

**CATIE**  
**CENTRO AGRONÓMICO TROPICAL DE INVESTIGACION Y ENSEÑANZA**  
**Proyecto Centroamericano de Fertilidad de Suelos**

**ESTUDIOS DE INVERNADERO**

**Roberto Díaz-Romeu**  
**Washington Bejarano**

**Turrialba, Costa Rica**  
**Abril, 1978**

## ESTUDIOS DE INVERNADERO

R. Díaz-Romeu\*  
W. Bejarano\*\*

### 1. INTRODUCCION

Para poder diagnosticar con aceptable exactitud el estado de fertilidad de un suelo, en relación con los elementos nutritivos que afectan al crecimiento de las plantas, tomando en consideración, que ese estado de fertilidad depende de la disponibilidad de los elementos, en términos de un suministro adecuado o excesivo, para cubrir la necesidad de una especie o variedad de planta a fin de que ésta pueda manifestar todo su potencial genético de producción; se requiere llevar a cabo un estudio lo suficientemente cuidadoso tanto en laboratorio como en invernadero.

La disponibilidad de elementos nutritivos, está relacionado con las características físico-químicas del suelo, características de la planta y otros factores que también afectan el crecimiento como: temperatura, humedad, luz, control de plagas, etc.

Desde luego, el regimen de fertilidad del suelo es solo uno de los factores de crecimiento. Siendo este el caso, el primer problema en la fertilidad del suelo es el diagnóstico correcto del estado inicial de los elementos del suelo en un lugar específico y la determinación de las cantidades de materiales requeridas para llevar el nivel

---

\* M.S., Edafólogo. Director del Laboratorio de Suelos del CATIE

\*\* M.S., Consultor del Proyecto Centroamericano de Fertilidad de Suelos. Contrato CATIE/ROCAP.

de fertilidad hasta un nivel adecuado y balanceado que favorezca un buen crecimiento y rendimiento del cultivo.

La mejor prueba de la efectividad de cualquier técnica usada en el diagnóstico y corrección de los problemas de fertilidad de Suelos, es aquella que demuestra que su uso es capaz de eliminar la infertilidad del suelo como factor limitante en la obtención de abundantes cosechas.

En este caso, la técnica involucra el uso de ciertos procedimientos analíticos e interpretaciones para determinar el estado de los distintos elementos, a fin de corregir dicho estado y además para demostrar, mediante procedimientos usados en invernadero, la efectividad de la interpretación de los resultados analíticos y de las medidas correctivas.

En el uso de esta técnica, se debe reconocer que el crecimiento bajo condiciones de invernadero no es comparable con el crecimiento bajo condiciones de campo, pero puede ser correlacionado con el crecimiento en el campo, cuando otro factor que no sea el estado de fertilidad del suelo sea más limitante que la misma fertilidad. Debe reconocerse también, que esta técnica concierne a los requerimientos biológicos implicados en el buen desarrollo de las plantas y que no toma en consideración los factores económicos.

Esto quiere decir que los resultados obtenidos en el invernadero, deben ser usados como una guía en la planificación de experimentos de campo, que servirán para hacer interpretaciones económicas.

Además, a causa de las características dinámicas del suelo, cuando se le agrega algún material o elemento nutritivo, éste estará sujeto a

cambios físicos, químicos y biológicos debido al cambio en las reacciones que se llevan a cabo en su seno.

Por esta razón, es de esperar que su disponibilidad para la planta varíe debido no solo al elemento agregado, sino también a los elementos que ya se encontraban presentes. A este cambio o reactividad de los elementos se lo ha denominado "Sorción" o capacidad de fijación. } 30

Ya que la "Sorción" afecta la disponibilidad de los elementos para las plantas, es necesario que en este tipo de estudios de invernadero se disponga de los medios necesarios para determinar la capacidad de "fijación" de los suelos, para los principales elementos nutritivos.

De esta manera, en este estudio, la técnica de diagnóstico de los problemas de fertilidad, utiliza los siguientes pasos:

1. Análisis químico de la muestra de suelo
2. Estudios de "Sorción"
3. Demostración, mediante técnicas de invernadero, del rango en que los varios elementos deficientes limitan el crecimiento vegetativo.

