiciones anaeróbicas había un aumento en la fracción de Al-P (Ahmad, 1967). Trabajos realizados en Venezuela indican que los suelos con una estación seca definida mostraron una tendencia de tener una mayor proporción de FE-P mientras que en aquellos con drenaje impedido predomina el Al-P (Westin y De Brito, 1969).

## 7.2 CORRELACION CON ANALISIS DE SUELOS

### América Central

Un estudio de invernadero con 110 suelos de América Central indica que el 66 por ciento eran extremadamente deficientes en fósforo y sólo el 15 por ciento contenían cantidades adecuadas de fósforo (Fassbender *et al*, 1968). Correlaciones entre análisis de suelos y adsorción de fósforo dieron los siguientes coeficientes: Egner—Riehm (Lactato de Calcio) 0.947; Olsen ( $\text{NaHCO}_3$ ) 0.870; Bray I ( $\text{HCl} + \text{NH}_4\text{F}$ ) 0.856; Mehlich ( $\text{HCl} + \text{H}_2\text{SO}_4$ ) 0.856, y Saunders ( $\text{NaOH}$ ) 0.340.

Para un grupo de suelos de Honduras, el método de Olsen ( $\text{NaHCO}_3$ ) dio la mejor medida de retención de P (Morillo y Fassbender, 1968).

### Colombia

Se realizaron estudios en las montañas y valles inter—montañosos de Colombia para correlacionar los valores de análisis de suelos con respuestas del trigo a fertilización con fósforo (Navas *et al*, 1966). El método Bray II ( $\text{HCl} + \text{NH}_4\text{F}$ ) dio las mejores correlaciones. Los siguientes niveles fueron establecidos con el propósito de dar recomendaciones: bajo (0—20 ppm), mediano (20—40 ppm) y alto (más de 40 ppm).

El laboratorio que analiza las muestras del área cafetalera de Colombia ha usado 0,08 N  $\text{H}_2\text{SO}_4$  como extractante (López, 1958). Muchos de los suelos de esta área han sido formados por ceniza volcánica.

### Brasil

Basado en 217 experimentos con algodón en suelos Terra Roxa y Massapé—Salmourão, se han establecido niveles de análisis de suelos usando una solución de 0,05 N  $\text{H}_2\text{SO}_4$  como extractante (Verdade *et al*, 1967). Los niveles para suelos arenosos fueron los siguientes: bajo (0—7 ppm), mediano (7—14 ppm) y alto (más de 14 ppm); mientras que para suelos arcillosos los niveles fueron los siguientes: bajo (0—17 ppm) y alto (más de 17 ppm).

## Perú

Se han realizado experimentos de campo con papas a través de toda la Sierra del Perú (Valverde *et al*, 1966). El nivel crítico de fósforo en el suelo fue de 7 ppm con el método de Olsen. Bajo este nivel crítico, se obtuvieron aumentos bastante apreciables de producción de papas con aplicaciones de fosfato.

### 7.3 RESPUESTA A FERTILIZACION CON FOSFORO

#### Maíz

Los suelos del Campo Cerrado del Brasil generalmente son deficientes en fósforo y los rendimientos de maíz son bastante bajos sin fertilización con fósforo (Mikklesen *et al*, 1963). En la región de São Paulo, la aplicación de 80 kg de  $P_2O_5$ /ha a suelos previamente no fertilizados, aumentó los rendimientos de maíz aproximadamente en un 100 por ciento, mientras que en suelos previamente fertilizados, la respuesta fue menos del 20 por ciento (Viegas *et al*, 1961).

Otros estudios en São Paulo con los grupos de suelos Massapé, Terra Roxa, Arenito Bauru, Glacial y Terciário, indicaron que los rendimientos máximos fueron obtenidos con 150 kg de  $P_2O_5$ /ha (Viegas *et al*, 1963). Rendimientos óptimos en Minas Gerais, Brasil, fueron obtenidos con 108 kg de  $P_2O_5$ /ha (Braga y Yahmer, 1968). Un estudio de suelo de Terra Roxa Misturada mostró que 200 kg de  $P_2O_5$ /ha de roca fosfatada es igual a 60 kg de  $P_2O_5$ /ha de superfosfato (Viegas *et al*, 1960).

Se realizaron experimentos en 26 lugares del Estado de Veracruz, México con aluviones, suelos de ceniza volcánica y suelos formados por depósitos marinos (Laird *et al*, 1963). La fertilización con fósforo aumentó los rendimientos en el 26 por ciento de estas localidades. Los aumentos de rendimientos de aplicaciones de 40 kg de  $P_2O_5$ /ha fluctuaron de 1,15 a 2,17 ton/ha. En otro estudio en 47 lugares con suelos de ceniza volcánica en El Bajío, México, aplicaciones de 40 kg de  $P_2O_5$ /ha aumentaron los rendimientos en 0,61 ton/ha (Laird y Rodríguez, 1965).

### Arroz

Respuestas al fósforo por el cultivo del arroz de secano han sido frecuentes en los suelos del Campo Cerrado del Brasil (Oliveira *et al*, 1964, 1965, 1966). Los rendimientos máximos en São Paulo fueron obtenidos con 60 kg de  $P_2O_5$ /ha (Oliveira *et al*, 1965). En un suelo Terra Roxa Misturada en Campinas, 60 kg de  $P_2O_5$ /ha aumentaron los rendimientos de arroz en un 48 por ciento (Miranda y Freire, 1967). No se obtuvieron respuestas a fertilización con fósforo en arroz en el Nordeste del Brasil en suelos aluviales de la costa (Vasconcelos y Almeida, 1966).

No se observó respuesta alguna a fertilización con fósforo en 38 experimentos con arroz bajo riego en el Perú (Carmen 1968). De igual modo, no se encontró respuesta a fósforo en 11 experimentos realizados en Colombia con arroz bajo riego (ICA, 1970).

### Trigo

Los suelos de la Sabana de Bogotá tienen un nivel bastante bajo de fósforo disponible (Vega *et al*, 1959). Se obtuvieron rendimientos óptimos de trigo con una dosis de 160 kg de  $P_2O_5$ /ha. Los estudios realizados en la parte Sur de São Paulo mostraron un aumento de siete veces en rendimientos de trigo con aplicaciones de 240 kg de  $P_2O_5$ /ha (Jorge *et al*, 1965). Cuando los Latosoles Rojos Oscuros tenían un bajo contenido de fósforo, se requerían dosis de 120 a 180 kg de  $P_2O_5$ /ha para obtener rendimientos máximos (García *et al*, 1965). Los suelos de las mesetas andinas generalmente son deficientes en fósforo. Se han obtenido grandes respuestas en rendimientos de trigo con aplicaciones de fósforo (Peña—Herrera, 1961).

### Tubérculos y Raíces

El aumento promedio de rendimientos de papa obtenido con fertilización con fósforo fue del 42 por ciento en estudios realizados en cuatro regiones de São Paulo (Freire y Boock, 1960). Grandes aumentos fueron obtenidos con 120 kg de  $P_2O_5$  y menores aumentos con hasta 180 kg de  $P_2O_5$ /ha. En el Valle del Paraíba de São Paulo, los aumentos promedios de rendimiento debido al fósforo fueron del 28 por ciento, comparado con el 37 por ciento con nitrógeno (Gargantini *et al*, 1965). Se encontró que el fósforo de Bauxita era una mala fuente de fósforo comparado con el superfosfato aplicado a una dosis de 120 kg de  $P_2O_5$ /ha. (Brock y Freire, 1960).

Se realizaron cinco experimentos de fertilización con fósforo en la región de Antioquía en Colombia donde muchos de los suelos son derivados de ceniza volcánica (Rodríguez *et al*, 1960). Los rendimientos promedios fueron de 4,1 ton/ha sin la aplicación de fósforo y de 15,3 ton/ha con la aplicación de 450 kg en  $P_2O_5$ /ha.

En la Sierra del Perú, el 95 por ciento de los experimentos mostraron respuestas de papas a la fertilización con fosfato. Se obtuvieron rendimientos óptimos de papas con aplicaciones de 160 kg de  $P_2O_5$ /ha. (Valverde *et al*, 1966).

Hay muy poca información publicada sobre otros cultivos tales como yuca y camote.

### **Frijoles y Soya**

Los frijoles generalmente respondieron a la fertilización con fósforo en São Paulo cuando se los cultivan en suelos que no habían sido fertilizados anteriormente (Miyasaka, 1966). En muchos casos, las respuestas fueron mucho mayores cuando los suelos fueron encalados, probablemente debido a la neutralización del aluminio intercambiable (Mascarenhas *et al*, 1967). Respuestas de rendimientos en suelos de Arenito Bauru en São Paulo fueron lineales hasta 120 kg de  $P_2O_5$ /ha. (Miyasaka *et al*, 1965). En Costa Rica, los frijoles respondieron a la fertilización con fosfato en estudios realizados en tres suelos (Martini y Pinchinat, 1967).

La soya dio gran respuesta a la fertilización con fosfato en estudios realizados en Latosoles en varios lugares en el Brasil (Freitas *et al*, 1960; Mascarenhas *et al*, 1968). Un aumento lineal en rendimientos hasta 120 kg de  $P_2O_5$ /ha fue obtenido en un experimento en Itararé, Brasil (Miyasaka *et al*, 1966). En Campinas, los rendimientos de soya aumentaron en un 43 por ciento con aplicaciones de fosfato (Miyasaka *et al*, 1960).

### **Forrajes y Pastos**

Los suelos del Campo Cerrado de São Paulo y Goiás son muy deficientes en fósforo. Los rendimientos de pastos y leguminosas sin una aplicación de fósforo fueron menos del 10 por ciento de los obtenidos, con fertilización de fósforo (McClung *et al*, 1957). En la parte central del Brasil, los pastos no son fertilizados y bajo estas condiciones el pasto Pangola no suministra suficiente fósforo para los

animales que pastorean (Gomide *et al*, 1969). Durante la estación seca, los pastos cultivados en el interior de São Paulo son deficientes en fósforo (Andreasi *et al*, 1966).

Un gran porcentaje de los suelos de Panamá que se usan para el pastoreo son deficientes en fósforo (McCorkle, 1968). El pasto elefante cultivado en un aluvión del Valle de Turrialba en Costa Rica mantuvo un alto nivel de producción con 100 kg de  $P_2O_5$  /ha/año (Guerrero *et al*, 1970). Estudios con una tierra margosa arenosa en Belice mostró que se obtiene un rendimiento máximo de forrajes con 64 ppm de P añadido, pero que el contenido de fósforo del forraje probablemente no es adecuado excepto con 220 ppm de P añadido (Blue 1969).

Los suelos derivados de ceniza volcánica de Chile (suelos Trumau) a menudo son deficientes en fósforo. Una dosis mínima de 100 kg de  $P_2O_5$  /ha es necesaria para el establecimiento de mezclas de gramíneas con leguminosas en los suelos de ceniza volcánica (Goic, 1968).

En suelos arcillosos de las series de Múcara y Catalina en Puerto Rico, el pasto Elefante respondió a 150 kg de  $P_2O_5$  /ha (Figarella, 1964). Se han realizado diversos estudios en Puerto Rico sobre la cantidad de fósforo asimilado anualmente por algunos de los pastos tropicales. El pasto Pará cortado cada 60 días produjo 85 ton/ha/año de forraje verde que contenía 52 kg/ha de P (Vicente—Chandler *et al*, 1960). El pasto Napier cortado cada 60 días produjo 65 ton/ha/año de forraje verde conteniendo 120 kg/ha de fósforo (Vicente—Chandler *et al*, 1960). El pasto Guinea produjo 37 ton/ha/año de forraje verde con un contenido de 70 kg/ha (Vicente—Chandler *et al*, 1960). Estos resultados demuestran que, bajo condiciones tropicales donde es posible cultivar pastos todo el año, la asimilación de fósforo puede ser extremadamente alta. Bajo estas condiciones las aplicaciones de fósforo deben ser considerablemente mayores que las aplicadas en regiones templadas.

### Algodón

Los resultados de 217 experimentos sobre la fertilización de algodón en São Paulo revelaron que el fósforo era uno de los principales factores limitantes (Verdade *et al*, 1965). Las respuestas promedio a aplicaciones de fósforo fueron de 290 kg/ha en suelos arenosos y de 330 kg/ha en suelos arcillosos de São Paulo (Fuzatto y Cavaleri, 1966). Grandes aumentos en el rendimiento de algodón fueron obtenidos con fertilización con fósforo en suelos de Terra Roxa en São Paulo (Schmidt *et al*, 1962). Las aplicaciones de 30 kg de  $P_2O_5$  /ha generalmente fueron

adecuadas excepto en los suelos que eran muy deficientes en fósforo. Un gran efecto residual de la fertilización fosforada fue obtenido en un suelo Massapé—Salmourão de São Paulo (Neves *et al*, 1962).

El encalado tiene la tendencia de reducir la respuesta al fósforo en suelos del Campo Cerrado en São Paulo que recientemente se habían comenzado a cultivar (McClung *et al*, 1961). Este efecto puede deberse a la neutralización del aluminio intercambiable en estos suelos ácidos que resultaba en mejores crecimientos de las raíces y mayor disponibilidad de fósforo del suelo. Los suelos del Campo Cerrado, sin embargo, generalmente son muy deficientes en fósforo.

#### Caña de Azúcar

La aplicación de 90 kg de  $P_2O_5$ /ha ha resultado en un aumento promedio en el rendimiento de 40 toneladas de caña/ha en suelos de São Paulo que se habían fertilizado solo una vez con fósforo (Alvarez, Pimentel y Segalla, 1963). En suelos que anteriormente habían recibido de dos a cinco aplicaciones de fósforo, las respuestas en rendimiento dieron un promedio de menos de 12,5 toneladas de caña/ha. A lo largo de la costa de São Paulo, se obtuvieron rendimientos óptimos con 100 kg de  $P_2O_5$ /ha (Alvarez, Miranda y Oliveira, 1963). En una Terra Roxa Misturada—glacial de São Paulo, una aplicación de 40 kg de  $P_2O_5$ /ha fue adecuada (Alvarez, Segalla, Arruda, 1963). Las dosis de fósforo requeridas para rendimientos óptimos de caña de azúcar en el Brasil son considerablemente menores que las usadas en Hawaii donde 175 kg de P/ha fueron aplicados al sembrar en suelos de ceniza volcánica (Fox, 1969).

Se han realizado algunos experimentos en São Paulo, Brasil, con caña de azúcar comparando la eficiencia de rocas fosfatadas con superfosfatos. En un estudio de cinco suelos en São Paulo cuyo pH fluctuaba entre 4,8 y 5,6, el superfosfato aumentó los rendimientos de caña de azúcar en un 35 por ciento, mientras que cuatro rocas fosfatadas dieron aumentos en el rendimiento del 10 al 28 por ciento (Alvarez *et al*, 1965). En otro estudio, cuatro rocas fosfatadas fueron solamente de 40 a 63 por ciento efectivas, comparados con el superfosfato aplicado a una dosis de 100 kg de  $P_2O_5$ /ha. (Freire *et al*, 1968).

#### 7.4 RESUMEN

Los suelos altamente intemperizados de los trópicos, Ultisoles y Oxisoles, generalmente son deficientes en fósforo. Estos suelos también

tienen una gran capacidad de fijar el fósforo aplicado como fertilizante. Mientras menos cristalinos los óxidos hidratados de hierro y aluminio sean, más firmemente se fija el fósforo. Los suelos formados de ceniza volcánica tienen una gran capacidad de fijación de fósforo debido al silicato de aluminio amorfo, alófanos.

Grandes respuestas a la fertilización con fósforo han sido obtenidas de los suelos altamente intemperizados de los trópicos. Las aplicaciones de fósforo en suelos deficientes que generalmente dieron rendimientos óptimos fueron de 100 a 150 kg de  $P_2O_5$ /ha para maíz, soya, caña de azúcar y forrajes; 120 a 240 kg de  $P_2O_5$ /ha para trigo; 120 a 180 kg de  $P_2O_5$ /ha para papas, y 60 kg de  $P_2O_5$ /ha para arroz de secano.

Se han realizado muy pocos trabajos sobre las cantidades de fósforo requeridas para levantar los análisis de suelos hasta un nivel óptimo. También existe una necesidad de estudiar los efectos residuales de aplicaciones de fósforo.

## 7.5 BIBLIOGRAFIA

### Fósforo del Suelo

- Alamos, P. O., Behrens-Le Bas, H., Acevedo, E. H. *et al.* 1967. Relaciones suelo-fósforo en suelos derivados de cenizas volcánicas. *Agr. Tec. (Chile)* 27(3):120-129.
- Blasco, M. 1969. Chemical properties of volcanic ash soils. Proc. of Panel on Volcanic Ash Soils of Latin America B.8.1. - B.8.9. Turrialba.
- Casado, B. 1966. Fijación y fraccionamiento de fósforo en suelos derivados de cenizas volcánicas. *An. Fac. Quím. Farm. Univ. Chile* 18:314-320.
- Fassbender, H. W. 1969. Efecto del encalado en la mejor utilización de fertilizantes fosfatados en un andosol de Costa Rica. *Fitotecnia Latinoamericana* 6(1):115-125.
- Fassbender, H. W. 1969. Forms of phosphate after nine years of superphosphate fertilization of cacao. *Agrochimica* 13(1-2):39-43.
- Fassbender, H. W. 1966. La adsorción de fosfatos en suelos fuertemente ácidos y su evaluación usando la isoterma de Langmuir. *Fitotecnia Latinoamericana* 3(1-2):203-216.
- Fassbender, H. W. 1969. Phosphorus deficiency and fixation in volcanic ash soils in Central America. Proc. of Panel on Volcanic Ash Soils in Latin America B.4.1 - B.4.10, Turrialba.

- Fassbender, H. W. 1968. Phosphate retention and its different chemical forms under laboratory conditions for 14 Costa Rican soils. *Agrochimica* 12:512–521.
- Fassbender, H. W. 1969. Retención y transformación de fosfatos en ocho latosoles de la Amazonía del Brasil. *Fitotecnia Latinoamericana* 6(1):1–10.
- Fox, R. L., DeDatta, S. K. and Sherman, G. D. 1962. Phosphorus solubility and availability to plants and the aluminum status of Hawaiian soils as influenced by liming. *Trans. Joint Meeting Comm. IV and V Inter. Soc. Soil Sci., New Zealand*, pp. 574–583.
- Fox, R. L., DeDatta, S. K. and Wang, J. M. 1964. Phosphorus and aluminum uptake by plants from latosols in relation to liming. 8th Inter. Congr. Soil Sci. Trans. Bucharest 4:595–603.
- Fox, R. L., Plucknett, D. L. and Whitney, A. S. 1968. Phosphate requirement of Hawaiian latosols and residual effects of fertilizers phosphorus. 9th Inter. Congr. Soil Sci. Trans. Adelaide 2:301–310.
- Kobo, K. 1964. Properties of volcanic ash soils. *FAO. World Soil Resource Rpt.* 14:71–73.
- Letelier Almeyda, E. 1969. The response of volcanic ash soils in Chile (Trumaos) to fertilizers, in field experiments. *Proc. of Panel on Volcanic Ash Soils of Latin America C.3.1. – C.3.14, Turrialba.*
- López Arana, M. 1960. Valoración de las formas de fósforo orgánico e inorgánico de un suelo de la zona cafetera de Colombia. *Cenicafé* 2(7):189–204.
- Muller, L., Balderi, F., Diaz Romeu, R., y Fassbender, H. 1968. Estudio del fósforo en suelos de América Central. I. Ubicación, características físicas y químicas de los suelos estudiados. *Turrialba* 18(4):319–332.
- Pratt, P. F., Peterson, F. F. and Holzley, C. S. 1969. Qualitative mineralogy and chemical properties of a few soils from São Paulo (Brazil). *Turrialba* 19(4):491–496.
- Vargas, E. 1964. El Al de cambio en suelos de los Llanos Orientales. Instituto Geográfico "Agustín Codazzi", Colombia.
- Watts, J. C. D. 1968. Phosphate relationship in acid sulphate soils for the Malacca area. *Malay. Agric. J.* 46:252–269.
- Westin, F. C. and De Brito, J. G. 1969. Phosphorus fractions of some Venezuelan Soils as related to their stage of weathering. *Soil Sci.* 107:194–202.
- Woodruff, J. R. and Kamprath, E. J. 1965. Phosphorus adsorption maximum as measured by the Langmuir isotherm and its relation to P availability. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.* 29:148–150.
- Younge, O. R. and Plucknett, D. L. 1966. Quenching the high P-fixation of Hawaiian latosols. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.* 30:653–655.

