

LOS SUELOS DEL PROYECTO ALCOA

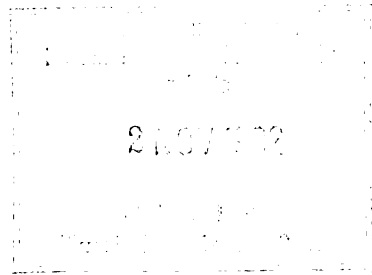
Parte I - Estudios de Campo y Laboratorio

Parte II - Estudios en Invernadero

**Rufo Bazán, Ph.D.
Edafólogo, Fertilidad de Suelos
Departamento de Cultivos y Suelos Tropicales
Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza
Turrialba, Costa Rica**

Diciembre de 1975

CONTENIDO



Pág.

RESUMEN	
INTRODUCCION	1
Parte I - ESTUDIOS DE CAMPO Y LABORATORIO	2
A. Estudios preliminares de campo	2
1. Características del área en estudio	2
- Localización	2
- Geología	2
- Topografía	2
- Clima	3
- Vegetación original	3
- Suelos	5
2. Muestreo de suelos	7
B. Estudios de laboratorio	8
1. Caracterización física	8
- Textura	8
- Punto de pegajosidad	8
- Índice de textura	8
- Porosidad del suelo y determinaciones de porosidad	9
2. Caracterización química	10
- Reacción (pH)	10
- Materia orgánica	10
- Nitrógeno total	10
- Fósforo disponible	10
- Bases de intercambio	10
- Aluminio intercambiable	10
- Azufre disponible	11
- Elementos menores	11
- Retención de fósforo	11
- Requerimiento de encalado	11
C. Resultados de los estudios de laboratorio	11
1. Caracterización física	11
- Textura e índice de textura	12
- Densidad aparente	14
- Densidad de partículas	16
- Espacio poroso total	16
- Espacio poroso capilar	16
- Espacio poroso no capilar	16

	<u>Pág.</u>
2. Caracterización química	19
- Sitio alterado	19
- Sitio no alterado	27
- Capacidad de retención de fósforo	27
- Requerimientos de encalado	29
Comentarios generales sobre las características físicas y químicas de los suelos estudiados	30
Parte II - ESTUDIOS EN INVERNADERO	31
Introducción	31
Materiales y métodos	32
Suelo	32
Subsuelo	32
Ensayo # 1 - Respuesta a elementos nutritivos	33
Ensayo # 2 - Respuesta al encalado	34
Resultados	36
Ensayo # 1 - Sitio alterado	36
- Suelo	36
- Subsuelo	36
Sitio no alterado	37
- Suelo	37
- Subsuelo	41
Ensayo # 2 - Efecto de encalado	41
Comentario general sobre los estudios de invernadero	43
APENDICE	44

---oooOooo---

LISTA DE CUADROS

N°		Pág.
1	Determinación de textura	12
2	Índice de textura	14
3	Valores de porosidad y contenido de agua y aire	15
4	Características de porosidad. Espacio poroso capilar y no capilar; agua y aire (% vol.)	17
5	Características químicas	20
6	Diseño de tratamientos - Ensayo # 1	33
7	Dosis de nutrimentos (Kg/Ha) y fuentes - Ensayo # 1	34
8	Diseño de tratamientos - Ensayo # 2	35
9	Dosis de nutrimentos (Kg/Ha) y fuentes - Ensayo # 2	35
10	Producción de biomasa (g/maceta) y rendimiento relativo (%) Sitio alterado - Ensayo # 1	37
11	Producción de biomasa (g/maceta) y rendimiento relativo (%) Sitio no alterado - Ensayo # 1	39
12	Producción de biomasa (g/maceta) y rendimiento relativo (%) Ensayo # 2	41

LISTA DE FIGURAS

1	Datos climáticos. Precipitación y temperatura	4
2	Perfiles de porosidad. Agua y aire en el suelo	13
3	Valores de pH	21
4	Determinaciones de materia orgánica y nitrógeno	22
5	Determinación de P disponible y Al intercambiable	23
6	Determinación de bases de intercambio	24
7	Elementos menores totales. Sitio alterado	25
8	Determinación de elementos menores totales. Sitio no alterado	26
9	Determinación de capacidad de retención de P	28
10	Producción de biomasa, materia seca (g/maceta) - Ensayo # 1 - Sitio alterado	38
11	Producción de biomasa, materia seca (g/maceta) - Ensayo # 1 - Sitio no alterado	40
12	Producción de biomasa, materia seca (g/maceta) - Ensayo # 2	42

RESUMEN

El presente informe contiene los resultados e información obtenida en las dos primeras etapas del estudio de los suelos del Proyecto ALCOA, localizado en San Isidro de Pérez Zeledón, Costa Rica.