## II ESTUDIOS DE INVERNADERO

A continuación se presentan los resultados de cinco de los varios experimentos de invernadero realizados durante la vigencia del Proyecto.

### 1. Suelo de la Serie Instituto

#### 1.1 Ubicación geográfica y material de origen

Se encuentra localizado en las partes planas del valle de Turrialba, provincia de Cartago en Costa Rica.

Se ha formado de sedimentos aluviales, derivados de rocas volcánicas del período cuaternario, de origen andesítico.

#### 1.2 Análisis químico

Los análisis químicos de todos los suelos, se realizaron utilizando la metodología de análisis del Proyecto Centroamericano de Fertilidad de Suelos.

Los resultados de los análisis químicos de este suelo, se presentan como un complemento de la Fig. 1.

Estos resultados indican que el suelo es de una fertilidad extremadamente baja, ya que presentan niveles muy bajos en el contenido de nitrógeno, fósforo, calcio, magnesio, azufre, manganeso, zinc y boro. El potasio aún cuando su contenido se encuentra arriba del nivel crítico, su resultado se halla en la zona considerada como marginal, abajo de la zona óptima.

Respecto a la acidez extractable, se puede observar que es alta, obviamente el porcentaje de saturación de acidez es muy alto, lo que indica que estos suelos requieren de la aplicación de cal para eliminar el problema del aluminio, a fin de que los cultivos produzcan bien.

Consecuentemente, con lo anterior el pH es muy bajo. La materia orgánica, hierro y cobre se encuentran dentro de los valores adecuados. La relación Ca/Mg es también adecuada, no así la de Mg/K que es muy baja, indicando que se debe aplicar magnesio para balancearla, máxime si se hace una aplicación de mantenimiento de potasio, como sería lo recomendable en este caso.

### 1.3 Curvas de Sorción

Para este suelo se determinaron las curvas de Sorción de fósforo, potasio, azufre, boro, cobre, manganeso y zinc. Prácticamente no se observó fijación de boro, cobre, manganeso y zinc. En cambio la retención de fósforo, potasio y azufre fue alta.

En el caso del fósforo para llegar al nivel óptimo de disponibilidad de este elemento (tres veces el nivel crítico), es necesario la adición de 140 ug/ml de fósforo, lo que teóricamente significaría la aplicación de 280 Kg/ha de este elemento. Se considera que la capacidad de fijación de fósforo de este suelo, se deriva de la presencia de altas cantidades de aluminio intercambiable y en solución que forma fosfatos de aluminio insolubles.

La curva de sorción del potasio indica que este suelo requiere 0.4 meq/100 ml de adición de este elemento, para llegar a 0.6 meq/100 ml que es el nivel óptimo. Cada 0.1 meq/100 ml significaría aproximadamente 78 Kg/ha. Es decir que este suelo teóricamente retiene en su complejo de intercambio alrededor de 280 Kg/ha de potasio.

La retención del azufre llega al nivel de 176 ug/ml (para que su disponibilidad sea óptima), esto se explica, por la posible presencia

de óxidos hidratados de aluminio que permiten la adsorción del azufre, fijación secundada por la existencia de arcillas tipo 1:1, predominante en este suelo, además del pH bajo y un porcentaje de 5.1 de materia orgánica.

#### 1.4 Experimento de invernadero

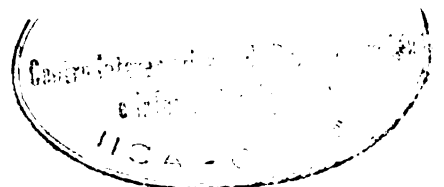
Los rendimientos porcentuales de materia seca obtenido en el experimento de invernadero realizado con este suelo (Fig. 1), indican lo siguiente:

Cuando se eliminó el nitrógeno (suelo muy deficiente) del tratamiento completo, se obtuvo un rendimiento de solamente el 37.5% en comparación con el tratamiento óptimo. La no adición de fósforo, potasio, cal, azufre, manganeso, zinc y boro en cada caso de tratamiento completo, dió como resultado rendimientos de 18.6%, 70.7%, 4.3%, 51.5%, 77.7%, 81.9% y 67.3%, respectivamente para estos nutrimentos, lo cual correlaciona con los resultados del análisis químico del suelo. Concluyendo, se puede indicar que los elementos, cuya deficiencia es mas marcada, en orden de efecto depresivo en el rendimiento, son de mayor a menor: la cal, el fósforo, el nitrógeno, azufre, boro, potasio, manganeso y zinc. El tratamiento testigo tuvo un rendimiento de 5.2%.