## Análisis de Suelo

- Ahmad, N. 1967. Seasonal changes and availability of phosphorus in swamp rice soils of North Trinidad. *Tropical Agriculture* 44(1):21–32.
- Ahmad, N. and Jones, R. L. 1967. Forms of occurrence of inorganic P and its chemical availability in the limestone soils of Barbados. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.* 31:184–188.
- Ahmad, N., Jones, R. L. and Beavers, A. H. 1968. Genesis, mineralogy, and related properties of West Indian soils: I. Montserrat series, derived from Glauconitic Sandstone, Central Trinidad, J. *Soil Sci.* 19(1):1–8.
- Balerdi, F., Muller, L. and Fassbender, H. W. 1968. A study of phosphorus in soils in Central America. III. Comparison of five chemical analysis methods for available phosphorus. *Turrialba* 18:348–360.
- Baver, L. D. and Ayers, A. S. 1962. Soil analysis as bases for fertilizer recommendations in sugar cane. *Trans. Joint Meeting Comm. IV and V Inter. Soc. Soil Sci. New Zealand* 835–841.
- Blasco, M. L. and Bohorquez, N. A. 1968. Fractionation of P in tropical soils of Colombia. *Agrochimica* 12:173–179.
- Bornemisza, E., Vieira, L. S. and Igue, K. 1968. The method of Mehta *et al.* modified for determination of organic P in soils high in extractable iron. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.* 31(4):576–577.
- Braga, J. M. & Yahner, J. 1968. Estudo de correlação de análise química do solo e da planta em cultura de milho. *Experientiae* 8(5):164–196.
- Dahnke, W. C., Malcolm, J. L. and Menendez, M. E. 1964. Phosphorus fractions in selected soil profiles of El Salvador as related to their development. *Soil Sci.* 98:33–38.
- Fassbender, H. W. 1966. Descripción físico-química del sistema fertilizante fosfato-suelo-planta. *Turrialba* 16(3):237–246.
- Fassbender, H. W. 1966. Formas de los fosfatos en algunos suelos de la zona oriental de la Meseta Central y de las Llanuras Atlánticas de Costa Rica. *Fitotecnia Latinoamericana* 3(1–2):187–202.
- Fassbender, H. W., Muller, L. y Balerdi, F. 1968. Estudio del fósforo en suelos de América Central. II. Formas y relación con la planta. *Turrialba* 18(4):333–347.
- Fuzatto, M. G. & Cavaleri, P. A. 1966. Correlação entre a resposta do algodoeiro a adubação fosfatada e a análise química do solo, nos condições do Estado de São Paulo. *Bragantia* 25:407–420.
- Hardy, F. 1962. Problemas de fertilización en el Campo Cerrado de la parte central oriental de Brasil. *Turrialba* 12(3):128–133.

- Hortensine, C. C. and Blue, W. G. 1968. Growth responses in three plant species to lime and phosphorus applied to Puletan loamy fine sand. *Soil Crop Sci. Soc. Fla. Prod.* 28:23–28.
- Jorge, J. A. & Valadares, J. 1969. Formas de fósforo em solos do Estado de São Paulo. *Bragantia* 28(2):23–30.
- López Arana, M. 1958. Determinación de fósforo aprovechable en suelos tropicales. *Cenicafé* 9(5–6):109–120.
- Martini, J. A. 1969. Caracterización del estado nutricional de los principales "Latosoles" de Costa Rica, mediante la técnica del elemento faltante en el invernadero. *Turrialba* 19(3):394–408.
- Morillo, M. R. y Fassbender, H. W. 1968. Formas y disponibilidad de fosfatos de los suelos de la Cuenca baja del río Choluteca, Honduras. *Turrialba* 18(1):26–33.
- Moura Filho, W. 1970. Studies of a latosol roxo (Eustrtox) in Brazil: Clay mineralogy, micromorphology effect of ion release and phosphate reactions. Thesis, Dept. of Soil Science, North Carolina State University at Raleigh.
- Navas, A., J., Manzano, H. y McClung, A. C. 1966. Calibración del análisis de fósforo. (Algunos aspectos del análisis de suelos). *Agricultura Tropical* 22(4 a 8):23–32.
- Neme, N. A. & Lovadini, L. A. C. 1967. Efeito de adubos fosfatados e calcário na produção de forragem de soja perene em "Terra de Cerrado". *Bragantia* 26:365–371.
- Oliveira, D. de A., Montojos, J. C., Igue, E., *et al.* 1965. Adubação do arroz de sequeiro. II. Cultivar Pratão. *Bragantia* 24(33):437–446.
- Piza, C. de Toledo, Jr., & Neptune, A. M. 1966. Observações preliminares sobre o modo de aplicação do fósforo e a sua absorção pela videira, empregando-se superfosfato radioativo. *An. Esc. Sup. "Luiz de Queiroz"* 23:350–355.
- Ramírez, P., A. y Lotero C., J. 1969. Efecto de la dosis y frecuencia de aplicación de nitrógeno en la fertilidad y propiedades químicas del suelo. *Rev. Inst. Colombiano Agropecuario* 4(4):227–254.
- Rodríguez, M. J. y Lotero C., J. 1967. The response of romaine lettuce and alfalfa to different sources and amounts of phosphorus and lime in a black organic soil of Antioquia (Colombia). *Rev. Inst. Colombiano Agropecuario* 2(2):135–153.
- Vega, J., Víctor, M., Baird, G. B. *et al.* 1959. Algunos aspectos de la fertilización del trigo en suelos de la Sabana de Bogotá y alrededores. D.I.A. Boletín Técnico 4.
- Vieira, L. S. y Bornemisza, E. 1968. Categorías de fósforo en los principales grandes grupos de suelos en la Amazonía de Brasil. *Turrialba* 18(3):242–248.

Weir, C. C. 1962. Evaluation of chemical soil tests for measuring available phosphorus on some Jamaican soils. *Tropical Agriculture* 39(1):67-72.

Weir, C. C. 1966. Phosphorus and potassium status of some Trinidad soils. *Tropical Agriculture* 43(4):315-321.

## FERTILIZACION

### Maíz

Awan, A. B. 1964. Effect of lime on the availability of P on Zamorano soils. *Soil Soc. Am. Proc.* 28(5):672-673.

Bailey, J. M. 1967. Chemical changes in a Sarawak soil after fertilization and crop growth. *Plant and Soil* 27:33-52.

Bornemisza, E. and Fassbender, H. W. 1967. Estimation of fertilizer phosphate uptake from nine Costa Rican soils using  $P^{32}$ . *Agronomy Abstracts* 1967:99.

Braga, J. M. & Yahmer, J. 1968. Estudo comparativo de fosfato de Araxá e superfosfato simples em cultura de milho, em um solo de Viçosa, Minas Gerais. *Experientiae* 8(5):143-163.

Braga, J. M. & Yahmer, J. 1968. Estudo de correlação de análise química do solo e da planta em cultura de milho. *Experientiae* 8(5):164-196.

Capo, B. G. 1967. Additional evidence on the applicability of the new fertilized-yield relation. *J. Agr. Univ. Puerto Rico* 51(2):97-120.

Fassbender, H. W. y Muller, L. 1967. Uso de enmiendas silicatadas en suelos altamente fijadores de fosfatos. I. Efecto de aplicaciones de metasilicatos de sodio. *Turrialba* 17(4):371-375.

Foujeca, R., Dias, C., Pinho, A. *et al.* 1968. Correlação do teor de fósforo no solo com a produção de milho na zona cacaueteira da Bahia. *Pesq. Agropec. Bras.* 3:235-242.

Galiano S., F. 1968. Diagnóstico foliar en maíz: ensayo de campo con Diacol C-103. *Revista del Inst. de Investig. Tecnológicos.* (J2):14-24.

Gallo, J. R., Hiroce, R. and Miranda, L. T. de 1965. A análise foliar na nutrição do milho. I. Resultados preliminares. *Bragantia* 24:47.

Gargantini, H., Dantas Sobrinho, J. A. *et al.* 1968. Estudo comparativo de formas de nitrogênio, sulfato de amônia e amônia anidra na cultura de milho. *Bragantia* 27(2):67.

Gómez, A. G., Catani, R. A. and Freire, E. S. 1961. Adubação do milho. XIX. Ensaio com diversos fosfatos. *Bragantia* 20(3):35-41.

Gómez, A. G., Viegas, G. P. and Freire, E. S. 1963. Adubação do milho no vale do Paraíba. *Bragantia* 22(14):149-157.

- Hardy, F. and Bazan, R. 1966. The maize microplot method of soil testing. *Turrialba* 16(3):267–270.
- Jaiyebo, E. O. and Moore, A. W. 1964. Soil fertility and nutrient storage in different soil–vegetation systems in a tropical rainforest environment. *Tropical Agriculture* 41(2):129–139.
- Laird, R. J. y Lizarraga, H. H. 1959. Fertilizantes y población óptima de plantas para maíz de temporal en Jalisco. Secretaría de Agri. y Ganadería México – Folleto Técnico. 35.
- Laird, R. J., Puente, F. F., Sánchez, D. N. *et al.* 1963. Prácticas de fertilización y población óptima para siembras de maíz en las regiones tropicales de Veracruz. Secretaría de Agri. y Ganadería – INIA – México – Folleto Técnico. 45.
- Laird, R. J. y Rodríguez, G. H. 1965. Fertilización de maíz de temporal en regiones de Guanajuato, Michoacán y Jalisco. Secretaría de Agri. y Ganadería – INIA – México – Folleto Técnico. 50.
- Mandarres, D. C. 1960. Influencia de algunas labores de nivelación y adición de nitrógeno sobre la fertilidad de un suelo franco arcilloso de la serie Estación Palmira. *Acta Agron.* 10:331–344.
- Martini, J. A. 1969. La microparcela de campo como un método biológico rápido para evaluar la fertilidad del suelo. *Turrialba* 19(2):261–266.
- Mikkelsen, D. S., De Freitas, L. M. M. and McClung, A. C. 1963. Effects of liming and fertilizing cotton, corn and soybeans on Campo Cerrado soils, State of São Paulo, Brazil. *IRI Research Institute Bulletin* 29.
- Miranda, H. S. & Freire, E. S. 1962. Experiencias de adubação de arroz com diversos fertilizantes fosfatados e potássicos. *Bragantia* 21(50):858–866.
- Miranda, L. T. 1960. Relação entre teores de nitrogênio e fósforo e pH do solo, e a resposta à adubação fosfatada no milho. *Bragantia* 19(31):503–513.
- Miranda, L. T., Viegas, G. P. and Freire, E. S. 1964. Adubação do milho. *Bragantia* 23(15):153–177.
- Sanguino Soto, L. E. 1961. Influencia del pH sobre la fijación de fósforo y su relación con la respuesta del maíz a la fertilización fosfatada, *Acta Agronómica* 2:188–209.
- Schulz–Schomburgk, E. e Istok, A. 1963. Tres rocas fosfatadas venezolanas y la comprobación de su efecto fertilizante en ensayos vegetativos de invernadero. *Revista Fac. Agronomía (Maracay)*. Venezuela 3(2):22–62.
- Viegas, G. P., Aadrade Sobrinho, J. & Venturini, W. R. 1963. Comportamento dos milhos H–699, Asteca e Cateto em três níveis de adubação e três espaçamentos, em São Paulo. *Bragantia* 22(18):201–236.

- Viegas, G. P. & Freire, E. S. 1961. Adubação de milho. XXXIII. Influência do fósforo, do potássio e da adubação com NPK sobre algumas características das plantas e das espigas. *Bragantia* 20(31):741–757.
- Viegas, G. P., Freire, E. S. & Conagin, A. 1961. Adubação do milho. XVIII. Ensaios com diversos fosfatos. *Bragantia* 20(2):15–34.
- Viegas, G. P., Freire, E. S. & Fraga, C. G., Jr. 1960. Adubação do milho. XIV. Ensaios com mucuna intercalada e adubos minerais. *Bragantia* 19(57):909–941.
- Viegas, G. P., Freire, E. S. & Schmidt, N. C. 1961. Adubação do milho. XXII. Ensaios com diversos fosfatos. *Bragantia* 20(16):537–545.
- Viegas, G. P., Freire, E. S. & Venturini, W. R. 1961. Adubação do milho. XX. Ensaios com diversos fosfatos. *Bragantia* 20(8):389–402.
- Viegas, G. P., Freire, E. S. & Venturini, W. R. 1961. Adubação do milho. XXI. Ensaios com diversos fosfatos. *Bragantia* 20(10):461–470.
- Viegas, G. P., Freire, E. S. & Venturini, W. R. 1960. Adubação do milho. XV. Ensaios com diversos fosfatos. *Bragantia* 19(58):943–959.
- Viegas, G. P., Neves, O. S. and Freire, E. S. 1960. Sobre o efeito das doses de fosfatos naturais. *Bragantia* 19(23):113–118.

#### Arroz

- Carmen, M. L. 1968. Yield of rice as affected by fertilizer rates, soils and meteorological factors. Ph.D. Thesis, Iowa State University, Ames, Iowa.
- Catani, R. A. & Da Gloria, N. A. 1961. A disponibilidade de P de diversos fosfatos estudada por meio do método do Neubauer. *Ann. Esc. Sup. "Luiz de Queiroz"* 18:193–204.
- Enyi, B. C. A. 1964. Effect of varying phosphorus and water supply on growth and yield of an upland rice variety (*Oryza sativa* L.). *Tropical Agriculture* 41(1):47–53.
- ICA. 1970. Programa Nacional de Arroz, Informe Anual. Instituto Colombiano Agropecuario, Palmira, Colombia.
- Miranda, H. S. & Freire, E. S. 1962. Experiências de adubação do arroz com diversos fertilizantes fosfatados e potássicos. *Bragantia* 21(50):858–866.
- Oliveira, D. de A., Montojos, J. C. & Igue T. 1965. Adubação do arroz de sequeiro. II. Cultivar 'Pratão'. *Bragantia* 24(33):437–446.
- Oliveira, D. de A., Montojos, J. C. & Igue, T. 1964. Adubação do arroz de sequeiro. I. Avaliação de influência de nitrogênio, fósforo e potássio sobre características de variedade precoce de arroz de sequeiro. *Bragantia* 23(8):73–81.

- Oliveira, D. de A., Montojos, J. C., Igue, T. *et al.* 1966. Ensaios preliminares de adubação do arroz de sequeiro. III. Cultivar 'Dourado Precoce'. *Bragantia* 25(1):1-8.
- Patrick, W. H., Jr. and Mahapatra, I. C. 1968. Transformation and availability of rice, of nitrogen and phosphorus in waterlogged soils. *Advan. Agron.* 20:323-359.
- Vasconcelos, D. & Almeida, L. M. de. 1966. Adubação química do arroz do nordeste. *Pesq. Agropec. Bras.* 1:353-356.

### Trigo

- Blanco, G., Venturini, W., Gargantini, H. 1965. Comportamento de fertilizantes fosfatados, em diferentes condições de acidez do solo, para trigo, com estudo do efeito residual para a soja. *Bragantia* 24(22):261-279.
- Blanco, H., Venturini, W., Gargantini, H. 1965. Adubação mineral para o trigo no sul do Estado de São Paulo. *Bragantia* 24(36):481-505.
- Blanco, G., Igue, K., Gargantini, H. *et al.* 1962. Competição de fertilizantes fosfatados para o trigo. *Bragantia* 21(51):867-874.
- Bray, R. H. 1958. The correlation of a phosphorus soil test with the response of wheat through a modified Mitscherlich equation. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.* 22:314-317.
- Igue, K. 1962. Estudo de fertilidade em solos da série Pinhão. *Bragantia* 21(2):743-753.
- Jorge, J. A., Gargantini, H., Igue, T. and Nery, J., *et al.* 1965. Efeito da adubação NPK na produção e no teor de proteína do trigo no sul do Estado de São Paulo. *Bragantia* 25(35):475-480.
- Peña Herrera, J. 1961. Study of soils of the wheat zones of Ecuador and their fertility. *An. Univ. Centr. Ecuador* 90(345):221-238,
- Vega, J., Víctor, M., Baird, G. B. *et al.* 1959. Algunos aspectos de la fertilización del trigo en suelos de la Sabana de Bogotá y alrededores. *D.I.A. Boletín Técnico* 4.

### Tubérculos y Raíces

- Boock, O. J. and Freire, E. S. 1960. Adubação da batatinha. Experiências com adubos minerais e farelo de cacau. *Bragantia* 19(49):785-798.
- Boock, O. J. & Freire, E. S. 1961. Adubação da batatinha. Experiências em solos de baixa fertilidade. *Bragantia* 20(32):759-776. (2a. parte).

- Boock, O. J. & Freire, E. S. 1960. Adubação da batatinha. Experiências com alguns fosfatos. *Bragantia* 19(39):627–637.
- Boock, O. J. & Freire, E. S. 1961. Adubação do batatinha com varios fosfatos. *Bragantia* 20(10):49–52.
- Boock, O. J., Kupper, A. & Freire, E. S. 1961. Nota 18. LXXXV. Adubação da batatinha. Experiência com calcário, sulfato de magnésio e NPK. *Bragantia* 20(18):85–88.
- Boock, O. J., Paiva Netto, S. E. de & Freire, E. S. 1962. Adubação da batatinha em solo rico de matéria orgânica. *Bragantia* 21(2):13.
- Breda, J., Freire, E., & Abramides, E. 1966. Adubação da batata–doce. Efeito de nitrogênio, fósforo e potássio em terrenos de cerrado. *Bragantia* 25(22):241–251.
- Breda, J., Freire, E. S. & Abramides, E., 1966. Adubação de batata–doce com diferentes doses de nitrogênio, fósforo e potássio. *Bragantia* 25:291–296.
- Camargo, A. & Freire, E. S. 1962. Adubação de batata–doce em São Paulo. IV. Experiências comparando formas de NPK. *Bragantia* 29(49):849–855.
- Camargo, A. & Freire, E. S. 1962. Adubação da batata–doce em São Paulo. III. Metodos de aplicação de NPK e estérco. *Bragantia* 21(36):640–652.
- Freire, E. S. & Boock, O. J. 1960. Adubação da batatinha. Experiências com doses crescentes de fósforo. *Bragantia* 19(25):369–391.
- Freire, E. S., Venturini, W. R. & Camargo, A. Paez de. 1962. Efeito da calagem e de diversas adubações na batata–doce e no cará, em solos de baixa fertilidade derivados do Arenito Botucatu. *Bragantia* 21(11):143–161.
- Gargantini, H., Blanco, H., & Gallo, R. 1963. Absorção de nutrientes pela batatinha. *Bragantia* 22(22):267–290.
- Gargantini, H., Nobrega, S., & Freire, E. S. 1965. Adubação mineral da batatinha. *Bragantia* 24(3):29–40.
- Gómez, A. G. & Freire, E. S. 1962. Adubação da batatinha no vale do Paraiba. Experiências com doses crescentes de NPK. 21(10):123–141.
- Krochmal, A. and Samuels, G. 1961. The influence of NPK levels on growth and tuber development of cassava in tanks. *Proc. Int. Symp. Trop. Root. Crops (Trinidad)* 1(2):97–102.
- McCullum, R. E. and Valverde, C. 1968. The fertilization of potatoes in Peru. *North Carolina Agr. Exp. Sta. Tech. Bull. No. 185.*
- Molinary, E. and Juliá, F. 1939. Fertilizer experiments with cassava. *Puerto Rico Agr. Exp. Sta. Ann. Report 1938–39* p. 89.