En la primera parte se describen los aspectos de reconocimiento y muestreo de suelos, haciendo énfasis en: (a) los principales factores de formación de los suelos y características del área en estudio; (b) metodología seguida para la identificación de sitios y obtención de muestras de suelo para caracterización en laboratorio y estudios en invernadero.

Luego se describen los pasos seguidos en la caracterización de los suelos en laboratorio. Se presentan y discuten los resultados de textura, índice de textura y porosidad, entre los aspectos físicos y reacción (pH), materia orgánica, nitrógeno, fósforo y capacidad de retención de fósforo, azufre, aluminio intercambiable, bases de intercambio, elementos menores totales y requerimientos de encalado, entre las características químicas.

En la segunda parte del estudio se describen y presentan los resultados de invernadero con base en dos ensayos, considerando tanto la fracción suelo como el subsuelo de los sitios en estudio.

El primer ensayo es de tipo general, diseñado para averiguar la capacidad de respuesta de los suelos y subsuelos a la adición de fertilizantes. El segundo ensayo, diseñado con base en los resultados obtenidos en el ensayo anterior, muestra la respuesta de los suelos al encalamiento y adición de fertilizantes.

Finalmente, se hace un comentario general sobre las condiciones de fertilidad de los suelos en estudio, basado en los resultados y observaciones obtenidos en laboratorio e invernadero.

---oooOooo---

INTRODUCCION

A principios del año 1973, dos representantes de la Compañía ALCOA de Costa Rica, S.A., visitaron el CATIE, Turrialba, Costa Rica, con el propósito de solicitar asistencia técnica para estudiar el potencial agrícola de los suelos del denominado Proyecto ALCOA, localizado en la región de San Isidro de Pérez Zeledón, donde ALCOA había iniciado la explotación del material bauxita, bajo un convenio legal con el Gobierno de Costa Rica.* El proyecto inicial, objeto de dicho convenio, comprendía un área considerable, aproximadamente 200 Km². Tomando en consideración este hecho, además de la importancia de conocer el potencial de uso agrícola y capacidad de rehabilitación de las áreas explotadas y por explotar, sobre los cuales no existen estudios similares realizados en Costa Rica, la Dirección del CATIE decidió, bajo un convenio, proporcionar a ALCOA la asistencia técnica solicitada a partir de junio de 1973.

La realización de los estudios fue delegada al Departamento de Cultivos y Suelos Tropicales y, específicamente, a la Sección de Fertilidad de Suelos.

Los estudios se iniciaron en junio de 1973 bajo un plan que consideraba los siguientes aspectos:

Parte I ESTUDIOS DE CAMPO Y LABORATORIO

- A. Estudios preliminares de campo
 - 1. Características del área en estudio
 - 2. Muestreo de suelos
- B. Estudios de laboratorio
 - 1. Caracterización física
 - 2. Caracterización química

Parte II ESTUDIOS DE INVERNADERO

Parte III ESTUDIOS DE INVESTIGACION EN CAMPO

* A la época de presentación de este informe, el convenio entre el Gobierno de Costa Rica y ALCOA de Costa Rica, S.A., ya no se encuentra vigente.

El convenio inicial CATIE/ALCOA comprendía solamente los estudios de las partes I y II, mientras que los estudios de la parte III fueron objeto de una extensión del convenio original, a partir de junio de 1974.

El presente informe se referirá a los resultados e información obtenidos en los estudios de las partes I y II. Un segundo informe cubrirá los aspectos de la parte III.

Parte I. ESTUDIOS DE CAMPO Y LABORATORIO

A. Estudios Preliminares de Campo

1. Características del área en estudio

Localización

El Proyecto ALCOA, tal como se conocerá en el presente informe, el área donde se realizaron los estudios, se encuentra localizado en la región del Pacífico Sur de Costa Rica, aproximadamente a 5 Km al sudeste de la población de San Isidro de Pérez Zeledón y a aproximadamente una altitud de 700 metros sobre el nivel del mar (2100 pies). La localidad de San Isidro pertenece al Cantón de Pérez Zeledón y a la Provincia de San José.

San Isidro se encuentra comunicada con San José, la capital del país, mediante la Carretera Interamericana. A su vez, el Proyecto ALCOA se encuentra comunicado con la localidad de San Isidro por un camino estable, que permite su acceso con vehículos motorizados en cualquier época del año.