## 2. Suelo de la Serie Colorado

### 2.1 Ubicación geográfica y material de origen

Este suelo predomina en las colinas intermedias del valle de Turrialba, provincia de Cartago en Costa Rica, con topografías que oscila entre el 15 y 30%. Deriva de rocas volcánicas del período cuaternario, de origen andesítico.



## 2.2 Análisis químico

Los análisis químicos (Fig. 2), muestran que tiene deficiencias de nitrógeno, fósforo, potasio, azufre, calcio, magnesio y boro. En cambio los contenidos de hierro, cobre, manganeso y zinc, así como la materia orgánica y las relaciones Ca/Mg y Mg/K son adecuados. El pH de este suelo es muy bajo, debido a que la acidez extractable y el porcentaje de saturación de acidez son muy altas, por lo tanto, para poder obtener rendimientos adecuados de los cultivos en este suelo, hay que aplicar cal, además de corregir las deficiencias existentes de nutrimentos individuales.

## 2.3 Curvas de Sorción

De acuerdo a las curvas de sorción, no existe retención de los microelementos cobre, manganeso, boro y zinc en este suelo. La fijación del fósforo y del potasio son muy similares a la del suelo de la Serie Instituto. En cambio, la cantidad de azufre que adsorbe este suelo difiere del suelo anterior, por cuanto retiene solamente 65 ug/ml para llegar al nivel óptimo.

## 2.4 Experimento de invernadero

En la Fig. 2, se observa que los rendimientos de materia seca en el experimento de invernadero con el suelo colorado, fueron los siguientes, cuando no se aplicó: Nitrógeno 62.3%, fósforo 11.8%, potasio 48.5% cal 10.2% calcio 61.7%, magnesio 72.2%, azufre 65.0% y boro 50.1%.

En el caso del cobre y el zinc, cuyos resultados del análisis indican que se encuentran en un contenido adecuado, cuando se adicionó estos elementos, el rendimiento sufrió un descenso en comparación con



los tratamientos que no recibieron cobre y zinc.

Es importante para este suelo y el anterior de la Serie Instituto, dada su alta acidez extractable que conduce a una también alta saturación de acidez, indicar que es técnicamente notoria la necesidad de aplicar cal para neutralizar el efecto negativo acidificante el aluminio. La no aplicación de cal, es tan crítica, que apenas se obtienen rendimientos menores del 10% en ambos casos. El tratamiento testigo con un rendimiento de 6.1% fue ligeramente inferior al de sin cal.

### 3. Suelo del Campo 3. Cariari

#### 3.1 Ubicación geográfica y material de origen

Esta localizado en las áreas de topografía plana de la zona del atlántico, provincia de Limón, Costa Rica. Al igual que el suelo Instituto esta formado de sedimentos aluviales, derivados de rocas volcánicas del período cuaternario, de origen andesítico.

#### 3.2 Análisis químico

Los problemas principales que se encuentran (Fig. 3), en relación con las deficiencias de nutrimentos, son los bajos contenidos de nitrógeno, fósforo, azufre, manganeso, zinc, boro. El contenido de magnesio es ligeramente bajo, su resultado se encuentra en la zona marginal. El calcio, potasio, cobre y hierro presentan un contenido alto pero no excesivo.