- Nobrega, S. A., Gargantini, H., Writke, A., Venturi, W. & Santos, C. 1964. Adubação mineral da batatinha. I. Região da alta sorocabana. *Bragantia* 23(9):83–93.
- Normanha, E. S., Pereira, A. S. & Freire, E. S. 1968. Modo e época de aplicação de adubos minerais em cultura do mandioca. *Bragantia* 27(12):143–154.
- Orioli, G. A., Mogilner, I., Bartra, W. L., *et al.* 1967. Acumulación de materia seca, NPK y Ca en *Manihot esculenta*. *Bonplandia*. 2:175–182.
- Rodríguez, M. J., Baird, B. y Correa V., J. 1960. Fertilización de la papa en Antioquia. D.I.A. Boletín Técnico 4.
- Silva, J. R. de, & Freire, E. S. 1968. Efeito de doses crescentes de nitrogênio, fósforo e potássio sobre a produção de mandioca em solos de baixa e alta fertilidade. *Bragantia* 27(2):357–364.
- Valverde, C., Quevedo, F. and McCollum, R. 1966. Response of potatoes to N, P, and K in soils of the Peruvian Sierra. In: 1º Congreso Panamericano de Conservación de Solos, 491–502.

#### Frijoles

- Fassbender, H. W. 1967. La fertilización del frijol (*Phaseolus* sp.). Turrialba 17(1):46–52.
- Martini, J. A. y Pinchinat, A. M. 1967. Ensayos de abonamiento del frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) en el invernadero con tres suelos de áreas frijoleras de Costa Rica. Turrialba 17(4): 411–418.
- Mascarenhas, H. A. A., Almeida, A., Miyasaka, L. D. *et al.* 1969. Adubação mineral do feijoeiro. XII. Efeitos da calagem, do nitrogênio e do fósforo em solo Latosolo Vermelho Amarelo do vale do Ribeira. *Bragantia* 28(7):71–83.
- Mascarenhas, H. A. A., Miyasaka, S., Igue, T. *et al.* 1967. Adubação mineral do feijoeiro. XI. Efeitos de N, P, K e da calagem, em campos cerrados do planalto Paulista. *Bragantia* 26:303–316.
- Miyasaka, S., Freire, E., Alves, S., & Rocha, T. 1966. Adubação mineral do feijoeiro. III. Efeitos de N, P, K da calagem e de uma mistura de enxofre e micronutrientes em solo Massapé–Salmourão. *Bragantia* 25(15):179–188.
- Miyasaka, S., Freire, E. S. & Mascarenhas, H. A. A. 1966. Adubação mineral. XII. Efeitos de N, P, K, S da calagem de uma mistura de micronutrientes no sul do Planalto Paulista. *Bragantia* 25:385–392.
- Miyasaka, S., Freire, E. S., Mascarenhas, H. A. A. *et al.* 1965. Adubação verde calagem e adubação mineral do feijoeiro em solo com vegetação de cerrado. *Bragantia* 24(26):321–338.

- Miyasaka, S., Freire, E. S., Mascarenhas, H. A. A. *et al.* 1967. Adubação mineral do feijoeiro. *Bragantia* 26(21):287–303.
- Miyasaka, S., Freire, E. S., Mascarenhas, H. A. A. *et al.* 1967. Adubação mineral do feijoeiro. X: Efeitos de N, P, K, S e de uma mistura de micronutrientes, em Terra-Roxa-Legítima e Terra-Roxa-Misturada. *Bragantia* 26:287–302.
- Miyasaka, S., Igue, T., Schmidt, N., & Leite, N. 1966. Adubação mineral do feijoeiro. V. Efeitos de N, P, K, S e de uma mistura de micronutrientes, em dois solos do vale do Paraíba. *Bragantia* 25(28):307–316.
- Miyasaka, S., Igue, T. & Campana, M. 1966. Adubação mineral do feijoeiro. II. Efeitos de N, P, K, da calagem e de uma mistura de enxofre e micronutrientes, em Terra-Roxa-Misturada. *Bragantia* 25(13):145–159.
- Miyasaka, S., Igue, K. & Freire, E. S. 1965. Adubação do feijoeiro em solos derivados do Arenito Bauru. *Bragantia* 24(20):231–245.
- Miyasaka, S., Mascarenhas, H. A. A. & Freire, E. S. 1966. Adubação mineral do feijoeiro. VI. Efeitos de N, P, K, S e de uma mistura de micronutrientes, em solo Massapé-Salmourão. *Bragantia* 25:371–384.
- Miyasaka, S., Mascarenhas, H. A. A., Freire, E. S. *et al.* 1967. Adubação mineral do feijoeiro. *Bragantia* 26(12):161–180.
- Miyasaka, S., Pettinelli, A., Freire, E. S. *et al.* 1966. Adubação mineral do feijoeiro. IV. Efeitos de NPK, da calagem e de uma mistura de enxofre e micronutrientes em Tietê e Tatuí. *Bragantia* 25(27):297–305.

#### Soya

- Freitas de, L. M. M., McClung, A. C. and Lott, W. L. 1960. Field studies on fertility problems of two Brazilian Campo Cerrado soils 1958–1959. IBEC Research Institute, No. 21.
- Mascarenhas, H. A. A., Miyasaka, S., Freire, E. S. *et al.* 1967. Adubação da soja. VI. Efeitos do enxofre e de varios micronutrientes em solo Latosol Roxo com vegetação Cerrado. *Bragantia* 26(29):373–379.
- Mascarenhas, H. A. A., Miyasaka, S., Igue, T. *et al.* 1968. Adubação da soja. VII. Efeitos de doses crescentes de calcário, fósforo e potássio em solo Latossolo Roxo, vegetação de Cerrado recém desbravado. *Bragantia* 27:279–289.
- Mascarenhas, H. A. A., Miyasaka, S., Igue, T. *et al.* 1969. Respostas da soja à calagem e a adubações minerais com fósforo e potássio em solo Latosol Roxo. *Bragantia* 28:Nota 4 XVII.
- Miyasaka, S., Alencar, C. and Freire, E. S. 1966. Resposta da soja à adubação com N, P, K, S e micronutrientes em solo pobre de Itararé, no sul do Planalto, Paulista. *Bragantia* 25:Nota 7 XXIX.

- Miyasaka, S., Freire, E. S. & Mascarenhas, H. A. A. 1964. Ensaio de adubação da soja e do feijoeiro. *Bragantia* 23(5):45–54.
- Miyasaka, S., Mascarenhas, H. A. A. & Freire, E. S. 1964. Adubação da soja. III. Efeito de NPK, do enxofre e de micronutrientes em solo do arenito de Botucatu, com vegetação de cerrado. *Bragantia* 23(7):65–71.
- Miyasaka, S., Wutcke, A. C. P. & Venturini, W. R. 1962. Adubação da soja. II. Adubação mineral em Terra-Roxa-Misturada com argilito do glacial. *Bragantia* 21(34):617–630.
- Miyasaka, S., Silva, J. G. da & Gallo, J. R. 1960. Adubação da soja. I. Ensaio preliminares de adubação mineral em Terra-Roxa-Misturada. *Bragantia* 19(42):667–674.
- Pastos y Forrajes
- Ahmad, N., Tulloch-Reid, L. I. and Davis, C. E. 1969. Fertilizer studies in Pangola grass (*Digitaria decumbens* Stent.) in Trinidad. I. Description of the experiments and effect of nitrogen. *Tropical Agriculture* 46(3):173–178.
- Ahmad, N., Tulloch-Reid, L. I. and Davis, C. E. 1969. Fertilizer studies on Pangola grass in Trinidad. II. Effect of phosphorus, potassium, and magnesium. *Tropical Agriculture* 46(3):179–186.
- Andreas, F., Veiga, J. S. M., Mendonça, C. X. *et al.* 1966. Levantamento de elementos minerais em plantas produzidas em uma área limitada do Estado de São Paulo, Brazil. I. Cálcio, fósforo e magnésio. *Rev. Fac. Med. Vet. Un. de S. P.* 7(3):583–604.
- Blue, W. G. 1969. Fertilizer response with Pangola grass on Puletan loamy fine sand, British Honduras, as indicated by pot experiments. *Tropical Agriculture* 46(1):25–29.
- Caro-Costas, R. and Vicente-Chandler, J. 1963. Effect of liming and fertilization on productivity and species balance of a tropical Kudzu Molasses grass pasture under grazing management. *The J. Agr. Un. of Puerto Rico* 47(4):236–241.
- Fassbender, H. W. y Muller, L. 1967. Uso de enmiendas silicatadas en suelos altamente fijadores de fosfatos. I. Efecto de aplicaciones de metasilicatos de sodio. *Turrialba* 17(4):371–375.
- Figarella, J., Vicente-Chandler, J., Silva, S. *et al.* 1964. Effects of phosphorus fertilization on productivity of intensively managed grasses under humid tropical conditions in Puerto Rico. *J. Agric. Univ. Puerto Rico* 48(3):236–241.
- Goic, L. 1968. Different levels of phosphorus and nitrogen in the establishment of a grass-legume mixed pasture in 5 soils series of the Osorno Zone. *Agr. Tec. Chile* 28(1):38–41.
- Goic, L. 1968. Fertilizers for establishing pastures in five soils series of the Province of Osorno, Chile. *Agr. Tec. Chile* 28(1):16–22.

- Gomide, J. A., Noller, C. H., Mott, G. O. *et al.* 1969. Mineral composition of six tropical grasses as influenced by plant age and nitrogen fertilization. *Agronomy J.* 61(1):120–123.
- Guerrero, R., Fassbender, H. W. y Blydenstein, J. 1970. Fertilización del Pasto Elefante (*Pennisetum purpurem*) en Turrialba, Costa Rica. II. Efecto de combinaciones nitrógeno–fósforo. *Turrialba* 20(1):59–63.
- Marín, G., H. Chaverra, L. V. Crowder, *et al.* 1960. Fertilización de la alfalfa en suelos de clima frío de Colombia. D.I.A. Boletín Técnico 7.
- McClung, A. C., De Freitas, L. M. M., Gallo, T. R. *et al.* 1957. Preliminary fertility studies on Campo Cerrados soils in Brazil. IBEC Research Institute Bulletin 13.
- McClung, A. C. and Quinn, L. R. 1959. Sulfur and phosphorus response of Batais grass (*Paspalum notatum*). IBEC Research Institute Bulletin 18.
- McCorkel, J. S. 1968. Ranching in Panama. *J. Range Management* 21(4):242–247.
- Neme, N. A. & Lovadini, L. A. C. 1967. Efeito de adubos fosfatados e calcário na produção de forragem de soja perene em 'Terra de Cerrado'. *Bragantia* 26:365–371.
- Quinn, L. R., Mott, G. O. and Bisschoff, W. V. A. 1961. Fertilization of Colonial Guinea grass pasture and beef production with Zebu steers. IBEC Research Institute, Bulletin 24.
- Quinn, L. R., Mott, G. O., Bisschoff, W. V. A. *et al.* 1962. Beef production of 6 tropical grasses. IBEC Research Institute. Bulletin 28.
- Sutmoller, P., Abreu, A. V. de, Grift, J. V. D. *et al.* 1966. Mineral imbalances in cattle in the Amazon Valley. *Roy Trop. Inst. Dept. Agr. Res. Commun.* 53:xviii–85.
- Vicente–Chandler, J., Silva, S. and Figarella, J. 1960. Effects of nitrogen fertilization and frequency of cutting on the yield and composition of Para grass in Puerto Rico. *J. Agric. Univ. Puerto Rico* 43:240–248.
- Vicente–Chandler, J., Silva, S. and Figarella, J. 1960. Effects of nitrogen fertilization and frequency of cutting on the yield and composition of Guinea grass in Puerto Rico. *J. Agric. Univ. Puerto Rico* 43:228–239.
- Vicente–Chandler, J., Silva, S. and Figarella, J. 1960. Effects of nitrogen fertilization and frequency of cutting on the yield and composition of Napier grass in Puerto Rico. *J. Agric. Univ. Puerto Rico* 43:215–227.
- Werner, J. C., Quagliato, J. L. and Martinelli, D. 1967. Ensaio de fertilização de colônia com solo da Noroeste. *Bol. Ind. Anim.* 24:159–167.
- Werner, J. C. Sartini, H. J., Pedreira, J. V. S. *et al.* 1967. Efeito da calagem no aproveitamento do fosforita de Olinda e do superfosfato simples em capim Pangola. *Bol. Ind. Anim.* 24:169–173.

**Algodón**

- Cavaleri, P. A., Fuzatto, M. G. & Freire, E. S. 1963. Adubação do algodoeiro. XIV. Experiências com mucuna e adubos minerais. *Bragantia* 22(26):331–350.
- Correa, D. M., Pettinelli, A., Venturini, W. R. *et al.* 1961. Adubação do algodoeiro. XI. Ensaio com calcário, adubação verde e adubação mineral. *Bragantia* 20(22):617–633.
- Freire, E. S., Aguiar, H. de C., Correa, M. *et al.* 1960. Adubação do algodoeiro. VIII. Ensaio com diversos adubos fosfatados. *Bragantia* 19(4):33–56.
- Fuzatto, M. G. & Cavaleri, P. A. 1966. Correlação entre a resposta do algodoeiro a adubação fosfatada e análise química do solo nas condições do Estado de São Paulo. *Bragantia* 25:407–420.
- McClung, A. C., Freitas, L. M. M. de, Mikkelsen, D. S. *et al.* Cotton fertilization on Campo Cerrado soils, State of São Paulo, Brazil. IBEC Research Institute Bulletin 27.
- Menezes Ferraz, C. A., Fuzatto, M. G. & Machado da Silva, W. 1969. Efeito da fosforita de Olinda e do superfosfato simples sobre a produção do algodoeiro em diferentes solos do Estado de São Paulo. *Bragantia* 28(14):181–193.
- Mikkelsen, D. S., Freitas, L. M. M. de & McClung, A. C. 1963. Effects of liming and fertilizing cotton, corn and soybeans on Campo Cerrado soil, State of São Paulo, Brazil. IRI Research Institute Bulletin 29.
- Neves, O. S., Fuzatto, M. G. & Freire, E. S. 1962. Adubação do algodoeiro. XIII. Efeito residual do fósforo em solo Massapé–Salmourão. *Bragantia* 21(48):841–848.
- Ramos, I., Schmidt, W., Cavaleri, P. A. *et al.* 1960. Adubação do algodoeiro. IX. Ensaio com diversos adubos fosfatados. *Bragantia* 19(9):101–127.
- Sarrage, J. R., Gómez, L., Haag, H. P. *et al.* 1963. Estudo sobre a alimentação mineral do algodoeiro. I. Marcha da absorção dos macronutrientes (Nota prévia). *An. Esc. Sup. "L. de Queiroz"*. 20:13–23.
- Schmidt, W., Fuzatto, M. C. & Freire, E. S. 1962. Adubação do algodoeiro. XII. Quatro experiências com N, P e K em 'Terra-Roxa' *Bragantia* 21(47):827–840.
- Verdade, F., Wutke, A. C. P., Amaral, A. M. do. *et al.* 1965. Níveis de fertilidade dos solos do Estado de São Paulo para a cultura algodoeira: I. Os teores de fósforo, nitrogênio e potássio. *Bragantia* 24:55–74.
- Viegas, G. P., Neves, O. S. & Freire, E. S. 1960. Sobre o efeito de dois fosfatos naturais. *Bragantia* 19(23):113–118.
- Viegas, G. P., Smith, E. & Freire, E. S. 1961. Adubação do milho. XVII. Ensaio com diversos fosfatos. *Bragantia* 20(1):L 1–13.

## Caña de Azúcar

- Abreuña-Rodriguez, F., Fiarez, S., Pérez, E. R. *et al.* 1968. Effect of soil acidity and liming on yields and composition of sugar cane growing on an Ultisol. *J. Agric. Univ. Puerto Rico* 52(2):85–100.
- Alvarez, R. & Camargo Pacheco, J. A. 1963. Adubação da cana de açúcar. XII. Ensaio preliminar de adubação NKP no Arenito de Bauru. *Bragantia* 22(17):194–200.
- Alvarez, R., Gargantini, H. & Arruda, H. V. 1960. Adubação da cana de açúcar. V. Ensaio preliminar de adubação NPK no solo Latosol Roxo. *Bragantia* 19(24):361–368.
- Alvarez, R., Miranda, C. A. B. de, & Oliveira, H. de. 1963. Fertilizantes fosfatados na cultura da cana de açúcar em terras de baixada do litoral. *Bragantia* 22(8):31–33.
- Alvarez, R., Ometto, J. C., Ometto, J., Wutke, A., Arruda, H., & Freire, E. 1965. Adubação da cana de açúcar. *Bragantia* 24(9):97–107.
- Alvarez, R. & Pimentel W., A. C. 1963. Adubação da cana de açúcar. IX. Experimentos preliminares com micronutrientes. *Bragantia* 22(51):647–650.
- Alvarez, R., Pimentel W., A. C. & Segalla, A. 1963. Adubação da cana de açúcar. VIII. Adubação mineral em solos Massapé-Salmourão. *Bragantia* 22(53):657–675.
- Alvarez, R., Segalla, A. L. & Arruda, H. V. 1963. Fertilizantes fosfatados na cultura da cana de açúcar em Terra-roxa-misturada. *Bragantia* 22(1):1–3.
- Arruda, H. V. 1960. Adubação nitrogenada na cana de açúcar. *Bragantia* 19(66):1105–1110.
- Baver, L. D. and Ayers, A. S. 1962. Soil analyses as bases for fertilizer recommendations in sugar cane. *Trans. Joint Meeting Comm. IV and V Inter. Soc. Soil Sci. New Zealand* 835–841.
- Capo, P. G. 1967. Additional evidence on the applicability of the new fertilized-yield relation. *J. Agric. Univ. Puerto Rico* 51(2):97–120.
- Fassbender, H. W. and Molina, R. 1969. The influence of silicates and liming of phosphate fertilization on volcanic ash soils in Costa Rica. *Proc. of Panel on Volcanic Ash Soils of Latin America C.2.1. – C.2.12, Turrialba.*
- Fox, R. L. 1969. Fertilization of volcanic ash soils in Hawaii. *Proc. of Panel on Volcanic Ash Soils of Latin America C.6.1. – C.6.13, Turrialba.*
- Freire, E. S., Alvarez, R. & Wutke, A. C. P. 1968. Adubação da cana de açúcar. XIII. Estudo conjunto de experiências com diversos fosfatos realizadas entre 1950 e 1963. *Bragantia* 27(2):421–436.

- Gallo, J. R., Hiroce, R. & Alvarez, R. 1968. Levantamento do estado nutricional de canaviais de São Paulo pela análise foliar. *Bragantia* 27(2):365–382.
- González-Velez, F. and Samuels, G. 1962. Response of sugar cane to fertilizers on an organic soil. *J. Agric. Univ. Puerto Rico* 46(4):284–296.
- Monteith, N. H. 1966. Use of soil phosphorus and potassium analyses for fertilizer advice on sugar cane lands in Fiji. *Tropical Agriculture* 43(1):75–82.
- Schroo, H. 1954. The use of pot tests in research on the fertility of sugar cane soils. *Tropical Agriculture* 31(1):71–78.
- Schroo, H. 1954. The use of pot tests in research on the fertility of sugar cane soils. *Tropical Agriculture* 31(3):242–250.
- Schroo, H. 1954. The use of pot tests in research on the fertility of sugar cane soils. *Tropical Agriculture* 31(4):327–341.
- Vélez, W., Bernardo, E. and Jaime, L. C. 1969. Fertilización de la caña de azúcar para producción de azúcar prieta en el área de Frontino, Antioquia. *Rev. Inst. Colombiano Agropecuario* 4(1):27–44.