Geología

De acuerdo con el mapa geológico de América Central, la roca madre que dio origen a los suelos del Proyecto ALCOA es de tipo ígneo y sedimentario de la Era del Cretáceo, derivada principalmente de materiales ígneos y piroclásticos, comprendiendo las rocas granito, diorita y granodiorita.

Topografía

La topografía del terreno donde se encuentra comprendida el área en estudio es ondulante, conformando un panorama muy característico. Sin duda alguna, el relieve del terreno ha jugado un papel de importancia en la formación de la bauxita, que es el mineral objeto de la explotación que está proyectada a efectuarse en esta área. La extracción de la bauxita se efectúa de las partes elevadas de las ondulaciones del terreno, donde

el drenaje de los suelos es libre, mientras que las depresiones o partes bajas, cubiertas por ciénagas o atravesadas por riachuelos, no son consideradas como áreas "explotables", ya que las condiciones de excesiva humedad y anegamiento no son adecuadas para la formación de la bauxita.

Clima

De acuerdo con datos meteorológicos de 13 años (1962-1974), obtenidos de los registros del Servicio Meteorológico Nacional, San José, Costa Rica, el clima del área es caliente y casi continuamente húmedo, con presencia de 3 a 4 meses secos (diciembre a marzo). La precipitación media anual es de aproximadamente 3228 mm y la temperatura media anual es de 24°C, cuya distribución durante el año se observa en los datos contenidos en la :Figura 1.

Vegetación original

De acuerdo con el mapa ecológico de Costa Rica, elaborado por Holdridge, el tipo de vegetación original que cubrió el área de referencia fue de tipo Bosque Tropical Húmedo y Bosque Subtropical Muy Húmedo, caracterizado por el predominio de una alta precipitación pluvial (>2500 mm/año) pero con diferentes rangos de temperatura, los cuales fluctúan entre 20 y 24°C en el primer caso y de 24 a 28°C en el segundo. En cualquier condición, es característica la ocurrencia de un período seco de 3 a 4 meses de duración.

Al presente prevalece en el área vegetación de tipo secundario y terciario, con predominio de helechos (*Gleichenia spp?*), característica de suelos con alta concentración de aluminio. Otras especies notorias son zacate jaragua (*H. ruffa*) y algunas brachiarias. Entre la vegetación del bosque secundario se observan: danto (*Saccoglottis amasnicca*), fruta dorada (*Virola spp*), indio desnudo (*Bursera simaruba*), lagarto (*Zanthoxylum spp*), ojoche (*Brasimum costarricense*), mano de león (*Diclycnopanax morototoni*), aceituno (*Simaruba amara*), laurel (*Cordia alliodora*), y chancho (*Voctysia hondurensis*). No se encuentran cultivos en el área y, según los campesinos del lugar, "en esos suelos no crece nada". En áreas vecinas se observan pequeñas siembras de caña de azúcar en condiciones muy pobres de crecimiento a juzgar por la coloración pálida (clorótica) y tamaño pequeño de las plantas; piña, también en condición anormal, con marcada deficiencia de fósforo; y café, cuyo rendimiento debe ser muy bajo, a juzgar por el aspecto de las plantas.