El suelo es moderadamente ácido con un pH de 5.4 y no presenta problemas de acidez extractable, consecuentemente el porcentaje de saturación de acidez es bajo. La relación Ca/Mg tiene un valor adecuado, pero existe un desbalance Mg/K, lo cual indica que habrá que aplicar

magnesio, no solamente para suplir su deficiencia, sino para corregir el desbalance existente,

### 3.3 Curvas de sorción

No existe problemas de fijación de potasio, boro, cobre y zinc. La cantidad de fósforo que se requiere adicionar de este elemento al suelo, es de 80 ug/ml y de azufre es de 40 ug/ml, para llegar al contenido de tres veces el nivel crítico (óptimo). Es decir, que es un suelo mediamente fijador de fósforo y azufre. La situación del manganeso es muy peculiar, pues de acuerdo a la curva de sorción, es un suelo altamente fijador de este elemento, se llega al nivel óptimo con la aplicación de 80 ug/ml, cuando su requerimiento es solamente de 15 ug/ml. A pesar de que su contenido en el suelo es muy bajo (1 ug/ml) cuando no se añadió el elemento en la prueba de invernadero, se obtuvo un rendimiento de materia seca superior al del tratamiento completo. Esto hace pensar que es necesario estudiar con mayor detenimiento el status y comportamiento del manganeso en este suelo, a priori no es deficiente en manganeso.

### 3.4 Experimento de invernadero

Las principales deficiencias nutritivas de este suelo, detectadas en el laboratorio, fueron las de nitrógeno, fósforo y azufre. Estas deficiencias, se comprobaron claramente a nivel de invernadero (Fig. 3), pues los rendimientos en los tratamientos sin estos elementos, sufrieron un notable descenso en comparación con el tratamiento completo. Sin nitrógeno se obtuvo un 50.2% de rendimiento, sin fósforo 22.9% y sin azufre 44.6%. El testigo rindió 12.8%. La deficiencias de carácter secundario (Mn, Zn y B ) no fue posible determinarlas en el invernadero.

#### 4. Suelo de la zona de San Rafael Platanares

##### 4.1 Ubicación geográfica y material de origen

Es un suelo ubicado en las colinas de altura, altamente intemperizadas de las zona del Pacífico Sur, provincia de San José, Costa Rica. Se origina de rocas sedimentarias del período terciario.

##### 4.2 Análisis químico

Es un suelo (Fig. 4), con contenidos bajos de nitrógeno, fósforo, potasio, calcio, magnesio, azufre y zinc. En la zona marginal, por debajo del óptimo, están el manganeso y el boro. Tienen valores normales el hierro y el cobre.

El pH es bajo y la saturación de bases también es baja. Luego, para elevar el nivel de fertilidad de este suelo, es necesario aplicar cal. De las relaciones Ca/Mg y Mg/K, la primera esta en un valor normal, en cambio la segunda debe ser corregida con adiciones de potasio, ya que este elemento es deficiente.

##### 4.3 Curvas de Sorción

Es un suelo que no fija azufre, boro, cobre, manganeso y zinc, pero tiene un poder de retención de fósforo de 135 ug/ml para llegar al nivel óptimo de disponibilidad de este elemento. De igual manera es un suelo altamente fijador de potasio, pues requiere la adición de 220 ug/ml para obtener su nivel óptimo. En todo caso, habría que tomar muy en cuenta la provisión de potasio cuando se trate de recomendaciones de fertilizantes.

##### 4.4 Experimento de invernadero

Los análisis de este suelo, indicaron que el elemento más deficiente era el fósforo. En la prueba de invernadero (Fig. 4), se observó

que los tratamientos testigo (7.5%) y sin fósforo (7.8%), acusaron rendimientos similares muy bajos. El segundo lugar de deficiencias lo ocuparon el nitrógeno y el potasio, su omisión en el tratamiento dió como resultado rendimientos de 37.8% y 40.2% respectivamente. Ligeramente deficientes en esta prueba, se manifestaron el calcio, magnesio, azufre y el zinc.

## 5. Suelos de la zona de Nueva Guinea

### 5.1 Ubicación geográfica y material de origen

Se halla ubicado en el litoral Atlántico de la República de Nicaragua, en la provincia de Zelaya. Constituye una llanura aluvial derivada de sedimentos marinos.

### 5.2 Análisis químico

El nitrógeno y el fósforo son los dos nutrimentos mas críticos (Fig. 5), ya que su contenido es extremadamente bajo. El potasio, zinc y boro, aún cuando se encuentran arriba del nivel crítico, se consideran marginales, pues no llegan al nivel óptimo. Se observa que los contenidos de calcio, magnesio, azufre, hierro, manganeso, cobre y materia orgánica son adecuados.