#### Banano

- Bhangoo, M. S., Altman, F. G. and Karon, M. L. 1962. Effect of nitrogen, phosphorus and potassium on fruit yield in relation to nutrient content of soil and leaf tissue in Honduras. *Tropical Agriculture* 39(3):189–201.
- Bhangoo, M. S. and Karon, M. L. 1962. Effect of minor elements and dolomitic lime on fruit yield. *Tropical Agriculture* 39(3):203–210.
- Butler, A. F. 1960. Fertilizer experiments with the Gros Michel banana. *Tropical Agriculture* 37(1):31–50.
- Colmet-Daage, F. 1962. Preliminary studies of the soils of Ecuador banana regions. *Fruits (Paris)* 17(1):3–21.
- Osborne, R. E. and Hewitt, C. W. 1963. The effect of frequency of application of nitrogen, phosphate and potash fertilizers on Lacatan bananas in Jamaica. *Tropical Agriculture* 40(1):1–8.

#### Cítricos

- Comerma, J. A. 1968. Correlation between soils in Venezuela. *Agron. Trop. (Venezuela)* 18(2):275–282.
- Puiggros, J., Franciosi, R. and Morin, C. 1969. Nutritional study of Washington Navel oranges in the Central Coast of Peru. *Proc. Inter. Citrus Symp.* 1st 1968, 3:1613–1617.

## Café

- Abruña, F. and Vicente-Chandler, J. 1963. Effects of six sources of N on yields, soil acidity, and leaf composition of coffee. *J. Agric. Univ. Puerto Rico* 47(1):41-46.
- Abruña, F., Vicente-Chandler, J., Becerra, L. A. *et al.* 1965. Effects of timing and fertilization on yields and foliar composition of high yielding sun-grown coffee in Puerto Rico. *J. Agric. Univ. Puerto Rico* 49(4):413-428.
- Carvajal, J. F., Acevedo, A. and López, C. A. 1969. Nutrient uptake by the coffee tree during a yearly cycle. *Turrialba* 19(1):13-20.
- Gallo, J., Heroce, R., Coelho, A. S., Jr. *et al.* 1967. Levantamento do estado nutricional de cafézais de São Paulo pela análise foliar. I. Solo Massapé-Salmourão. *Bragantia* 26(7):103-117.
- Lott, W. L., McClung, A. C., Reue de Vita *et al.* 1961. A survey of coffee fields in São Paulo and Paraná by foliar analyses. *IBEC Research Institute Bulletin* 26.
- Rodríguez, S. J., Bosque, R., Pérez, R. *et al.* 1964. Yield response of the Puerto Rico and Columbaris coffee cultivars in two Latosols of Puerto Rico, as affected by different levels of nitrogen, phosphorus, potassium and lime. *J. Agric. Univ. Puerto Rico* 48(3):255-262.
- Sarrauge, J. R., Amorim, H. V. de & Malavolta, E. 1966. Estudos sobre a alimentação mineral de cafeeiro. XVIII. Nota sobre a absorção foliar e radicular de fósforo por plantas jovens de *Coffea arabica* L., var. Mundo Novo. *An. Esc. Sup. Agric. "Luiz de Queiroz"* 23:81-84.

## CAPITULO 8

### POTASIO

*F. R. Cox*

Profesor Asociado de Suelos,  
Universidad Estatal de Carolina del Norte

El estatus del potasio en los suelos y plantas de América Latina varía considerablemente. Esto es de esperar por las extremas diferencias en el material originario, grado de intemperización, y la diversidad de los cultivos. Estos y otros factores deben ser aislados a fin de discutir la materia de una manera realista. En el estudio que sigue, se ha tratado de resaltar los esfuerzos pertinentes de investigaciones realizadas sobre el potasio y los problemas encontrados en la determinación de su necesidad.

#### 8.1 POTASIO DEL SUELO

El K total ordinariamente no se correlaciona con la absorción por la planta y por lo tanto es primordialmente sólo de interés académico. Varía grandemente según la intemperización. En el sur del Brasil, Oliveira *et al* (1971) encontraron que el K total varía de 1780 a 14200 ppm en suelos Alfisoles, Inceptisoles, Mollisoles, Ultisoles y Oxisoles. En Panamá, Martini (1966) encontró de 1000 a 2000 ppm en suelos Lateríticos Rojos y de sabana; de 3000 a 4300 ppm en suelos aluviales, y de 8000 a 9000 ppm en suelos volcánicos.

Los suelos derivados de ceniza volcánica pueden variar en el K total según la naturaleza del material eruptado y el grado de intemperización. Caicedo (1971) encontró un promedio de 6000 ppm en suelos volcánicos de Colombia, pero también notó que el K es fácilmente lixiviado de estos suelos. Graham y Fox (1971) también encontraron que el potasio movable se relaciona con el grado de intemperización. En Hawaii donde la precipitación varía de 175 a 4500 mm por año, el potasio movable varía de 4,71 a 0,09 meq/100 g.

La inclusión de por lo menos una parte de este reservorio lábil puede ser beneficiosa en la interpretación de análisis de suelos. En trabajos

recientes con papas en el Perú, McCollum y Valverde (1968) obtuvieron respuestas a potasio en alrededor de la mitad de sus experimentos, pero no encontraron relación alguna entre el K extractable con acetato de sodio (pH 4,8) y el grado de respuesta.

A menudo se usa un ácido fuerte para estimar este reservorio. En un estudio de macetas realizado en el Brasil, el K extractable con  $\text{HNO}_3$  se correlacionó mejor con la absorción total por ryegrass que el K intercambiable (Oliveira *et al*, 1971). El mismo tipo de estudio realizado en Colombia (Monales *et al*, 1967) rindió resultados similares. Sin embargo, éstos no están de acuerdo con las conclusiones de Crisóstomo y Castro (1970).

La capacidad de suministrar potasio también puede determinarse por estudios de lixiviación. Usando algunas de estas técnicas, Martini (1966) encontró que el poder suministrador de K en suelos de Panamá se relacionaba mejor con K intercambiable que con K extractable con  $\text{HNO}_3$  o el K total. Así, la importancia relativa de K lábil parece depender del tipo de estudio realizado. Desgraciadamente, se han realizado muy pocos estudios de campo para clarificar esta situación.

Puede haber un efecto climático en el status de K en el suelo. Hardy y Bazán (1966) encontraron que el status nutricional del suelo difiere a diferentes épocas del año. En suelos volcánicos, esto puede relacionarse a su naturaleza porosa. Bornemisza (1960) encontró una cantidad excesiva de agua en suelo secado al aire derivado de material volcánico reciente. Observó la fijación de potasio durante el secado. Una capa protectora (mulch) también parece aumentar la disponibilidad de K (Bull, 1963).

Palencia y Martini (1970) analizaron el K intercambiable al estudiar 39 suelos derivados de ceniza volcánica en América Central. Los suelos tuvieron un promedio de 1,8 meq K/100 g con una desviación standard de 1,2. Así, el 66 por ciento de los suelos se encontraron en el rango de 0,6 a 3,0 meq K/100 g, y el 15 por ciento tenían tenores menores de 0,6 meq/100 g. En contraste con esto, una computación de los datos de Crisóstomo y Castro (1970) de 20 suelos brasileños dieron un rango de 0,1 a 0,4 meq K/100 g.

Palencia y Martini también observaron algunas relaciones entre los efectos de clima y el nivel de K en el suelo. El K intercambiable aumentó con un aumento en la temperatura anual promedio y bajó con un aumento de elevación. La temperatura y elevación, naturalmente,

están altamente relacionadas. También notaron que el nivel de K intercambiable bajó con precipitación mayor y aumentó a medida que aumentaron el número de meses secos. Pueden compararse algunas áreas donde tanto la precipitación anual así como la duración de la estación seca son mayores en un sitio comparado con otro. Así, parecería más lógico el evaluar los efectos climáticos que considerar la temperatura promedio y la precipitación por mes durante la época de lluvias.

## 8.2 RESPUESTAS A LA FERTILIZACION

Se consideraron pertinentes algunos aspectos del potasio de plantas en este estudio. El contenido de K en tejidos, cualquier nivel crítico observado, y la respuesta en general a fertilización potásica son de primordial interés. Debido a la gran variedad de cultivos, muchos se combinaron en cada una de las ocho clasificaciones que se encuentran en los siguientes párrafos.

### Cereales

La respuesta del maíz al K ha sido estudiada en Jalisco, México (Laird y Lizárraga, 1959) y en Veracruz (Laird *et al.*, 1963). Se encontraron respuestas en sólo el 5 por ciento de los experimentos pero en suelos generalmente altos en K intercambiable. Se han notado respuestas más frecuentes en el Brasil. De informes de varias fuentes, puede deducirse que las respuestas ocurrieron en una tercera parte de los experimentos. Gallo *et al.* (1965) dieron un nivel crítico de K en tejidos de maíz. Usando un tercio de la lámina de la cuarta hoja sin la vena central, el nivel crítico fue del 2,1 por ciento. En trabajos posteriores (Gallo *et al.* 1968), estos investigadores encontraron una fuerte asociación entre el contenido de K y el tipo de suelo. El nivel crítico aún parecía relacionarse al tipo de suelo, siendo del 1,7 por ciento en Terra Roxa y del 2,8 por ciento en suelos podzolizados de grava.

Hay poca información disponible sobre la fertilización de trigo con K. No se encontraron respuestas en suelos de las sierras interandinas del Ecuador, pero éstos tenían un alto contenido de K. En el Brasil, Blanco *et al.* (1967) encontraron que el trigo respondía a fertilización con K si el nivel de análisis del suelo era menor de 0,1 meq/100 g. Las respuestas se notaron en niveles más altos de K en el suelo por Jorge *et al.* pero sólo a dosis altas de fertilización con fósforo.

Varios estudios se han realizado con arroz en el Brasil y en el Perú. En la mayoría de éstos, había muy poca o ninguna respuesta al potasio.

### Raíces y Tubérculos

La respuesta de papas al potasio ha sido estudiada en el Perú, Colombia y Brasil. Aunque se obtuvieron respuestas en alrededor de la mitad de los experimentos, parece existir poca asociación con el nivel de K disponible en el suelo. Book y Freire (1960) observaron respuestas en suelos que variaban de 0,2 a 1,4 meq/100 g. En comparación datos de suelos arenosos de Wisconsin han mostrado respuestas únicamente cuando el K del suelo era menor de 0,25 meq/100 g. Aumentos en el rendimiento de papas en suelos altos en K también se han encontrado en Colombia (Rodríguez *et al*, 1960). McCollum y Valverde (1968) encontraron respuestas al K en el Perú pero no pudieron relacionarlos a los niveles de K en los suelos. La frecuencia de respuestas al K indican la necesidad de mayor investigación sobre la calibración de análisis de suelos para K. Es posible que otro extractante pueda ayudar, o pueda ser que la cantidad de K en relación a otros iones debe considerarse.

Aunque la yuca es un cultivo alimenticio importante en gran parte de la América Latina, hay pocos informes sobre experimentos con potasio. Se ha encontrado que la ubicación es crítica y KCl aplicado en surcos disminuye el grado de establecimiento de las plantas (Ribeiro de Selva y Freire, 1968a). Estos mismos autores (1968b) han encontrado muy buena respuesta a K en niveles de análisis de suelos del 0,10 a 0,12 meq/100 g pero no a 0,22 meq/100 g. Todos estos experimentos se realizaron en suelos bastante arenosos.

### Frijoles y Soya

Los frijoles son un elemento importante de la dieta en la mayor parte de la América Latina. Por lo tanto, se han realizado bastantes estudios de fertilizantes con este cultivo. Respuestas al K, sin embargo, no se han notado a menudo. De los diversos estudios realizados por Miyasaka en el Brasil, sólo el 10 por ciento ha respondido a K. De acuerdo a sugerencias generales sobre fertilizantes, resultados similares se han notado en otras áreas. Fassbender (1967) estudió la fertilización de frijoles e informó que más de la mitad de las recomendaciones de abonamiento de la América Latina no incluyen aplicaciones de potasio.

Respuestas con soya han sido similares a las de frijoles. La higuierilla, sin embargo, puede reaccionar de manera diferente. Canecchio, Rocha y Freire (1963) observaron respuestas en tres de cinco experimentos que llevaron a cabo con este cultivo en el Brasil.

### Pastos y Forrajes

La respuesta de la alfalfa a K ha sido estudiada en México (Alvarade, 1967), Brasil (McClung *et al*, 1957), y Colombia (Marín *et al*, 1960). En ninguno de los casos hubo respuesta. Se notó en el estudio de Colombia que el suelo era relativamente alto en K.

La mayoría de los informes sobre pastos tratan de su composición elemental, aunque no dan los niveles críticos de los tejidos. Los datos sobre respuestas son incompletos. Caro Costas y Vicente—Chandler (1963) encontraron que el K aplicado aumentó los rendimientos de pasto gordura (*Melinis minutiflora*) en Puerto Rico. Ahmad *et al* (1969) no encontraron ningún efecto de aplicaciones de K hasta 130 kg/ha en pasto Pangola, pero los rendimientos llegaron al máximo cuando la dosis de K fue de 20 kg/ha.

### Fibras

Muchos estudios de fertilidad se han realizado en algodón en el Brasil. Verdade *et al*, (1965) encontraron respuestas al K en sólo 10 de 209 experimentos. El K disponible del suelo (0,05 N HNO<sub>3</sub>—extractable) fue entre 0,05 y 0,33 meq/100 g pero no se determinó ningún nivel crítico del suelo por el pequeño número de respuestas. Fuzatto y Ferrog (1967) encontraron suficientes respuestas para evaluar el K intercambiable. Sin embargo, encontraron que esta medida por sí sola, determinó solamente el 23 por ciento de la variación en la respuesta esperada. Pero cuando se incluye también la razón Ca/K, el 65 por ciento de la variación fue explicada. Parece que este tipo de interpretación tiene cierto mérito y debe investigarse más a fondo en otras áreas y quizás con otros cultivos.

Paiva Costro *et al* (1968) estudiaron el lino en una prueba de fertilización. Las tasas de potasio no afectaron el crecimiento ni el rendimiento de la fibra.

### Caña de Azúcar

La caña de azúcar frecuentemente responde a la fertilización con potasio. Existen varios informes de esta naturaleza provenientes del Brasil. Los niveles obtenidos de análisis de suelo son típicamente bastante bajos en esa área. Por ejemplo, Wutke *et al* (1960) realizaron un ensayo en un suelo de 0,05 meq K/100 g y Alvarez y Arruda (1960) realizaron otro en un suelo con 0,14 meq K/100 g. Ambos dieron grandes respuestas a la fertilización con potasio.

Los análisis foliares también mostraron niveles bajo de K en caña del Brasil. Gallo *et al* (1960) encontraron un promedio del 1,4 por ciento de K de hoja pero en muchos campos se encontraron contenidos bajo el nivel crítico de 1,00 a 1,25 por ciento de K. El potasio se consideró como el elemento más limitante en esa área.

También se han observado respuestas en Colombia (Velez y Jaime, 1969), Puerto Rico (González-Velez y Samuels, 1962) y Hawaii (Fox, 1969). En este último caso, se notó que el K se aplica frecuentemente en suelos de ceniza volcánica debido a la alta lixiviación en áreas de mucha precipitación.

### Frutas y Legumbres

Frecuentemente se han usado análisis foliares para medir el estado del K en cítricos. Por este medio, Puiggros *et al* (1969) encontraron niveles normales de K en naranjas Navel cultivadas en el Perú. Weir (1955) encontró que un análisis de hojas de naranjas Valencia en Trinidad era de valor muy limitado. En un estudio posterior (Wier, 1969), encontró respuestas tanto en términos de rendimiento como en cantidad a una dosis mediana de K.

La respuesta de papaya al K ha sido estudiada en el Brasil (Carvalho *et al* 1963), donde no se obtuvieron respuestas y en Hawaii (Awada y Long 1971) donde se encontraron respuestas positivas. En este último caso, la concentración crítica fue de 3,6 por ciento de K en el pecíolo recientemente madurado.

Los bananos han respondido a fertilización con K con bastante consistencia en Honduras (Bhangoo *et al*, 1962) y Brasil (Ferreira da Cunha y Fraga 1963). En Jamaica, una respuesta fuerte en bananos Lacatán fue observada por Osborne y Hewitt (1963), pero Butler (1960) no encontró ninguna respuesta con la variedad Gros Michel. No parece existir una razón clara que explique esta discrepancia.

### Otros Cultivos

Se han dado informes contradictorios respecto a cualquier efecto benéfico de fertilización con K en la producción del cacao, maní y cocos. Se han notado respuestas con café en Puerto Rico (Rodríguez *et al*, 1964; Abruña *et al*, 1965) y Brasil (Amorim *et al*, 1967), pero pocos informes existen relacionando los aumentos de rendimientos a niveles de K en el suelo. Los análisis de plantas han sido usados frecuentemente para determinar el estado de K en el café. Gallo *et al* (1967) y Lott *et al* (1961) encontraron que el K puede ser limitante en muchos cafetales del Brasil por esta técnica.

### 8.3 RESUMEN

Se han realizado menos investigaciones sobre potasio que sobre acidez, fósforo y nitrógeno. Sin embargo, se han mostrado muchas deficiencias y la cantidad puede aumentar a medida que se retiren otros factores limitantes.

Las respuestas a K se relacionan mucho a la sensibilidad del cultivo. La caña de azúcar y las papas han mostrado respuestas de rendimiento con K en más de la mitad de los casos. El maíz ha respondido aproximadamente en una tercera parte de los casos, mientras que el arroz y los frijoles casi nunca responden.

Todavía se necesita mucha investigación en el desarrollo de un análisis de suelos para K. La falta de correlación de respuestas de rendimiento y K disponible en los datos peruanos respecto a papas es un buen ejemplo de esto. Alguna de esta falta de correlación puede asociarse con el secado de la muestra. El efecto global puede ser similar a la fijación por illita en regiones templadas, pero el mecanismo en los suelos tropicales es desconocido. La naturaleza porosa del material derivado de ceniza volcánica puede estar involucrado. Períodos más largos de extracción pueden ser beneficiosos en estos casos.

Otro factor que pueda mejorar la eventual interpretación de pruebas de K en el suelo es la consideración de la capacidad de intercambio de cationes del suelo. El trabajo realizado con algodón en el Brasil por Fuzatto y Ferrog (1967) indica esto claramente. Ya que los suelos son diversos en la región tropical de América Latina, una consideración de esta naturaleza puede ser de gran ayuda.

## 8.4 BIBLIOGRAFIA

### Potasio del Suelo

- Ahmad, N. 1963. The potassium status of the inorganic coastal soils of British Guiana. *Tropical Agriculture* 40(3):197–203.
- Ahmad, N., Jones, R. L. and Beavers, A. H. 1968. Genesis, mineralogy, and related properties of West Indian soils: I. Montserrat series, derived from glauconitic sandstone, Central Trinidad, J. *Soil Sci.* 19(1):1–8.
- Ahmad, N., Jones, R. L. and Beavers, A. H. 1968. Genesis, mineralogy, and related properties of West Indian soils: II. Maracas series, formed from micaceous schist and phyllite, northern range, Trinidad, J. *Soil Sci.* 19(1):9–19.
- Ayers, A. S. and Hagihara, H. H. 1953. Effects of the anion on the sorption of potassium by some humic and hydrol humic Latosols. *Soil Sci.* 75:1–17.
- Blasco, M. 1969. Chemical properties of volcanic ash soils. Proc. of Panel on Volcanic Ash Soils of Latin America. B.8.1. – B.8.9. Turrialba, Costa Rica.
- Bohorquez, N. and Blasco, M. 1969. Transformaciones microbiológicas del potasio en dos suelos del Valle del Cauca. *Acta Agronómica* 19:1–5.
- Bornemisza, E. 1960. La solución extractora y la humedad en relación con el potasio intercambiable. Experiencias en un suelo aluvional de Costa Rica. *Turrialba* 10(1):35–39.
- Bull, R. A. 1963. Mulching and irrigation in coffee soils. *Turrialba* 13(1):22–27.
- Caicedo, A., Romo, R., Bastidas, O. *et al.* 1971. El potasio en los suelos volcánicos del Valle de Sidundoy, Putumayo, Colombia. *Turrialba* 21(2):176–180.
- Colmet-Daage, F. 1962. Etudes preliminaries des sols des regions bananieres d'Equateur. *Fruits* 17(1):3–21.
- Crisóstomo, L. A. and Castro, A. F. de. 1970. Poder de suprimento de potássio de solos da zona fisiográfica de Baturié, Ceará, Brazil. *Turrialba* 20(4):425–433.
- Fassbender, H. W. and Laroche, F. A. 1968. The nutritive potential of soils and the proportion of K, Ca, Mg in tomato plants. *Plant and Soil* 28(3):431–441.
- Graham, E. R. and Fox, R. L. 1971. Tropical soil potassium as related to labile pool and calcium exchange equilibriums. *Soil Sci.* 111(5):318–322.
- Hardy, F. and Bazan, R. 1966. The maize microplot method of soil testing. *Turrialba* 16(3):267–270.
- Kalckmann, R. E. and Frattini, C. T. A. 1967. Contribuição à interpretação das análises de potássio, em solos de Rio Grande do Sul. *Pesq. Agropec. Bras.* 2:263–267.