Es un suelo con un pH (5.4) moderadamente ácido, luego, la acidez extractable y la saturación de acidez son bajas, por lo tanto, no presenta problemas de encalado.

La relación Ca/Mg, hay que corregirla, debido al alto contenido de magnesio en relación con el calcio, pero al hacer una aplicación de calcio no hay que descuidar el balance de la relación Ca+Mg/K.

### 5.3 Curvas de Sorción

El único problema crítico de fijación, es el del fósforo, ya hay que agregar alrededor de 150 ug/ml, para tener fósforo disponible en su estado óptimo. Teóricamente a nivel de campo se requeriría la aplicación de 300 Kg/ha de fósforo para que el suelo, produzca adecuadamente.

### 5.4 Experimento de invernadero

Los resultados del experimento realizado en el suelo de Nueva Guinea (Fig. 5), indican que hay una fuerte respuesta a la aplicación de nitrógeno y fósforo, que son los elementos mas deficientes. Pues, cuando se eliminaron estos nutrimentos del tratamiento completo se obtuvieron rendimientos de 36.2% y 8.1% en cada caso. Se observa que el más crítico de los dos es el fósforo, ya que el suelo tiene alta capacidad de fijación del elemento. El rendimiento del tratamiento sin fósforo (8.1%), es aun menor que el del testigo (10.4%).

También, en este experimento se observó que el zinc, ligeramente deficiente (marginal), cuando no se aplicó causó una depresión en el rendimiento, obteniendo el 72.5%.