- Leith, H., Blume, H. P., Zinnecker, E. *et al.* 1970. Ecological investigations in the Mato Grosso. In: II Simposio de la Biología Tropical Amazónica pp. 437–491.
- Martini, J. A. 1966. Caracterización del estado del potasio en seis suelos de Panamá. *Fitotecnia Latinoamericana* 3(1–2):163–186.
- Marin, G., McClung, A. C. and Luequas V., A. 1967. La capacidad de varios suelos Colombianos para suministrar potasio. "Agricultura Tropical" 23(2):88–101.
- McCollum, R. E. and Valverde, C. 1968. The fertilization of potatoes in Peru. I. A summary and interpretation of data from field experiments completed from 1959 through 1964 in the Sierra. *Tech. Bull. 185. N. C. Agric. Exp. Sta., Raleigh and SIPA, Ministerio de Agricultura, Peru.*
- Oeslign, D. D. 1972. Potassium release characteristics of selected Peruvian soils. PhD. Thesis, Michigan State University. 147 pp.
- Oliveira, V., Ludwick, A. E. and Beatty, M. T. 1971. Potassium removed from some southern Brazilian soils by exhaustive cropping and chemical extraction methods. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.* 35:763–767.
- Palencia O., J. A. and Martini, J. A. 1970. Características morfológicas, físicas y químicas de algunos suelos derivados de cenizas volcánicas en Centro América. *Turrialba* 20(3):325–332.
- Pereira, A., Lima, G., *et al.* 1969. O *Aspergillus* spp. na avaliação da deficiência do potássio no solo. *Rev. Agr., Brasil.* 44(2–3):79–86.
- Ramírez, P., A. y Lotero, C., J. 1969. Efectos de la frecuencia y dosis de aplicación de nitrógeno en la fertilidad y propiedades químicas del suelo. *Rev. Inst. Colomb. Agropecuar.* 4(4):227–254.
- Romney, D. H. 1962. The fertility of the lowland soils of British Honduras. *Emp. Jour. Expt. Agric.* 30(118):95–107.
- Von Uexkuell, H. R. 1968. Potassium nutrition of tropical crops. *Role Potassium Agr., Proc. Symp.* pp. 385–421.
- Weir, C. C. 1966. Phosphorus and potassium status of some Trinidad soils. *Tropical Agriculture* 43(4):315–321.

## RESPUESTAS A LA FERTILIZACION

### Cereales

- Blanco, H. G., Venturini, W. R., Gargantini, H. *et al.* 1965. Adubação mineral para o trigo no sul do Estado de São Paulo. *Bragantia* 24:481–505.
- Cabala–Rosand, F. P., Pires do Prado, E. and Miranda, E. R. de. *et al.* 1967. Fertility levels of some alluvial soils of the cacao area of the state of Espírito Santo. *Men. Conf. Int. Pesqui. Cacau*, 2nd pp. 470–500.

- Cabala-Rosand, F. P., Pires do Prado, E., Miranda, E. R. de *et al.* 1967. Mineral deficiencies and effect of fertilization in the cacao region. Mem. Conf. Int. Pesqui, Cacau, 2nd pp. 436-442.
- Carmen, M. L. 1968. Yield of rice as affected by fertilizer rates, soil and meteorological factors. Ph.D. Thesis, Iowa State University, Ames, Iowa pp. 174.
- Morais Vasconcelos, D. & Almeida, L. M. de. 1968. Adubação química do arroz do nordeste. Pesq. Agropec. Bras. 1:353-356.
- Freitas, L. M. M. de, McClung, A. C. and Lott, W. L. 1960. Field studies on fertility problems of two Brazilian Campo Cerrados 1958-1959. IBEC Research Institute Bulletin 21.
- Galiano, S. F. 1968. Diagnóstico foliar en maíz, ensayo de campo con Diacol V-103. Rev. Inst. Invest. Tec. J2:14-24.
- Gallo, J. R., Hiroce, R. & Miranda, L. T. de. 1965. A análise foliar na nutrição do milho. II. Resultados de ensaios de adubação com NPKS e micronutrientes. Bragantia 24 Nota 14:71-77.
- Gallo, J. R., Hiroce, R. & Miranda, L. T. de. 1968. A análise foliar na nutrição do milho. I. Correlação entre análise de folhas e produção. Bragantia 27(15):177-186.
- Gómez, A. G., Viegas, G. P., and Freire, E. S. 1963. Adubação do milho no vale do Paraíba, experiências com N, P, K e Ca em solo da Série Tumirim. Bragantia 22(14):149-157.
- Jorge, J. A., Gargantini, H., Igue, T. *et al.* Efeito da adubação N, P, K na produção e no teor de proteína do trigo no sul de Estado de São Paulo. Bragantia 24(35):475-480.
- Laird, R. J. y Lizárraga, H. H. 1959. Fertilizantes y población óptima de plantas para maíz de temporal en Jalisco. Secretaría de Agri. y Ganadería Of. Estudios Especiales, México, Folleto Técnico 35.
- Laird, R. J., Puente, F. F., Sánchez, D. N. *et al.* 1963. Prácticas de fertilización y población óptima para siembras de maíz en las regiones tropicales de Veracruz. Secretaría de Agr. y Ganadería, INIA, México Folleto Técnico. 45.
- Miranda, H. S. & Freire, E. S. 1962. Experiências de adubação do arroz com diversos fertilizantes fosfatados e potássicos. Bragantia 21(50):857-866.
- Nelson, Ch. F. 1967, 1968. Ensayo sobre el cultivo del sorgo granífero en Barinas. Caracas, Consejo de Bienestar Rural (1967):5-65.
- Oliveira, D. de A., Montojos, J. C., & Igue, T. 1964. Adubação do arroz de sequeiro. I. Avaliação da influência de nitrogênio, fósforo e potássio sobre características de variedade precoce de arroz de sequeiro. Bragantia 23(8):73-81.

- Oliveira, D. de A., Montojos, J. C., Igue, T. *et al.* 1965. Ensaio preliminares de adubação do arroz de sequeiro. II. Cultivar 'Pratão'. *Bragantia* 24(33):437-446.
- Oliveira, D. da A., Casado M., J., Igue, T. *et al.* 1966. Ensaio preliminares de adubação de arroz de sequeiro. III. Cultivar "Dourado Precoce". *Bragantia* 25(1):1-8.
- Peña-Herrera, J. 1961. Estudio de los suelos de las zonas trigueras del Ecuador, y su fertilidad. *An Univ. Centr. Ecuador* 90(345):221-238.
- Viegas, G. P. & Freire, E. S. 1961. Adubação do milho. XXXIII. Influência do fósforo, do potássio e da adubação com NPK sobre algumas características das plantas e das espigas. *Bragantia* 20(31):741-757.

#### Tubérculos y Raíces

- Boock, O. J., Catani, R. A. & Freire, E. S. 1960. Adubação da batatinha experiências com leucita, sulfato e cloreto de potássio. *Bragantia* 19(51):811-828.
- Boock, O. J., Paiva Netto, J. E. de. & Freire, E. S. 1962. Sobre a adubação da batatinha em solo rico de matéria orgânica. *Bragantia* 21 Nota 2:13-19.
- Boock, O. J. & Freire, E. S. 1960. Adubação da batatinha: experiências com doses crescentes de potássio. *Bragantia* 19(37):599-619.
- Breda, Filho, J., Freire, E. S. & Abramides, E. 1966. Adubação da batata doce com nitrogênio, fósforo e potássio em terrenos de "Cerrado". *Bragantia* 25(22):241-251.
- Breda, Filho, J., Freire, E. S. & Abramides, E. 1966. Adubação de batata doce com diretas doses de nitrogênio, fósforo e potássio. *Bragantia* 25(26):291-296.
- Gargantini, H., Nobrega, S. de A., Hungria, L. S. *et al.* 1965. Adubação mineral da batatinha. II. Vale do Paraíba. *Bragantia* 24(3):29-40.
- Gargantini, H., Blanco, H. G., Gallo, J. R. *et al.* 1963. Absorção de nutrientes pela batatinha. *Bragantia* 22(22):267-289.
- Krochmal, A. and Samuels, G. 1970. Influence of nitrogen, phosphorus and potassium levels on the growth and tuber development of cassava in tanks. *Ceiba* 16(2):35-43.
- McCollum, R. E. and Valverde, C. 1968. The fertilization of potatoes in Peru. I. A summary and interpretation of data from field experiments completed from 1959 through 1964 in the Sierra. *Tech. Bull. 185. N. C. Agr. Exp. Sta., Raleigh and SIPA, Ministerio de Agricultura, Peru.*
- Nóbrega, S. A., Scivittaro, A., Gargantini, H. *et al.* 1964. Adubação mineral da batatinha. I. Região da alta sorocabana. *Bragantia* 23(9):83-93.

- Peterson, L. A., Weis, G. G. and Walsh, L. M. 1971. Potato response to varying levels of soil test phosphorus and potassium. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.* 2(4):267-274.
- Silva, J. R. da and Freire, E. S. 1968a. Influência da aplicação de adubos minerais nos sulcos de plantio, sobre os "stands" de culturas de mandioca. *Bragantia* 27(26):291-300.
- Silva, J. R. da & Freire, E. S. 1968b. Efeito de doses crescentes de nitrogênio, fósforo e potássio sobre a produção de mandioca em solos de baixa e alta fertilidade. *Bragantia* 27(29):357-364.
- Rodríguez, M. J., Baird, G. and Correa V., J. 1960. Fertilización de la papa en Antioquia. *DIA. Boletín Técnico* 5.
- Valverde, C., Quevedo, F. and McCollum, R. 1966. Response of potatoes to nitrogen, P. and K in soils of the Peruvian Sierra. In: 1º Congresso Panamericano Conservação de Solos. pp. 491-501. São Paulo.

#### Frijoles y Soya

- Canecchio F., V., Rocha, J. L. V. & Freire, E. S. 1963. Adubação da mamoneira. III. Experiências com doses crescentes de nitrogênio, fósforo e potássio. *Bragantia* 22(62):765-775.
- Fassbender, H. W. 1967. La fertilización del frijol (*Phaseolus* sp.). Turrialba 17(1):46-52.
- Martini, J. A. and Pinchinat, A. M. 1967. Ensayos de abonamiento del frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) en el invernadero con tres suelos de áreas frijoleras de Costa Rica. Turrialba 17(4):411-418.
- Mascarenhas, H. A. A., Miyasaka, S., Almeida, L. D. de. *et al.* 1967. Adubação verde do feijoeiro "da seca" com ervilha-de-vaca. *Bragantia* 26 Nota 7:37-40.
- Mascarenhas, H. A. A., Miyasaka, S., Igue, T. *et al.* 1968. Adubação da soja. VII. Efeito de doses crescentes de calcário, fósforo e potássio em solo Latossolo Roxo com vegetação de cerrado recém desbravado. *Bragantia* 27(25):279-289.
- Mascarenhas, H. A. A., Miyasaka, S., Freire, E. S. *et al.* 1967. Respostas do feijoeiro à adubação com N, P, e K em solo orgânico de Ribeirão Preto. *Bragantia* 26 Nota 2:5-8.
- Mascarenhas, H. A. A., Miyasaka, S., Igue, T. *et al.* 1969. Respostas da soja à calagem e a adubações minerais com fósforo e potássio em solo Latossolo Roxo. *Bragantia* 28 Nota 4:17-21.
- Miyasaka, S., Freire, E. S., Alves, S. *et al.* 1966. Adubação mineral do feijoeiro. III. Efeitos de N, P, K da calagem e de uma mistura de enxofre e micronutrientes, em solo Massapé-Salmourão. *Bragantia* 25(15):179-188.

- Miyasaka, S., Alencar, C. & Freire, E. S. 1966. Resposta da soja à adubação com N, P, K, S e micronutrientes em solo pobre de Itararé, no sul do planalto Paulista. *Bragantia* 25 Nota 7:29–33.
- Miyasaka, S., Freire, E. S., Igue, T. *et al.* 1967. Respostas do feijoeiro à aplicação de diversos tipos de matéria orgânica não decomposta, na presença de adubações minerais com P, PK, NP om NPK. *Bragantia* 26(25):335–344.
- Miyasaka, S., Freire, E. S. & Mascarenhas, H. A. A. 1964. Ensaio de adubação da soja e do feijoeiro em solo do arenito Botucatu, com vegetação de cerrado. *Bragantia* 23(5):45–54.
- Miyasaka, S., Freire, E. S., Mascarenhas, H. A. A. *et al.* 1966. Adubação mineral do feijoeiro. VII. Efeitos de N, P, K, S, da calagem e de uma mistura de micronutrientes, no sul do planalto Paulista. *Bragantia* 25(35):385–392.
- Miyasaka, S., Freire, E. S., Mascarenhas, H. A. A. *et al.* 1966. Adubação mineral do feijoeiro. VIII. Efeitos de N, P, K, S e de uma mistura de micronutrientes, em novas experiências conduzidas em Tatuí e Tietê. *Bragantia* 25(36):393–405.
- Miyasaka, S., Freire, E. S., Mascarenhas, H. A. A. *et al.* 1967. Adubação mineral do feijoeiro: X. Efeitos de N, P, K, S e de uma mistura de micronutrientes, em terra-roxa-legítima e terra-roxa-misturada *Bragantia* 26:287–302.
- Miyasaka, S., Silva, J. G. da., e Gallo, J. R. 1960. Adubação da soja I. Ensaio preliminares de adubação mineral em terra-roxa-misturada. *Bragantia* 19(42):667–674.
- Miyasaka, S., Freire, E. S., Igue, T. *et al.* 1966. Adubação mineral do feijoeiro. II. Efeitos de N, P, K, da calagem e de uma mistura de enxofre e micronutrientes, em terra-roxa-misturada. *Bragantia* 25(13):145–159.
- Miyasaka, S., Freire, E. S., Igue, T. *et al.* 1966. Adubação mineral do feijoeiro. V. Efeitos de N, P, K, S e de uma mistura de micronutrientes, em dois solos do vale de Paraíba. *Bragantia* 25(28):307–316.
- Miyasaka, S., Igue, K., Freire, E. S. 1965. Adubação do feijoeiro em solos derivados do Arenito Bauru. *Bragantia* 24(20):231–245.
- Miyasaka, S., Mascarenhas, H. A. A., Freire, E. S. *et al.* 1966. Adubação mineral do feijoeiro. VI. Efeitos de N, P, K, S e de uma mistura de micronutrientes, em solo Massapé–Salmourão. *Bragantia* 25(34):371–384.
- Miyasaka, S., Pettinelli, A., Freire, E. S. *et al.* 1966. Adubação mineral do feijoeiro. IV. Efeitos de NPK da calagem e de uma mistura de enxofre e micronutrientes em Tietê e Tatuí. *Bragantia* 25(27):297–305.
- Miyasaka, S., Pimentel W., A. C. and Venturini, W. R. 1962. Adubação da soja. II. Adubação mineral em “terra-roxa-misturada com argilito do glacial”. *Bragantia* 21(34):617–630.

**Pastos y Forrajes**

- Ahmad, N., Tulloch-Reid, L. I. and Davis, C. E. 1969. Fertilizer studies on pangola grass (*Digitaria decumbens*) in Trinidad. II. Effect of phosphorus, potassium and magnesium. *Tropical Agriculture* 46(3):179–186.
- Alvarado, B., A. and Nuñez, R. E. 1967. Influencia del clima y de las fertilizaciones potásica y molibídica sobre varias características de un alfalfar establecido en Chapingo, México. *Agrociencia* 1(2):119–129.
- Andreasi, F., Mendonça, C. X., Jr., Veiga, J. S. M. *et al.* 1966–1967. Levantamento dos elementos minerais em plantas forrageiras de áreas delimitadas do Estado de São Paulo: II. Sódio e potássio. *Rev. Fac. Med. Vet. Univ. São Paulo* 7(3):605–614.
- Caro-Costas, R. and Vicente-Chandler, J. 1963. Effect of liming and fertilization on productivity and species balance of a tropical Kudzu–Molasses grass pasture under grazing management. *J. Agric. Univ. Puerto Rico* 47(4):236–241.
- Gomide, J. A., Noller, C. H., Mott, G. O. *et al.* 1969. Mineral composition of six tropical grasses as influenced by plant age and nitrogen fertilization. *Agron. J.* 61(1):120–123.
- Haag, H. P., Bose, M. L. V., & Andrade, R. G. 1967. Absorção dos macronutrientes pelos capins Colonião, Gordura, Jaragua, Napier e Pangola. *An. Esc. Super. Agric. "Luiz de Queiroz"* 24:177–188.
- Marín, M., G., Chaverra, G. H., Crowder, L. V. *et al.* 1960. Fertilización de la alfalfa en suelos de clima frío de Colombia. *DIA. Boletín Técnico* 7.
- McClung, A. C., Freitas, L. M. M. de, Gallo, J. R. *et al.* 1957. Preliminary fertility studies on Campo Cerrado soils in Brazil. *IBEC Research Institute Bulletin* 13.
- Vicente-Chandler, J., Silva, S. and Figarella, J. 1960. Effects of nitrogen fertilization and frequency of cutting on the yield and composition of Guinea grass in Puerto Rico. *J. Agric. Univ. Puerto Rico* 43:228–239.
- Vicente-Chandler, J., Silva, S. and Figarella, J. 1960. Effects of nitrogen fertilization and frequency of cutting on the yield and composition of Napier grass in Puerto Rico. *J. Agric. Univ. Puerto Rico* 43:215–227.
- Vicente-Chandler, J., Silva, S. and Figarella, J. 1960. Effects of nitrogen fertilization and frequency of cutting on the yield and composition of Para grass in Puerto Rico. *J. Agric. Univ. Puerto Rico* 43:240–248.

**Fibras**

- Cavaleri, P. A., Fuzzato, M. G. & Freire, E. S. 1963. Adubação do algodoeiro. XIV. Experiências com mucuna e adubos minerais. *Bragantia* 22(26):331–350.

- Fuzatto, M. G. & Ferraz, C. A. M. 1967. Correlação entre o efeito da adubação potássica no algodoeiro e a análise química do solo. *Bragantia* 26(26):345–352.
- McClung, A. C., Freitas, L. M. M. de, Mikkelsen, D. S. *et al.* 1961. Cotton fertilization on Campo Cerrado soils, State of São Paulo, Brazil. IBEC Research Institute Bulletin 27.
- Neves, O. S., Cavaleri, P. A., Abramides, E. *et al.* 1960. Adubação do algodoeiro. X. Ensaio com diversos adubos potássicos. *Bragantia* 19(12):183–200.
- Paiva Castro, G. A. de, Freire, E. S., Venturini, W. R. *et al.* 1968. Efeito de doses crescentes de nitrogênio, fósforo e potássio sobre a produção de folhas e fibras de fôrmio. *Bragantia* 27(27):301–309.
- Sarruge, J. R., Gómez, L., Haag, H. P. *et al.* 1963. Estudo sobre a alimentação mineral do algodoeiro. I. Marcha da absorção dos macronutrientes. *An. Esc. Sup. "Luiz de Queiroz"* 20:13–23.
- Schmidt, W., Fuzatto, M. G., & Freire, E. S. 1962. Adubação do algodoeiro. XII. Quatro experiências com N, P e K em terra-roxa. *Bragantia* 21(47):827–840.
- Verdade, F., Wutke, A. C. P., Amarel, A. Z. do *et al.* 1965. Níveis de fertilidade dos solos do Estado de São Paulo para a cultura algodoeira: I. Os teores de fósforo, nitrogênio e potássio. *Bragantia* 24:55–74.

#### Caña de Azúcar

- Alvarez, R. & Camargo Pacheco, H. A. de. 1963. Adubação da Cana-de-açúcar. VII. Ensaio preliminar de adubação NPK no arenito de Baurú. *Bragantia* 22(17):194–200.
- Alvarez, R. 1962. Adubação da cana-de-açúcar. VI. Fracionamento da dose de potássio. *Bragantia* 21(4):31–43.
- Alvarez, R., Arruda, H. V. de, & Gargantini, H. 1960. Adubação da cana-de-açúcar. V. Ensaio preliminar de adubação NPK em terra-roxa. *Bragantia* 19(24):361–368.
- Alvarez, R., Segalla, A. L., Wutke, A. C. P. *et al.* 1963. Adubação da cana-de-açúcar. VIII. Adubação mineral em solos Massapé–Salmourão (1957–58). *Bragantia* 22(53):657–675.
- Baver, L. D. and Ayers, A. S. 1962. Soil analyses as bases for fertilizer recommendations in sugar cane. *Trans. Joint Meeting Comm. IV. and V. Inter. Soc. Soil Sci. New Zealand.* pp. 835–841.
- Fox, R. L. 1969. Fertilization of volcanic ash soils in Hawaii. *Proc. Panel Volcanic Ash Soils of Latin America. IICA and FAO. C.61.–C.6.13.*
- Gallo, J. R., Hiroce, R. & Alvarez, R. 1968. Levantamento do estado nutricional de canaviais de São Paulo pela análise foliar. *Bragantia* 27(30):365–381.

- Gonzales-Vélez F., S. G. 1962. Response of sugar cane to fertilizers on an organic soil. *J. Agric. Univ. Puerto Rico*. 46(4):284-296.
- Misra, M. K. 1970. Influence of liming and K fertilization on the nutrition of sugar cane and *Desmodium* species. Ph.D. Thesis, Univ. of Hawaii, Honolulu.
- Velez, W., Bernardo, E. and Jaime, L. C. 1969. Fertilization of sugar cane for brown sugar production in the Frontino area, Antioquia. *Rev. Inst. Colombiano. Agropecuar.* 4(1):27-44.
- Wutke, R. C. P., Alvarez, R., Gargantini, H. *et al.* 1960. Restauração de solo para a cultura da cana de açúcar. II. Período 1956-58. *Bragantia* 19(43):675-687.

#### Frutas y Vegetales

- Awada, M. and Long, C. 1971. The selection of the potassium index in papaya tissue analysis. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 96(1):74-77.
- Ballester, M. R., Samuels, G. and Lopez, J. G. 1964. Fertilizer trials with tomatoes and cucumbers in Puerto Rico. *J. Agr. Univ. Puerto Rico* 48(1):49-54.
- Bhangoo, M. S., Altman, F. G. and Karon, M. L. 1962. Effect of nitrogen, phosphorus and potassium on fruit yield in relation to nutrient content of soil and leaf tissue in Honduras. *Tropical Agriculture* 39(3):189-201.
- Braga, J. M. 1970. Nutritional state of a citrus orchard and the effect of environmental factors on the composition of elements in the foliage. *Ceres* 17(91):61-76.
- Butler, A. F. 1960. Fertilizer experiments with the Gros Michel banana. *Tropical Agriculture* 37(1):31-50.
- Carvalho, A. M. de., Galli, O., Abramides, E. *et al.* 1963. Adubação do mamoeiro. *Bragantia* 22 Nota 10:89-41.
- Cunha, J. F. da & Fraga, J. C. 1963. Efeito da adubação mineral, orgânica e calagem, na produção da bananeira em várzea litorânea de Caraguatatuba - Estado de São Paulo. *Bragantia* 22(15):159-168.
- Gallo, O. and Baird, G. B. 1957. Fertilidad de algunos suelos típicos del Valle del Cauca, Colombia. D.I.A. Boletín Técnico 1.
- Martini, J. A. 1969. Caracterización del estado nutricional de los principales "Latosoles" de Costa Rica, mediante la técnica del elemento faltante en el invernadero. *Turrialba* 19(3):394-408.
- Osborne, R. E. and Hewitt, C. W. 1963. The effect of frequency of application of nitrogen, phosphate and potash fertilizers on Lacatan bananas in Jamaica. *Tropical Agriculture* 40(1):1-8.

- Puiggros, J., Franciosi, R. and Morin, C. 1969. Nutritional study of Washington Navel oranges in the central coast of Peru. *Proc. Int. Citrus Symp.* 1st 1968. 3:1613–1617.
- Sánchez, P., C. & Larez, O. S. 1969. Efecto de la aplicación de varios nutrientes a un suelo franco-arenoso de sabana del Estado Monagas sobre la producción de tres variedades de Piña. *Oriente Agropecuario, Venezuela.* 1(2):93–107.
- Sobrinho, J. T., Sobrinho, J. A., Igue, T. *et al.* 1968. Efeito de N, P, e K na produção do "Tomateiro Rasteiro" em Pindorama. *Bragantia* 27 Nota 12:47–50.
- Tanaka, T., Freitas, L. M. M. de, & Tyler, K. B. 1970. Efeito da adubação no crescimento, no nível de nutrientes analisados nas folhas e na produção de plantas de tomate cultivadas num Latossolo Vermelho Amarelo. *Pesq. Agropec. Bras.* 5:117–123.
- Weir, C. C. 1965. A survey of the mineral nutrition of Valencia oranges in Trinidad. *Exp. Agr.* 1(3):179–184.
- Weir, C. C. 1969. Potassium and magnesium nutrition of citrus trees. *Tropical Agriculture* 46(2):131–136.
- Otros Cultivos**
- Abruña, F., Vicente-Chandler, J., Becerra, L. A. *et al.* 1965. Effects of liming and fertilization on yields and foliar composition of high yielding sun-grown coffee in Puerto Rico. *J. Agr. Univ. Puerto Rico* 49(4):413–428.
- Aduayi, E. A. 1970. Soil-plant nutrient relations in tree crops with special reference to coffee: a review. *Turrialba* 20(4):463–470.
- Amorim, H. V. de., Scoton, L. C., Castilho, A. de, *et al.*, 1967. Estudos sobre a alimentação mineral do cafeeiro. XXI. Efeito da adubação N,P,K e orgânica na composição mineral do grão e na qualidade da bebida. *An. Esc. Super. Agric. "Luiz de Queiroz"* 24:215–228.
- Arroyo, J., Allievi, J. and Mazzani, B. 1967. Ensayo de fertilizantes en maní realizado en la sabana de Londres. *Agronómica Tropical.* 17:101–111.
- Almeyda, N. 1959. Effect of fertilizer treatment on coconut yields in Puerto Rico. *Turrialba* 9(2):40–42.
- Alvim, P. de T. and Fonseca, R. 1966. Soil fertility survey of the cacao region of Bahia by means of microplot tests. *Cacao* 11(2):4–5.
- Bonnet, J. A. 1969. Influence of varieties and seasons upon the mineral nutrient levels of coffee leaves from Puerto Rico. *J. Agric. Univ. Puerto Rico* 53(3):177–186.
- Carvajal, J. F., Acevedo, A. and Lopez, C. A. 1969. Nutrient uptake by the coffee tree during a yearly cycle. *Turrialba* 19(1):13–20.

- Catani, R. A., Pellegrino, D., Alcarde, J. C. *et al.* 1967. Variação na concentração e na quantidade de macro e micronutrientes no fruto de cafeeiro, durante o seu desenvolvimento. An. Esc. Super. Agric. "Luiz de Queiroz" 24:249–263.
- Chesney, H. A. D. and Diyaljee, R. B. 1969. Yield response of peanuts to fertilizer nitrogen phosphorus and potassium on the 'brown sands' of Guyana. Agric. Res. Guyana 3:111–115.
- Gallo, J., Hiroce, R., Coelho, A. S., Jr. *et al.* 1967. Survey of the nutritional condition of coffee in the State of São Paulo through foliar analyses. I. Massape–Salmourão type of soil. Bragantia 26(7):103–117.
- Lott, W. L., McClung, A. C., Vita, R. de *et al.* 1961. A survey of coffee fields in São Paulo and Paraná by foliar analysis. IBEC Research Institute Bulletin 26.
- Moreno G., R. and Barros N., O. 1968. Preliminary results on the response of cacao (*Theobroma cacao*) to nitrogen, phosphorus and potassium treatment of soils in the Cauca Valley. Rev. Inst. Colomb. Agrope. 3(3):209–217.
- Rodríguez, S. J., Lugo, R. B., Pérez–Pérez, R. *et al.* 1964. Yield response of the Puerto Rico and Columbian coffee cultivars in two latosols of Puerto Rico, as affected by different levels of nitrogen, phosphorus, potassium, and lime. J. Agric. Univ. Puerto Rico 48(3):255–262.
- Samuels, G., Velez, F. G., García, F. G. B. 1962. Influence of potash fertilizers on tobacco yields and quality on a Mabi clay. J. Agric. Univ. Puerto Rico 46(3):183–188.
- Smith, R. W. 1969. Fertilizer responses by coconuts (*Cocos nucifera*) on two contrasting Jamaican soils. Exp. Agr. 5(2):133–145.

## CAPITULO 9

### AZUFRE

*E. J. Kamprath*

Profesor de Suelos,  
Universidad Estatal de Carolina del Norte

Se ha encontrado que los suelos del Campo Cerrado del Brasil son muy deficientes en azufre (McClung y Freitas, 1959). Cuando no se aplica dicho elemento, el crecimiento de la planta era sólo del 4 al 30 por ciento del obtenido con un tratamiento completo de fertilizantes. Algunos trabajos adicionales indicaron que las deficiencias más agudas fueron encontradas en suelos de sabanas elevadas (McClung *et al*, 1959). Se ha postulado que el contenido sumamente bajo de azufre de los suelos de los Campos Cerrados Brasileños se debe a las quemadas repetidas de estas áreas (McClung y Freitas, 1959). La quema de hierba seca resulta en pérdidas del 75 por ciento del azufre por volatilización.

Las deficiencias de azufre también han sido reportadas en América Central. Se encontró que suelos de El Salvador previamente cultivados eran deficientes en azufre (Muller, 1965). Se obtuvieron respuestas medianas a azufre en los principales Latosoles de Costa Rica (Martini, 1969).

El contenido de azufre orgánico en suelos vírgenes de la meseta central del Brasil fluctúa de 72 a 494 kg S/ha mientras que los de lugares adyacentes, cultivados por 20 a 30 años, contenían de 48 a 120 kg S/ha (McClung *et al*, 1959). Así que bajo cultivo, se ha realizado considerable mineralización del azufre orgánico. La mineralización de azufre orgánico en suelos formados de ceniza volcánica, sin embargo, es limitada. La estabilidad de la materia orgánica en la ceniza volcánica es muy alta debido a las reacciones con alofano y deficiencias de azufre pueden ocurrir aún en suelos con un alto contenido de materia orgánica (Fox, 1969).

Grandes cantidades de sulfato fueron adsorbidas por un Latosol de Costa Rica que contenía grandes cantidades de óxidos hidratados de hierro y aluminio (Bornemisza y Llanos, 1967). La desorción de sulfato del Latosol fue baja comparada con suelos de regiones

templadas. La solubilidad en agua de sulfato adsorbido fue muy baja en suelos de ceniza volcánica de Hawaii (Hasan *et al*, 1970). Estudios de maceta con estos suelos indicaron que una concentración de 5 ppm de  $\text{SO}_4\text{-S}$  era necesaria para el óptimo crecimiento del pasto kikuyu.

Respuestas a fertilización con azufre fueron obtenidas de suelos cultivados en el Brasil que contenían menos de 10 ppm de  $\text{SO}_4\text{-S}$  extraído con  $\text{NH}_4\text{OAc}$  (McClung *et al*, 1959). El azufre adsorbido en los horizontes B de suelos brasileños era disponible para las plantas. Cuando los suelos habían sido anteriormente fertilizados con altas dosis de abonos que contenían sulfato, el sulfato adsorbido en el subsuelo puede ser una fuente importante de azufre.

Grandes respuestas al azufre han sido obtenidas con algodón en suelos del Campo Cerrado de São Paulo, Brasil (McClung *et al*, 1961). Aumentos en los rendimientos fluctuaron del 30 al 100 por ciento. Respuestas de rendimiento máximo fueron obtenidas con 30 kg de S/ha aplicados como sulfato de calcio. Los rendimientos de maíz aumentaron aproximadamente en un 25 por ciento en suelos del Campo Cerrado con la aplicación de sulfato de calcio (Mikkelsen *et al*, 1963). Un aumento de tres veces en la producción de materia seca de pasto "Batatais" fue obtenido con la aplicación de sulfato de calcio (McClung y Quinn, 1959). La aplicación de 20 a 40 kg de S/ha como sulfato de calcio dio aumentos máximos de rendimiento.

La respuesta de soya a la fertilización con azufre fue de 350 kg/ha de grano en suelo derivado de arenisca de Botucatu (Miyasaka *et al*, 1964). Respuestas de frijoles a fertilización con azufre fueron obtenidas en sólo uno de siete lugares que anteriormente habían recibido frecuentes aplicaciones de fertilizantes (Miyasaka *et al*, 1966). Parece haber sido una concentración suficiente de sulfato acumulado en estos suelos con fertilizaciones anteriores.

## 9.1 CONCLUSIONES

Los suelos altamente intemperizados de las sabanas de América del Sur tienen la probabilidad de ser deficientes en azufre, particularmente cuando han estado sujetos a quemadas repetidas. La mineralización de azufre orgánico puede inicialmente suministrar algún azufre, particularmente cuando los suelos tienen un alto contenido de materia orgánica.

Aunque algunos suelos de ceniza volcánica contienen grandes cantidades de materia orgánica, muy poco azufre orgánico es suministrado debido a la condición estable de la materia orgánica.

Considerables cantidades de sulfato son adsorbidos por Latosoles y suelos derivados de ceniza volcánica. Cuando grandes cantidades de sulfato han sido adsorbidas por el suelo, las plantas pueden obtener una cantidad adecuada de azufre.

Se obtuvieron respuestas a fertilización con azufre en Latosoles que contenían menos de 10 ppm de  $\text{SO}_4\text{-S}$  extraído con  $\text{NH}_4\text{OAc}$ . La aplicación de 20 a 40 kg de S/ha, ha dado una respuesta máxima cuando el azufre limitaba los rendimientos.

## 9.2 BIBLIOGRAFIA

- Bornemisza, E. and Llanos, R. 1967. Sulfate movement, adsorption and desorption in three Costa Rican soils. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.* 31:356–360.
- Fox, R. L. 1969. Fertilization of volcanic ash soils in Hawaii. Proc. panel on Volcanic Ash Soils of Latin America. C.6.1. – C.6.13. Turrialba.
- Freitas, L. M. M. de, McClung, A. C., and Lott, W. L. 1960. Field studies on fertility problems of two Brazilian Campos Cerrado soils 1958–1959. IBEC Research Institute Bulletin 21.
- Hasan, S. M., Fox, R. L., and Boyd, C. C. 1970. Solubility and availability of sorbed sulfate in Hawaiian soils. *Soil Sci. Amer. Proc.* 34(6):897–901.
- Martini, J. A. 1969. Caracterización del estado nutricional de los principales "Latosoles" de Costa Rica, mediante la técnica del elemento faltante en el invernadero. Turrialba 19(3):394–408.
- McClung, A. C. and Freitas, L. M. M. de. 1959. Sulfur deficiency in soils from the Brazilian campos. *Ecology* 40(2):315–317.
- McClung, A. C., Freitas, L. M. M. de., Gallo, T. R. *et al.* 1957. Preliminary fertility studies on Campos Cerrado soils in Brazil. IBEC Research Institute Bulletin 13.
- McClung, A. C., Freitas, L. M. M. de., and Lott, W. L. 1959. Analyses of several Brazilian soils in relation to plant responses to sulfur. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.* 23:221–224.
- McClung, A. C., Freitas, L. M. M. de., Mikkelsen, D. S. *et al.* 1961. Cotton fertilization on Campo Cerrado soils, State of São Paulo, Brazil. IBEC Research Institute Bulletin 27.

- McClung, A. C. and Quinn, L. R. 1959. Sulfur and phosphorus response of Batatas grass (*Paspalum notatum*). IBEC Research Institute Bulletin 18.
- Muller, L. E. 1965. Deficiencia de azufre en algunos suelos de Centro América. Turrialba 15(3):208-215.
- Miyasaka, S., Freire, E., & Mascarenhas, H. 1966. Adubação mineral do feijoeiro. VIII. Efeitos de N, P, K, S e de uma mistura de micronutrientes em Tatui e Tietê. Bragantia 25:393-405.
- Miyasaka, S., Mascarenhas, H. & Freire, E. 1964. Adubação da soja. III. Efeito de N, P, K do enxofre e de micronutrientes em solo do arenito Botucatu, com vegetação. Bragantia 23(7):65-71.

## CAPITULO 10

### MICRONUTRIENTES

*F. R. Cox*

Profesor Asociado de Suelos,  
Universidad Estatal de Carolina del Norte

El estado de micronutrientes en suelos y plantas no ha sido bien documentado en la América Latina. Se han realizado observaciones de síntomas de deficiencia en varios cultivos, pero la diversidad de las condiciones del suelo y la falta de un sistema adecuado de informes ha dejado el cuadro incompleto. Además, al tratar con problemas de micronutrientes, los investigadores a menudo han aplicado una mezcla de estos microelementos para corregir una deficiencia. Cuando estos materiales producen una respuesta positiva, es imposible identificar cuál de estos nutrientes había sido efectivo.

Se han realizado observaciones y estudios, sin embargo, que permiten llegar a ciertas conclusiones. En el Brasil Central, se han observado problemas con Zn, Mo, y B, como lo indican artículos generales por Hardy (1962) y Arens (1963). Estos se deben no solamente al material originario antiguo del Escudo Brasileño, sino también a un mayor esfuerzo de investigación y un mejor sistema de publicaciones que en otras áreas de América Latina. Por estas razones, muchas de las informaciones disponibles para este trabajo han sido obtenidas en el Brasil y por lo tanto se encontrará cierto bias en ese sentido.

Debido a la importancia de los suelos derivados de ceniza volcánica, se ha hecho un esfuerzo para revisar toda la información existente sobre deficiencias de micronutrientes en éstos. Se sabe que estos suelos ocurren en áreas a lo largo de la Cordillera de los Andes desde México hasta Chile. Se han incluido citas de zonas fuera de esta área cuando se ha creído pertinente.

La literatura tiene más información disponible relativa a análisis foliar que de análisis de suelos. Ambos aspectos, así como datos bien definidos de respuestas, serán dados a continuación por elementos.

## 10.1 ZINC

Igwe y Bornemisza (1967) recientemente resumieron el problema del zinc en suelos y plantas de regiones tropicales y templadas. La mayor parte de su material, naturalmente, proviene de las zonas templadas, pero este artículo provee una buena información básica para cualquier persona interesada en zinc.

Algunos investigadores han informado acerca de los niveles de zinc existentes en suelos tropicales por medio de diversas técnicas de extracción. Un estudio reciente realizado por Meuer *et al* (1971) dio los siguientes niveles de Zn extractable HCl 0,1 N para cuatro suelos del Brasil:

<u>Zn (ppm)</u>	<u>Suelo</u>
1,3	Aqualf
2,2	Haplohumox
1,6	Haplorthox
1,4	Haplorthox

En un estudio de invernadero con estos suelos, se encontró que al encalar hasta un pH de 5,5 no se afecta la asimilación de Zn. Sin embargo, al encalar a pH de 6,5, se causa síntomas de deficiencia de Zn en suelos que contienen menos de 1,5 ppm de Zn. Encalando a pH de 7,4, se causan estos síntomas en todos los suelos. Las tasas de fósforo aplicado en este estudio no afectaron la adsorción de Zn.