FITO: 823-78  
Abril 27, 1978  
WB-RDR/mdem



Ubicación: CATIE - Turrialba

30 días

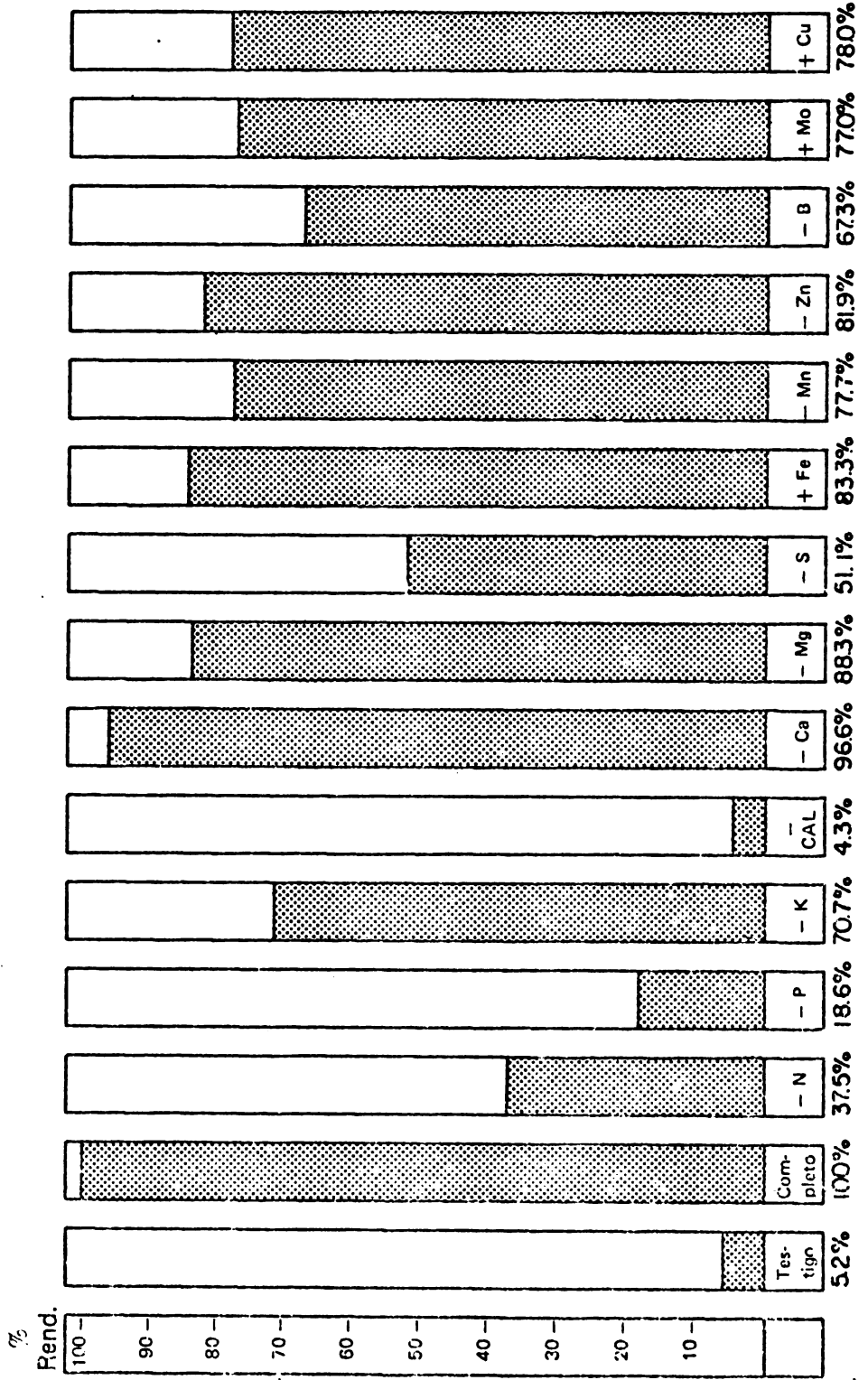
COSTA RICA

Suelo: INSTITUTO CLAY Valle Sedimentos aluviales

Clima: Derivados de rocas volcánicas del Cuaternario, de origen andesítico

**Análisis**

NITROGENO	30
FOSFORO	6.5
POTASIO	0.28
CAL	—
CALCIO	1.5
MAGNESIO	0.3
AZUFRE	4
HIERRO	78
MANGANESO	2
ZINC	1.8
MOLIBDENO	—
BORO	0.2
COBRE	6.5
PH	4.9
M.O.	5.1
ACIDEZ EXTR.	1.6
% SAT. ACIDEZ	47
RELACION Ca/Mg.	5
RELACION Mg/K	1.1