Las informaciones obtenidas en estudios de invernadero deben de ser comprobadas en el campo con medidas de rendimiento, a fin de interpretar completamente una prueba de suelo para zinc. Los niveles de fósforo en suelos y fertilizantes pueden tener importancia bajo condiciones de campo. Asimismo, habrá que tomar en cuenta la textura.

Otros trabajos en América Latina han indicado que niveles de Zn en el suelo de 1,5 ppm en Argentina (Mazza *et al*, 1966) y de 1,6 a 18,4 ppm en suelos de ceniza volcánica en Chile (Schalscha *et al*. 1968). Estos fueron extraídos con HCl 0,1 N y los niveles fueron considerados normales.

Kanehiro (1967) usó el mismo extractante en suelos de Hawaii y encontró que promediaron 4,5 ppm de Zn. Consideró que el nivel crítico está entre 1 y 2 ppm. Los niveles bajos fueron encontrados

primordialmente donde se había perdido el horizonte A por erosión. Otro estudio realizado en Hawaii por Lyman y Dean (1942) estableció el nivel crítico en 1,0 ppm cuando los suelos fueron extraídos con  $\text{NH}_4\text{Ac}$  y ditionosona.

Marinho e Igue (1972) estudiaron la absorción de zinc en maíz cultivado en tres suelos de ceniza volcánica de Costa Rica. Usando  $\text{Na}_2\text{EDTA}$  0,01 M a razón de 1:2 extrayendo por 30 minutos, encontraron 1,8, 1,3 y 0,7 ppm de Zn. Cuando las muestras permanecieron durante la noche en HCl 0,1 N a razón de 1,25, los niveles fueron de 8,1, 4,3 y 2,2 ppm. Estos niveles relativamente altos pueden reflejar el tiempo y método involucrados. Consideraron que estos suelos eran deficientes en zinc pero encontraron poca respuesta a dicho elemento cuando se aplicó en un estudio de invernadero. Con fósforo adecuado, la concentración de Zn en el tejido de los testigos fue de 12, 10 y 7 ppm. A estos niveles, es sorprendente que no hubo respuesta de rendimiento. Al usar EDTA, otros investigadores encontraron que el nivel crítico de Zn del suelo puede ser entre 0,8 a 1,4 ppm.

Muchos de los datos de zinc del Brasil tratan del contenido de la planta. El siguiente cuadro da un ejemplo de la información recibida.

Cultivo	Zinc en la hoja (ppm)	Respuesta de rendimiento	Referencias
Arroz	15	sí	Souza e Hirce, 1970
Maíz	17-20	sí	Igue <i>et al</i> , 1961
Maíz	16	sí	Freitas <i>et al</i> , 1960
Maíz	21	no	Gallo <i>et al</i> , 1965
Algodón	35	no	Freitas <i>et al</i> , 1960
Algodón	26	no	McClung <i>et al</i> , 1961
Soya	23	sí	Freitas <i>et al</i> , 1960
Soya	57	no	Freitas <i>et al</i> , 1960
Caña de azúcar	15-18	no	Gallo <i>et al</i> , 1968
Café (encuesta)	8 ppm crítico	Algunas plantaciones deficientes	Lott <i>et al</i> , 1961

Estas observaciones indican respuestas con arroz, maíz y soya cuando el Zn en la hoja es menor de 20 y 23 ppm, respectivamente. Viegas *et al*

(1961) también encontraron respuestas de rendimiento de maíz al Zn en el Brasil. Son muy escasos los datos de respuestas de otras áreas. Laird y Rodríguez (1965) en México notaron respuestas a Zn en dos estudios, pero en 20 otros no encontraron respuestas. Aunque los síntomas de deficiencia de Zn han sido notados en América Latina, muchos no han sido bien documentados. Por ejemplo, algunas deficiencias de Zn han sido observadas en arroz cultivado en suelos de pH alto en el Valle del Cauca en Colombia. También, en el Campo Cerrado del Brasil, se han notado graves deficiencias de Zn en maíz.

## 10.2 BORO

Frecuentemente se han observado deficiencias de boro, pero pocas veces se han estudiado en detalle. A menudo parece que la absorción de este nutrimento depende más de factores climáticos que de condiciones del suelo. Quizás como resultado de esto, Tollenaar (1969), estudiando el boro en suelos volcánicos del Ecuador, manifestó que los análisis del suelo no podían dar más que una orientación general. Los niveles de boro soluble en agua también han sido determinados en México (Flores y Mayazoitia, 1959). Fluctuaron de 0,3 a 3,0 ppm de B y no se consideraron como deficientes. Aún así los autores pensaron que los rendimientos en algunas regiones probablemente aumentarían con la aplicación de borax.

Recientemente Bingham *et al* (1971) encontraron que suelos de ceniza volcánica adsorbían más boro que suelos derivados de otros materiales. La inferencia sería que éstos tienen más tendencias a ser deficientes en boro. Sin embargo, también puede decirse que éstos podrían retener más boro contra la lixiviación. Se requiere un trabajo de calibración en el campo, para determinar si los suelos de ceniza volcánica difieren de otros en su habilidad de suministrar boro.

La deficiencia de boro ha sido notada en café y otros cultivos en suelos de ceniza volcánica del Ecuador (Tollenaar, 1966). Sin embargo, un estudio de cafetales por análisis foliar en el Brasil, indicó niveles adecuados de boro. No se sabe si estas diferencias se asocian con el suelo o con el clima. Trabajos realizados en café en Puerto Rico (Bonnet, 1969) mostraron un efecto definido estacional en los niveles de boro, lo que enfatiza el aspecto climático.

En el Brasil, McClung *et al* (1961) obtuvieron respuestas de rendimiento a boro con algodón cultivado en suelos del Campo

Cerrado. Sin duda, existen las mismas condiciones en otros suelos y con otros cultivos que las condiciones donde se obtuvieron respuesta, pero no han sido estudiados o no se han reportado en América Latina.

En las áreas áridas a lo largo de la costa Peruana, la toxicidad del boro ha sido observada. Fox (1968) estudió la tolerancia de varios cultivos a altas concentraciones de boro soluble en agua. Puiggios *et al*, (1969) también observaron niveles más altos que los óptimos de boro en cítricos de esa área.

### 10.3 MOLIBDENO

Las deficiencias de molibdeno generalmente se restringen a suelos ácidos intemperizados. Así, en la discusión de Hardy (1962) y Arens (1963), podría esperarse que incluirían la falta de este elemento como uno de los problemas en el área del Campo Cerrado del Brasil. Estos suelos también son altos en manganeso y Truong *et al* (1971) encontraron que las aplicaciones de Mo eran especialmente beneficiosas para el metabolismo del nitrógeno en las leguminosas bajo estas condiciones. Ruschel *et al* (1969) encontraron que al cubrir las semillas de soya con roca fosfatada que contenía Mo, se obtuvieron resultados efectivos.

En el Brasil las no-leguminosas también han respondido al Mo. McClung *et al* (1961) notaron respuestas con algodón y Lott *et al*, (1961) encontraron que el follaje del café es excepcionalmente bajo en este nutrimento.

Los suelos de ceniza volcánica también pueden ser bajos en Mo. Fujimoto y Sherman (1951) encontraron plantas que contenían de 0 a 2,5 ppm de Mo, lo que es más bajo que los niveles reportados de muchas áreas. También extrajeron los suelos con  $\text{NH}_4\text{O Ac}$  y determinaron que los niveles de los suelos eran de 0 a 0,13 ppm. Los suelos derivados de ceniza volcánica de Colombia, según Blasco (1969), contenían de 0 a 2,4 ppm de Mo. Estos niveles bajos pueden afectar la producción de los cultivos. Bhangoo y Karon (1962) encontraron que de todos los micronutrientes, sólo el Mo aumentaba el rendimiento de bananos.

#### 10.4 COBRE

Aunque han habido algunos informes sobre la deficiencia de Cu en animales, no parece haber ninguna falta de este elemento para el crecimiento de plantas en la mayor parte de América Latina. Un caso de aumento de producción fue reportado cuando se trataron semillas de arroz con  $\text{CuSO}_4$  (Primavesi y Primavesi, 1970). Aunque los autores consideraron que el efecto era primordialmente de carácter nutricional, también notaron que el  $\text{CuSO}_4$  proveía protección contra el hongo *Pricularia oryzae*.

Análisis de suelos realizados en Argentina (Mazza *et al*, 1966) y Chile (Schalscha, 1968) han indicado niveles adecuados de cobre. Asimismo, análisis de plantas en el Brasil (Gallo *et al*, 1968; Lott *et al*, 1961) y Perú (Puiggros, 1969) han indicado niveles adecuados de cobre.

Pueden existir algunos problemas debido a niveles excesivos de cobre. Aduyi (1971) estudió los efectos de altas tasas de Cu en el café. Se deprimió el crecimiento de las raíces y así la absorción y translocación de otros nutrimentos. Se ha acumulado cobre en los suelos de Chile donde el agua usada para la irrigación pasada anteriormente por operaciones de minería (Sudzuki-Hills, 1966). También se han realizado observaciones en América Central sobre problemas de toxicidad de Cu ocasionados por extensas aplicaciones de fungicidas en bananos. El arroz cultivado más tarde en estos suelos a menudo ha desarrollado síntomas de deficiencia de hierro asociadas con contenidos de cobre sumamente alto en los tejidos.

#### 10.5 HIERRO

Hay poca evidencia de que haya deficiencia natural de hierro en la América Latina. Estudios realizados en el Brasil con café (Lott *et al*, 1961) y caña de azúcar (Gallo *et al*, 1968), han indicado que las deficiencias de hierro son menos probables que las de otros elementos nutritivos. Tomates cultivados en Argentina (Mazza *et al*, 1966) tuvieron altos niveles de Fe, aunque fueron cultivados en suelos neutrales o un poco alcalinos. Ya que la mayor parte de los suelos de América Latina no son alcalinos, la deficiencia de Fe no puede ser de mucho alcance.

Schalscha *et al* (1968) analizaron suelos de ceniza volcánica de Chile y encontraron que los niveles de Fe eran adecuados. En otro estudio

(Schalscha 1965) se enfatizó que las medidas de Fe disponible en suelos de ceniza volcánica debían realizarse con muestras mantenidas a capacidad de campo. El secado por aire afecta el nivel de Fe soluble.

## 10.6 MANGANESO

Por lo general hay dos etapas en el desarrollo de suelos deficientes en Mn. Primero, deben formarse bajo condiciones de reducción, permitiendo la lixiviación de formas reducidas de Mn. Segundo, el suelo debe ser encalado, a menudo en exceso de los requisitos del cultivo, para inducir la deficiencia. Ya que la mayor parte de los suelos de América Latina están bien drenados, y la cal es cara, no es probable que existan extensas deficiencias de Mn. Se ha notado un caso, sin embargo, en Puerto Rico, donde un suelo orgánico fue encalado a un pH mayor de 6,0. Aún más, todavía se ha encontrado carbonato libre de calcio en este suelo.

El encalado de cualquier suelo disminuirá la absorción de Mn. López (1969) notó esto con café cultivado en suelos de ceniza volcánica en Colombia. En muchas áreas de América Latina, es necesario encalar para disminuir la toxicidad de Mn. Café cultivado en Puerto Rico en una arcilla Alongo, contenía altas concentraciones de Mn en las hojas. Algunos investigadores (Abruña y Vicente-Chandler, 1963) aún han puesto en tela de juicio el uso de  $\text{NH}_4\text{SO}_4$  como fertilizante en el café por su efecto acidificante.

La toxicidad del manganeso es un problema, especialmente en la producción de leguminosas, en los suelos ácidos del Brasil. Algunos investigadores han tratado de ajustar el tipo de fertilizante y la variedad (Souto y Doebereiner, 1969a) para resolver este problema. Estos investigadores también han estudiado la tolerancia de Mn de varias leguminosas tropicales de forraje (Souto y Doebereiner 1969b). Sin embargo, si los suelos son encalados adecuadamente para eliminar la toxicidad de Al como problema, debería eliminarse la toxicidad de Mn simultáneamente.

## 10.7 RESUMEN

Un análisis de la información presentada en este estudio sobre micronutrientes indica que es probable encontrar deficiencias de zinc, molibdeno y boro en América Latina. De éstos, los problemas de zinc

ocurren con mayor frecuencia con niveles bajos en suelos y plantas observados en la mayor parte del área. Se está desarrollando lentamente una base de informaciones sobre los niveles críticos de suelos y plantas. Con suma urgencia se necesitan análisis de suelos aplicables a una gran gama de condiciones encontradas en el área. Es probable que la interpretación de estos métodos esté basada no sólo en el nivel de zinc disponible, pero también en el pH del suelo, el fósforo disponible, la fertilización, y quizás, la textura del suelo. Cuando exista una prueba de esta naturaleza, el verdadero estado de zinc en esta región podrá ser estudiado en su totalidad.

Los problemas de molibdeno y boro ocurren esporádicamente y por lo tanto son de importancia secundaria. Muchas de las deficiencias de molibdeno, especialmente en el Campo Cerrado del Brasil, podrán ser resueltas con la aplicación de una dosis más alta de cal. Sin embargo, el costo relativamente alto de la cal y la posibilidad de inducir otros problemas tales como una mayor deficiencia de zinc, hacen que esto no sea práctico. A medida que se utilizan estos niveles marginales de cal y suficiente fósforo y potasio en el área del Escudo Brasileño, puede esperarse que muchas leguminosas deberían responder al molibdeno. En otros lugares donde a menudo el pH y el nivel de materia orgánica son más favorables, las deficiencias se notan con menor frecuencia. El uso de los actuales métodos de análisis de suelo, aunque no están calibrados en la América Latina, ayudaría a determinar áreas problemáticas potenciales.

Las deficiencias de boro han ocurrido en suelos altamente intemperizados cuando estaban sujetos a condiciones de sequía. Los análisis de suelo casi nunca se usan para determinar el boro pero tales datos, cuando se combinan con la frecuencia de sequías esperadas, podrían ser de gran utilidad.

Los problemas relacionados al hierro, manganeso y cobre no son muy importantes en la región, pero podrían tener importancia local. En algunos casos, la toxicidad de manganeso ha sido observada pero nunca cuando se han establecido niveles adecuados de cal. Además, algunos casos de toxicidad de cobre han sido causados por un mal manejo de fungicidas.

## 10.8 BIBLIOGRAFIA

### Zinc

- Blue, W. G., Ammerman, C. B., Loaiza, J. M. *et al.*, 1969. Compositional analyses of soils, forages, and cattle tissues from beef-producing areas of Eastern Panama. *Bioscience* 19(7):616–618.
- Bonnet, J. A. 1969. Influence of varieties and seasons upon the mineral nutrient levels of coffee leaves from Puerto Rico. *J. Agr. Univ. Puerto Rico* 53(3):177–186.
- Catani, R. A., Pellegrino, D., Alcarde, J. C. *et al.* 1967. Variação na concentração e na quantidade de macro e micronutrientes no fruto do cafeeiro, durante o seu desenvolvimento. *An. Esc. Sup. Agric. "Luiz de Queiroz"* 24:249–263.
- Freitas, L. M. M. de, McClung, A. C. and Lott, W. L. 1960. Field studies on fertility problems of two Brazilian Campo Cerrados 1958–1959. *IBEC Research Institute Bulletin* 21.
- Gallo, J. R., Hiroce, R. e Alvarez R. 1968. Levantamento do estado nutricional de canaviais de São Paulo pela análise foliar. *Bragantia* 27(30):365–382.
- Gallo, J. R., Hiroce, R. e Miranda L. T. de. 1965. A análise foliar na nutrição do milho. II. Resultados de ensaios de adubação com N, P, K, S e micronutrientes. *Bragantia* 24 Nota 14:71–77.
- Gomide, J. A., Noller, C. H., Mott, G. O. *et al.* 1969. Mineral composition of six tropical grasses as influenced by plant age and nitrogen fertilization. *Agron. J.* 61(1):120–123.
- Igue, K. y Bornemisza, E. 1967. El problema del Zn en suelos y plantas de regiones tropicales y de zonas templadas. *Fitotecnia Latinoamericana* 4(1):29–44.
- Igue, K. and Gallo, J. R. 1960. Zinc deficiency of corn in São Paulo. *IBEC Research Institute Bulletin* 20.
- Ishizuka, Y. and Tanaka, A. 1962. Inorganic nutrition of rice plant. VII. Effect of boron, zinc and molybdenum level in culture solution on yields and chemical composition of the plant. *J. Sci. Soil Manure, Japan* 33:93–96.
- Kanehiro, Y. 1967. Distribution of total and 0,1 normal hydrochloric acid extractable zinc in Hawaiian soils profiles. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.* 31:394–399.
- Laird, R. J. and Rodríguez, G. H. 1965. Fertilización de maíz de temporal en regiones de Guanajuato, Michoacán y Jalisco. *Secretaría de Agricultura y Ganadería INIA—México—Folleto Técnico* 50.
- Lott, W. L., McClung, A. C., Vita, R. de *et al.* 1961. A survey of coffee fields in São Paulo and Parana by foliar analysis. *IBEC Research Institute Bulletin* 26.

- Lyman, C. and Dean L. A. 1942. Zinc deficiency of pineapples in relation to soil and plant composition. *Soil Sci.* 45:315–324.
- Marinho, M. L. and Igue, K. 1972. Factors affecting zinc absorption from volcanic ash soils. *Agron. J.* 64:3–8.
- Martini, J. A. 1970. Caracterización del estado nutricional de los principales andosoles de Costa Rica, mediante la técnica del elemento faltante en el invernadero. *Turrialba* 20(1):72–84.
- Mazza, C. A., Grassi, R. L., Santamaría, R. M. *et al.* 1966. Determinación de microelementos en suelos del valle inferior del Río Colorado: Niveles en tomate. *Rev. Fac. Agron. Univ. Nac. La Plata* 42(2):161–179.
- McClung, A. C., Freitas, L. M. M. de, Mikkelsen, D. S. *et al.* 1961. Cotton fertilization on Campo Cerrado soils. State of São Paulo, Brazil. *IBEC Research Institute Bulletin* 27.
- Meuer, E. J., Ludwick, A. E. and Kussow, W. R. 1971. Effect of lime and phosphorus on zinc uptake from four soils of Brazil. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.* 2(5):321–327.
- Puiggros, J., Franciosi, R. and Morin, C. 1969. Nutritional study of Washington Navel oranges in the central coast of Peru. *Proc. Int. Citrus Symp.* 1st 1968. 3:1613–1617.
- Schalscha B., E., Riquelme G., R., Vergara H., G. *et al.* 1968. Elementos trazas en suelos derivados de cenizas volcánicas. I. "Disponibilidad" de zinc, cobre, hierro y manganeso. Estudio comparativo de diversos métodos de extracción. *Agric. Tec.* 28(4):137–143.
- Silvey, M. W. 1971. Zinc uptake by *Hyparrhenia rufa* (Nees) Staph and *Indigofera hirsuta* L. in selected Eastern Panamanian soils. Ph.D. Thesis. Univ. of Florida.
- Souza, D. M. de e Hiroce, R. 1970. Diagnose e tratamento preventivo no solo da deficiência de zinco em cultura de arroz de sequeiro com pH abaixo de 7. *Bragantia* 29(9):91–104.
- Takazawa, F. and Sherman, G. D. 1947. The polarographic determination of zinc in soils. *J. Ass. Off. Agric. Chem. Wash.* 30:182–186.
- Teitzel, J. K. and Bruce, R. C. 1971. Fertility studies of pasture soils in the wet tropical coast of Queensland. 2. Granitic soils. *Aust. J. Exp. Agr. Anim. Husb.* 11(48):77–84.
- Viegas, G. P., Freire, E. A. e Venturini, W. R. 1961. Adubação do milho. XXI. Ensaio com diversos fosfatos (7a Serie). *Bragantia* 20(10):461–470.
- Weir, C. C. 1965. A survey of the mineral nutrition of Valencia orange in Trinidad. *Exp. Agr.* 1(3):179–184.