38 días

Ubicación: CATIE - Turrialba

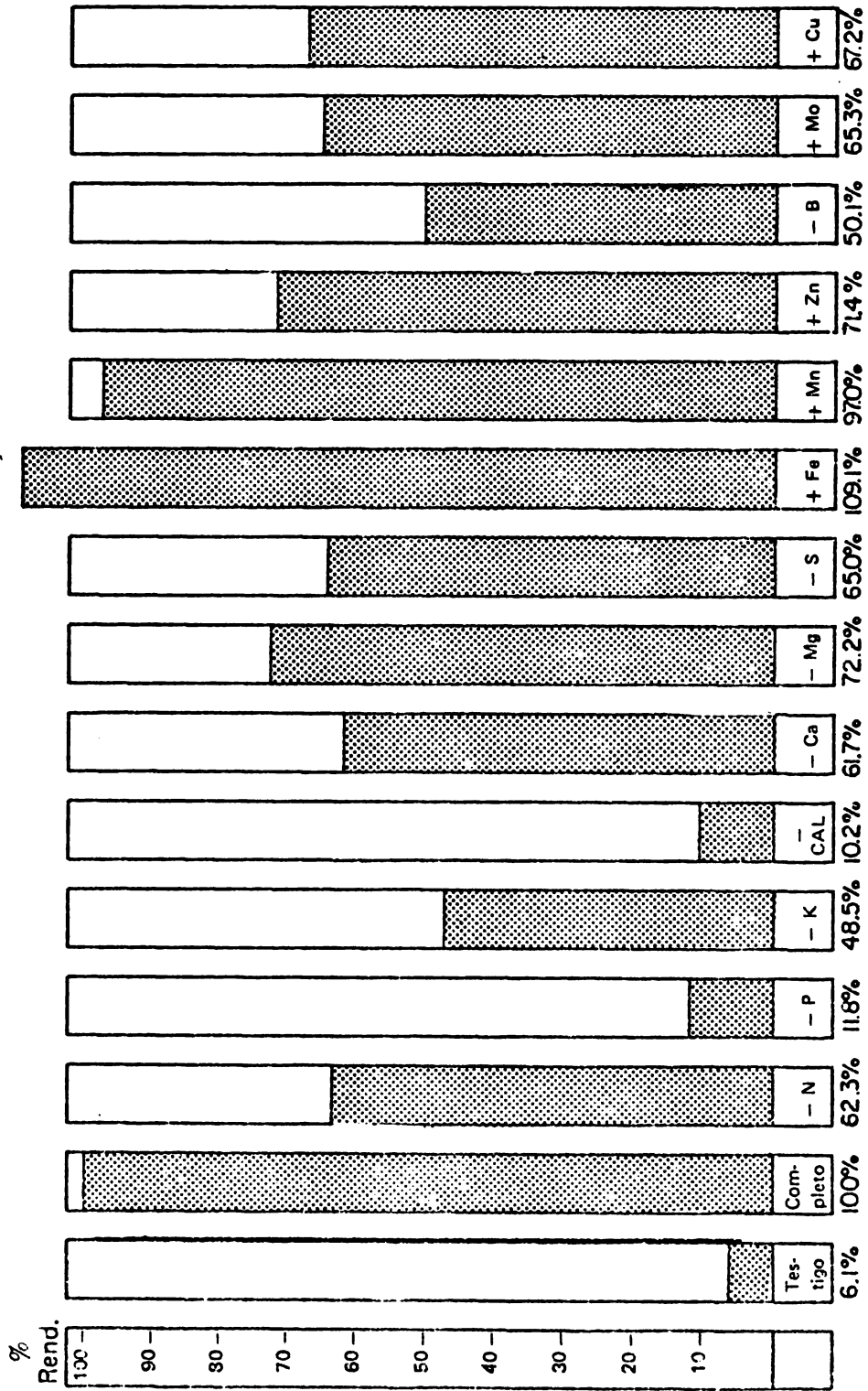
COSTA RICA

Suelo: COLORADO, COLINAS INTERMEDIAS, Suelos derivados

Clima: de rocas volcánicas del Cuaternario, de origen andesítico

Análisis

NITROGENO	15
FOSFORO	4
POTASIO	0.22
CAL	—
CALCIO	2.6
MAGNESIO	1.1
AZUFRE	11
HIERRO	279
MANGANESO	19
ZINC	6.5
MOLIBDENO	—
BORO	0.2
COBRE	19.9
pH	4.8
M.O	5.1
ACIDEZ EXTR.	2.1
% SAT. ACIDEZ	34.9
RELACION Ca/Mg	2.4
RELACION Mg/K	5



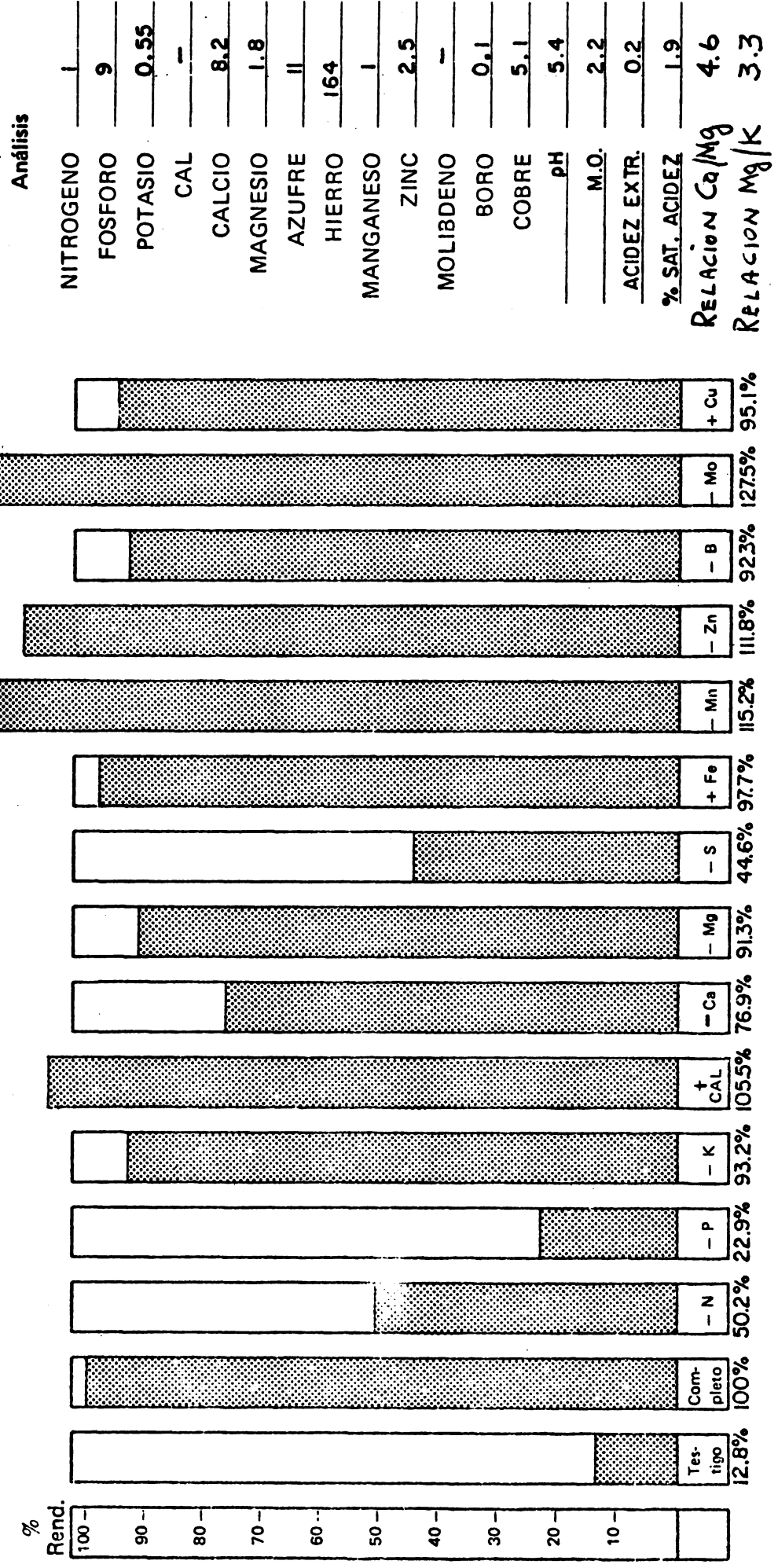
Ubicación: CARIARI, CAMPO 3

VERTIENTE ATLANTICA, COSTA RICA

Suelo: Sedimentos aluviales derivados de rocas

Clima: volcánicas del Cuaternario, de origen andesítico

31 días



Comentarios:





31 días

Ubicación: SAN RAFAEL PLATANARES

PACIFICO SUR, COSTA RICA

Suelo: Colinas de alturas medianas, altamente intemperizadas,

Clima: originado de rocas sedimentarias del Terciario

%  
Rend.



Análisis

NITROGENO	10
FOSFORO	3
POTASIO	0.13
CAL	—
CALCIO	1.5
MAGNESIO	0.47
AZUFRE	13
HIERRO	117
MANGANESO	9
ZINC	1.1
MOLIBDENO	—
BORO	0.3
COBRE	6.1
pH	4.7
M.O.	2.6
ACIDEZ EXTR	1.7
% SAT.ACIDEZ	44.7
RELACION Ca/Mg	3.2
RELACION Mg/K	3.6

Ubicación: NUEVA GUINEA

NICARAGUA

Suelo: Llanura aluvial formada sobre sedimentos marinos

Clima: \_\_\_\_\_

30 días

Análisis

NITROGENO	18
FOSFORO	3
POTASIO	0.34
CAL	-
CALCIO	6.6
MAGNESIO	3.6
AZUFRE	24
HIERRO	183
MANGANESO	31
ZINC	3.6
MOLIBDENO	-
BORO	0.35
COBRE	18.7
pH	5.4
M.O.	3.1
ACIDEZ EXTR.	0.2
% SAT. ACIDEZ	1.6
RELACION Ca/Mg	1.8
RELACION Mg/K	10.6