- Westfall, D. G., Anderson, W. B. and Hodges, R. J. 1971. Iron and zinc response of chlorotic rice grown on calcareous soils. *Agron. J.* 63:702–705.
- Yoshida, S. and Tanaka, A. 1969. Zinc deficiency of the rice plant in calcareous soils. *Soil Sci. Plant Nutr.* 15:75–80.

#### Boro

- Bingham, F. T., Page, A. L., Coleman, N. T. *et al.* 1971. Boron absorption characteristics of selected amorphous soils from Mexico and Hawaii. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.* 35:546–550.
- Bonnet, J. A. 1969. Influence of varieties and seasons upon the mineral nutrient levels of coffee leaves from Puerto Rico. *J. Agr. Univ. Puerto Rico* 53(3):177–186.
- Boock, O. J. e Freire, E. S. 1962. Influência da adição de boro à adubação da batatinha. *Bragantia* 21 Nota 4: 25–27.
- Catani, R. A., Pellegrino, D., Alcarde, J. C. *et al.* 1967. Variação na concentração e na quantidade de macro e micronutrientes no fruto do cafeeiro, durante o seu desenvolvimento. *An. Esc. Sup. Agric. "Luiz de Queiroz"* 24:249–263.
- Esquivel–Salazar, C. E. 1965. Factores que afectan la nudulación de las leguminosas en los trópicos. *Turrialba* 15(3):252–253.
- Flores, M. R. e Mayagoitia D., H. 1959. Contenido de boro total y asimilable de los suelos cañeros de la República Mexicana. *Ciencia* 19(8–10):197–203.
- Fox, R. H. 1968. Tolerancia de las plantas de maíz, algodón, alfalfa y frijol a concentraciones altas de boro soluble en agua en los suelos de la costa sur del Perú. *Anales Científicos (Perú)* 6:3–4.
- Gallo, J. R., Hiroce, R., e Alvarez, R. 1968. Levantamento do estado nutricional de canaviais de São Paulo, pela análise foliar. *Bragantia* 27(30):365–382.
- Gallo, J. R., Hiroce, R. e Miranda, L. T. de. 1965. A análise foliar na nutrição do milho. II. Resultados de ensaios de adubação com N, P, K, S e micronutrientes. *Bragantia* 24 Nota 14:71–77.
- Jones, M. B., Quagliato, J. e Freitas, L. M. M. de. 1970. Respostas de alfafa e algumas leguminosas tropicais a aplicações de nutrientes minerais, em tres solos de campo cerrado. *Pesq. Agropec. Bras.* 5:209–214.
- Lott, W. L., McClung, A. C., Vits, R. de, *et al.* 1961. A survey of coffee fields in São Paulo and Paraná by foliar analysis. *IBEC Research Institute Bulletin* 26.
- McClung, A. C., Freitas, L. M. M. de, Mikkelsen, D. S. *et al.* 1961. Cotton fertilization on Campo Cerrado soils, State of São Paulo, Brazil. *IBEC Research Institute Bulletin* 27.

- Puiggros, J., Franciosi, R. and Morin, C. 1969. Nutritional study of Washington Navel oranges in the central coast of Peru. Proc. Int. Citrus Symp. 1st 1968. 3:1613–1617.
- Sarruge, J. R. e Malavolta, E. 1970. Nutrição mineral do cafeeiro. XXIII—Relação cálcio/boro e potássio/boro. An. Acad. Bras. Cienc. 42(2):323–331.
- Tollenaar, D. 1966. Boron deficiency in cacao, bananas and other crops on volcanic ash soils of Ecuador. Neth. J. Agr. Sci. 14(2):138–151.
- Tollenaar, D. 1969. Boron deficiency in sugar cane, oil palm and other monocotyledons on volcanic soils of Ecuador. Neth. J. Agr. Sci. 17(2):81–91.

#### Molibdeno

- Arens, K. 1963. The dwarfed plants of the "cerrado" fields as flora adapted to mineral deficiencies of the soil. In: Simposio sobre o Cerrado. p. 285–303.
- Bhangoo, M. S. and Karon, M. L. 1962. Effect of minor elements and dolomitic lime on fruit yield. Tropical Agriculture 39(3):203–210.
- Blasco, M. 1969. Chemical properties of volcanic ash soils. Proc. of Panel on volcanic ash soils of Latin America. IICA and FAO B.8.1. – B.8.9.
- Catani, R. A., Pellegrino, D., Alcarde, J. C. *et al.* 1967. Variação na concentração e na quantidade de macro e micronutrientes no fruto do cafeeiro, durante o seu desenvolvimento. An. Esc. Sup. Agric. "Luiz de Queiroz" 24:249–263.
- Carrido, O. (ed) 1968. Agriculture and cattle raising of eastern Venezuela. Oriente Agropecuario.
- Freitas, L. M. M. de, McClung, A. C. and Lott, W. L. 1960. Field studies on fertility problems of two Brazilian Campo Cerrados 1958–1959. IBEC Research Institute Bulletin 21.
- Fujimoto, G. 1948. Cobalt and molybdenum content of Hawaiian soils and plants. Rep. Hawaii Agric. Exp. Sta. 1946–1948. pp. 51–52.
- Fujimoto, G. and Sherman, G. D. 1951. Molybdenum content of tropical soils and plants of the Hawaiian Islands. Agron. J. 43:424–429.
- Gallo, J. R. Hiroce, R. e Alvarez, R. 1968. Levantamento do estado nutricional de canaviais de São Paulo, pela análise foliar. Bragantia 27(30):365–382.
- Gallo, J. R., Hiroce, R. e Miranda, L. T. de 1965. A análise foliar na nutrição do milho. II. Resultados de ensaios de adubação com N, P, K, S e micronutrientes. Bragantia 24 Nota 14:71–77.
- Hardy, F. 1962. Problemas de fertilización en el Campo Cerrado de la parte central oriental de Brasil. Turrialba 12(3):128–133.

- Jones, M. B., Quagliato, J. and Freitas, L. M. M. de 1970. Response of alfalfa and some tropical legumes to the application of mineral nutrients in three dense forest soils. *Pesqui. Agropecuar. Brazil* 5:209–214.
- Lott, W. L., McClung, A. C., Vita, R. de. *et al.* 1961. A survey of coffee fields in São Paulo and Paraná by foliar analysis. *IBEC Research Institute Bulletin* 26.
- McClung, A. C., Freitas, L. M. M. de, Mikkelsen, D. S. *et al.* 1961. Cotton fertilization on Campo Cerrado soils, State of São Paulo, Brazil, *IBEC Research Institute Bulletin* 27.
- Rushel, A., Britto, D. P. P. Carvalho, L. F. 1969. Efeito do boro, molibdenio e zinco aplicado no revestimento de sementes na fixação simbiótica de nitrogênio da soja. *Pesq. Agrop. Bras.* 4:29–37.
- Spitzner, R. 1952. On the microdetermination of molybdenum. *Arch. Biol. Curitiba* 7:69–101.
- Swaine, D. J. 1955. The trace–element content of soils: Commonwealth Bur. Soil Sci. Techn. Commun. 48:1–157.
- Truong, N. V. Andrew, C. S. and Wilson, G. L. 1971. Manganese toxicity in pasture legumes. II. Effects of pH and molybdenum levels in the substrate. *Plant and Soil* 34:547–560.

#### Cobre

- Aduayi, E. A. 1971. Effect of copper on the growth and major nutrient contents of coffee seedlings grown in nutrient solution. *Turrialba* 21(1):53–57.
- Blasco, M. 1969. Chemical properties of volcanic ash soils. *Proc. of Panel on volcanic ash soils of Latin America. IICA and FAO B.8.1. – B.8.9.*
- Bleeker, P. and Austin, M. P. 1970. Relationships between trace element contents and other soil variables in some Papua–New Guinea soils as shown by regression analysis. *Aust. J. Soil Res.* 8:133–143.
- Blue, W. G., Ammerman, C. B., Loaiza, J. M. *et al.* 1969. Compositional analyses of soils, forages, and cattle tissues from beef–producing areas of Eastern Panama *Bioscience* 19(7):616–618.
- Catani, R. A., Pellegrino, D., Alcarde, J. C. *et al.* 1967. Variação na concentração e na quantidade de macro e micronutrientes no fruto do cafeeiro, durante o seu desenvolvimento. *An. Esc. Sup. Agric. “Luiz de Queiroz”* 24:249–263.
- Gallo, J. R., Hiroce, R. e Alvarez, R. 1968. Levantamento do estado nutricional de canaviais de São Paulo, pela análise foliar. *Bragantia* 27(30):365–382.
- Gallo, J. R., Hiroce, R. e Miranda, L. T. de. 1965. A Análise foliar na nutrição do milho. II. Resultados de ensaios de adubação com N, P, K, S e micronutrientes. *Bragantia* 24 Nota 14:71–77.

- Gomide, J. A., Noller, C. H., Mott, G. O. *et al.* 1969. Mineral composition of six tropical grasses as influenced by plant age and nitrogen fertilization. *Agron. J.* 61(1):120–123.
- Lott, W. L., McClung, A. C., Vita, R. de. *et al.* 1961. A survey of coffee fields in São Paulo and Paraná by foliar analysis. *IBEC Research Institute Bulletin* 26.
- Maquenne, L. and Demoussy, E. 1920. Copper in soil and plants. *Bull. Soc. Chim. Fr.* 4(27):266–278.
- Mazza, C. A., Grassi, R. L., Santamaría, R. M. *et al.* 1966. Determinación de microelementos en suelos del valle inferior del Río Colorado: Niveles en tomate. *Rev. Fac. Agron. Univ. Nac. La Plata* 42(2):161–179.
- Premi, P. R. 1971. Effect of addition of compounds of copper, manganese, zinc, chromium, and calcium on extractable iron from soil incubated under aerobic and anaerobic conditions. *Agrochimica* 15(2–3):202–211.
- Primavesi, A. M. and Primavesi, A. 1970. Effect of the trace element copper on *Oryza sativa* (rice). *Agrochimica* 14(5–6):490–500.
- Puiggros, J., Franciosi, R. and Morin, C. 1969. Nutritional study of Washington Navel oranges in the central coast of Peru. *Proc. Int. Citrus Symp.* 1st 1968. 3:1613–1617.
- Roldán, R. J. 1969. Cobalt and copper contents of some tropical soils and grasses from Puerto Rico. *J. Agr. Univ. Puerto Rico* 53(4):348–356.
- Russell, R. and Manns, T. F. 1933. The value of copper sulphate as a plant nutrient. *Trans. Peninsula Hort. Soc.* 23:51–57.
- Schalscha B., E., Riquelme G., R. Vergara H., G. *et al.* 1968. Elementos trazas en suelos derivados de cenizas volcánicas. I. "Disponibilidad" de cinc, cobre, hierro y manganeso. Estudio comparativo de diversos métodos de extracción. *Agr. Tec.* 28(4):137–143.
- Schulz–Schomburgk, E. and Thismon–Romero, L. 1966. El fósforo asimilable y su influencia sobre la asimilación de otros elementos en suelos y rocas fosfatados de Venezuela: Estudio realizado aplicando el método del *Aspergillus niger*. *Rev. Fac. Agron. Univ. Cent. Venez. (Maracay)* 4(1):26–56.
- Sudzuki–Hills, F. 1964. Niveles de cobre y aguas de riego del Río Cachapoal. *Agr. Tec. (Chile)* 23/24:15–62.
- Sutmoller, P., Abreu, A. V. de, Grift, J. V. D. *et al.* 1966. Mineral imbalances in cattle in the Amazon Valley. *Roy. Trop. Inst. Dept. Agr. Res. Commun.* 53:xviii–85.
- Tokarnia, C. H., Dobereiner, J. Canella, C.F.C. *et al.* 1966. Ataxia enzootic em carneiros na area costeira do Estado do Piauí. *Pesq. Agr. Bras.* 1:375–392.

Weir, C. C. 1966. Rapid chemical determination of iron, manganese, zinc and copper in citrus leaves. *Tropical Agriculture* 43:149.

### Hierro

Catani, R. A., Pellegrino, D., Alcarde, J. C. *et al.* 1967. Variação na concentração e na quantidade de macro e micronutrientes no fruto do cafeeiro, durante o seu desenvolvimento. *An. Esc. Sup. Agric. "Luiz de Queiroz"* 24:249–263.

Gallo, J. R., Hiroce, R. e Alvarez, R. 1968. Levantamento do estado nutricional de canaviais de São Paulo, pela análise foliar. *Bragantia* 27(30):365–382.

Gomide, J. A., Noller, C. H. Mott, G. O. *et al.* 1969. Mineral composition of six tropical grasses as influenced by plant age and nitrogen fertilization. *Agron. J.* 61(1):120–123.

Lott, W. L., McClung, A. C., Vita, R. de. *et al.* 1961. A survey of coffee fields in São Paulo and Paraná by foliar analysis. *IBEC Research Institute Bulletin* 26.

Mazza, C. A., Grassi, R. L., Santamaría, R. M. *et al.* 1966. Determinación de microelementos en suelos del valle inferior del Río Colorado: Niveles en tomate. *Rev. Fac. Agron. Univ. Nac. La Plata* 42(2):161–179.

McQuistan, R. I. 1956. 1. Maize improvement at ICTA Trinidad (1966–56). 2. Studies on sugar cane treated with chelated iron. DTA report, UWI Library, Trinidad.

Puiggros, J., Franciosi, R. and Morin, C. 1969. Nutritional study of Washington Navel oranges in the central coast of Peru. *Proc. Int. Citrus Symp.* 1st. 1968. 3:1613–1617.

Schalscha B., E., González, C., Vergara, I. *et al.* 1965. Effect of drying on volcanic ash soils in Chile. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.* 29(4):481–482.

Schalscha, B. E., Riquelme R., G., Vergara G., H. *et al.* 1968. Elementos trazas en suelos derivados de cenizas volcánicas. I. "Disponibilidad" de cinc, cobre, hierro y manganeso. Estudio comparativo de diversos métodos de extracción. *Agr. Tec.* 28(4):137–143.

Schulz–Schomburgk, E. and Thismon–Romero, L. 1966. El fósforo asimilable y su influencia sobre la asimilación de otros elementos en suelos y rocas fosfatados en Venezuela: Estudio realizado aplicando el método del *Aspergillus niger*. *Rev. Fac. Agron. Univ. Cent. Venez. (Maracay)*. 4(1):26–56.

Weir, C. C. 1966. Rapid chemical determination of iron, manganese, zinc and copper in citrus leaves. *Tropical Agriculture* 43:149.

**Manganeso**

- Abruña, F. and Vicente-Chandler, J. 1963. Effects of six sources of N on yields, soil acidity, and leaf composition of coffee. *J. Agri. Univ. Puerto Rico* 47(1):41–46.
- Bleeker, P. and Austin, M. P. 1970. Relationships between trace element contents and other soil variables in some Papua–New Guinea soils as shown by regression analyses. *Aust. J. Soil Res.* 8:133–143.
- Blue, W. G., Ammerman, C. B., Loaiza, J. M. *et al.* 1969. Compositional analyses of soils, forages, and cattle tissues from beef–producing areas of Eastern Panama. *Bioscience* 19(7):616–618.
- Bonnet, J. A. 1969. Influence of varieties and seasons upon the mineral nutrient levels of coffee leaves from Puerto Rico. *J. Agr. Univ. Puerto Rico* 53(3):177–186.
- Bornemisza, E. and Morales, J. C. 1969. Soil chemical characteristics of recent volcanic ash. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.* 33(4):528–531.
- Catani, R. A., Pellegrini, D., Alcarde, J. C. *et al.* 1967. Variação na concentração e na quantidade de macro e micronutrientes no fruto do cafeeiro, durante o seu desenvolvimento. *An. Esc. Sup. Agric. "Luiz de Queiroz"* 24:249–263.
- Gallo, J. R., Hiroce, R. e Alvarez, R. 1968. Levantamento do estado nutricional de canaviais de São Paulo, pela análise foliar. *Bragantia* 27(30):365–382.
- Gallo, J. R., e Miranda, L. T. de. 1965. A análise foliar na nutrição do milho. II. Resultados de ensaios de adubação com N,P,K,S e micronutrientes. *Bragantia* 24 Nota 14:71–77.
- Gomide, J. A., Noller, C. H., Mott, G. O. *et al.* 1969. Mineral composition of six tropical grasses as influenced by plant age and nitrogen fertilization. *Agron. J.* 61(1):120–123.
- Hardy, F. and Rodríguez, G. 1951. Calcium carbonate and manganese status of Barbados red soil. Typescript report, ICTA, Trinidad.
- Kelley, W. P. 1909. Manganese in some of its relations to the growth of pineapples. *J. Industr. Eng. Chem.* 1:533–538.
- Lott, W. L., McClung, A. C., Vita, R. de *et al.* 1961. A survey of coffee fields in São Paulo and Paraná by foliar analysis. *IBEC Research Institute Bulletin* 26.
- López Arana, M. 1969. Cambios en el pH y nitrificación al encalar un suelo derivado de ceniza volcánica. *Cenicafe* 24(4):131–142.
- Mazza, C. A., Grassi, R. L., Santamaría, R. M. *et al.* 1966. Determinación de microelementos en suelos del valle inferior del Río Colorado: Niveles en tomate. *Rev. Fac. Agron. Univ. Nac. La Plata* 42(2):161–179.

- McDonald, J. A. and Rodríguez, G. 1935. The manganese content of West Indian cacao soils. Rep. Cacao Res., ICTA, Trinidad 43–47 pp.
- Merodio, J. C. 1969. Analysis of soils of the Río Negro Valley. III. Statistical study of the correlation of minor elements with soil factors. A chemical forms of manganese and their correlations with soil properties. Rev. Fac. Agron. Univ. Nac. La Plata 45(2):133–141.
- Ngo Chan, B., Oliver, R. and Falais, M. 1971. Evidence and study of a case of manganese toxicity on a laterite soil at Anketrakabe, Diego-Suarez (Madagascar). Agron. Trop. (France) 26(3):355–375.
- Paiva Netto, J. E. P. 1942. Manganês nos solos do estado de São Paulo. Ann. Ass. Quim. Bras. 1:42–54, 126–152, 159–189.
- Puiggros, J., Franciosi, R. and Morin, C. 1969. Nutritional study of Washington Navel oranges in the central coast of Peru. Proc. Int. Citrus Symp. 1st 1968. 3:1613–1617.
- Roldán, J. 1959. Fertility status of organic soils in Puerto Rico. J. Agric. Univ. Puerto Rico 43(4):255–267.
- Schalscha B., E., Riquelme G., R., Vergara H., G. *et al.* 1968. Elementos trazas en suelos derivados de cenizas volcánicas. I. "Disponibilidad" de cinc, cobre, hierro y manganeso. Estudio comparativo de diversos métodos de extracción. Agr. Tec. 28(4):137–143.
- Schulz-Schomburgk, E. and Thisson-Remoro, L. 1966. El fósforo asimilable y su influencia sobre la asimilación de otros elementos en suelos y rocas fosfatados de Venezuela: Estudio realizado aplicando el método del *Aspergillus niger*. Rev. Fac. Agron. Univ. Cent. Venez. (Maracay) 4(1):26–56.
- Souto, S. M. e Dobereiner, J. 1969. Fixação de nitrogênio e estabelecimento de duas variedades de soja perene (*Glycine javanica* L.) com três níveis de fósforo e de cálcio, em solo com toxidez de manganês. Pesq. Agropec. Bras. 4:59–66.
- Souto, S. M. e Dobereiner, J. 1969. Toxidez de manganês em leguminosas forrageiras tropicais. Pesq. Agropec. Bras. 4:129–138.
- Trelles, R. A., Amato, F. D. and Catalano, E. 1951. Manganese en suelos y algunos perfiles de la República Argentina.
- Weir, C. C. 1966. Rapid chemical determination of iron, manganese, zinc and copper in citrus leaves. Tropical Agriculture 43:149.

ESTA OBRA SE TERMINO DE IMPRIMIR  
EL VEINTITRES DE ABRIL DE MIL NO-  
VECIENTOS SETENTA Y CUATRO, EN  
LA IMPRENTA DEL IICA/CIDIA.

SE HIZO UN TIRAJE DE  
2.000 EJEMPLARES