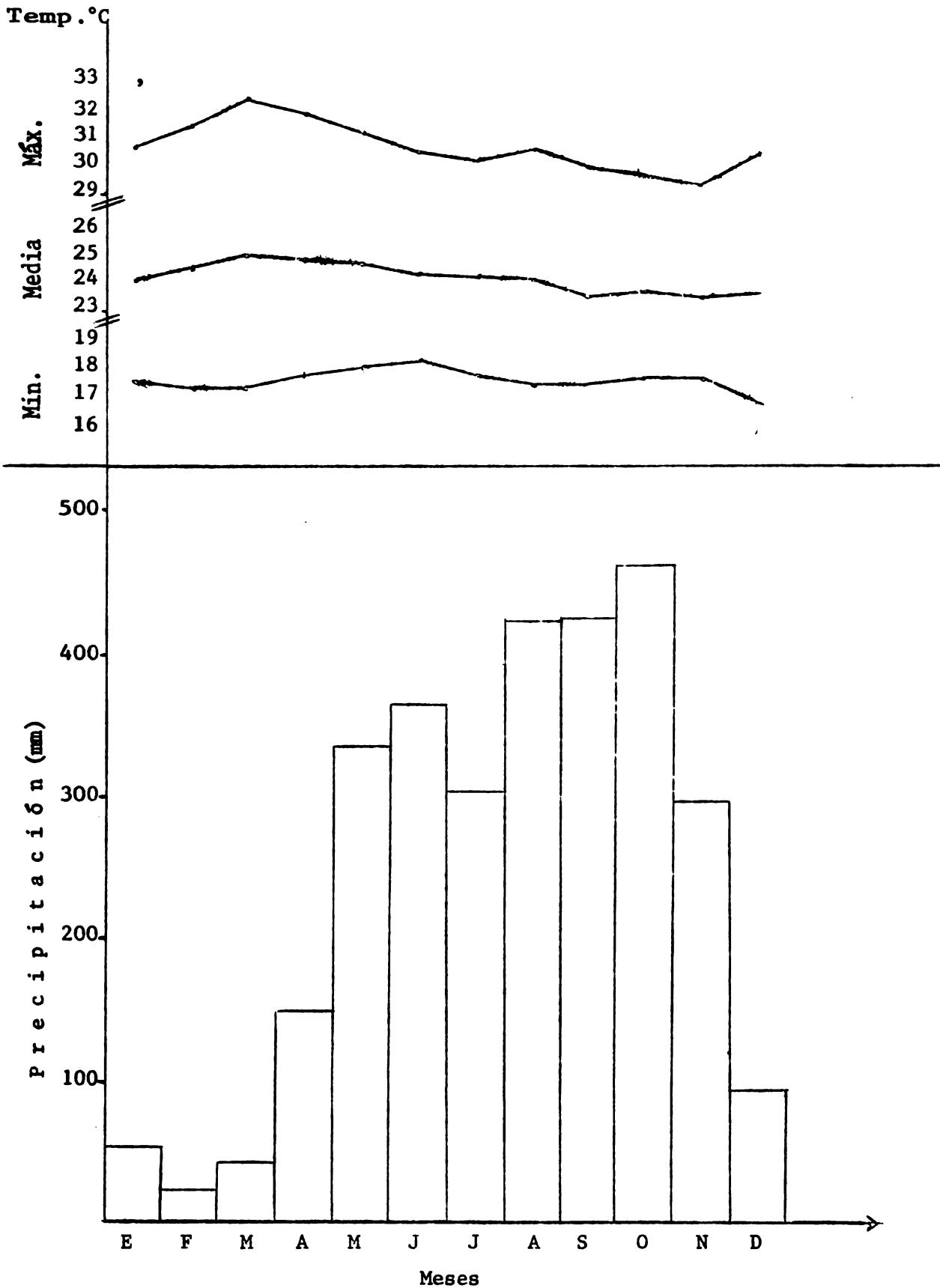


Fig. 1. Datos climáticos.
 Precipitación, promedio de 13 años (1962-1974)
 Temperatura, promedio de 12 años (1962-1973)

Suelos

Los suelos del Proyecto ALCOA pueden ser considerados como latosoles típicos. En efecto, las condiciones climáticas reinantes, de elevada precipitación, que seguramente excede a la evapotranspiración potencial en gran parte del año, y las altas temperaturas, son apropiadas para una rápida meteorización de la roca madre y consecuente liberación y lixiviación de los elementos nutritivos contenidos en los minerales formadores de la roca madre, dando como producto final remanente en el suelo, la gibbsita o bauxita. Este proceso, que da formación a la bauxita, debe ser predominante en las partes elevadas de las ondulaciones del terreno, en presencia de condiciones favorables de drenaje libre, lo cual no se espera que ocurra en las depresiones o partes bajas, donde predominan condiciones de anegamiento durante la mayor parte del año.

El área seleccionada para el presente estudio muestra dos características diferentes:

- a. El sitio "alterado", de aproximadamente 1 1/2 hectáreas de tamaño, ausente de vegetación; y
- b. El sitio "no alterado", de condiciones naturales tanto de formación como de cubierta vegetal.

Sitio alterado

El sitio alterado ocupa un terreno de dimensiones 280 x 175 x 70 m, de forma casi trapezoidal, de topografía plana y que muestra una diferencia de altura con referencia al resto del terreno, de aproximadamente 4 m, producto de la extracción de subsuelo ya practicada, como se explica a continuación. Un hecho llamativo y de gran consideración es la ausencia absoluta de vegetación de cualquier índole en este sitio.

De acuerdo con los expertos de ALCOA, el sitio alterado -- tal como se mencionó en el párrafo anterior -- es el producto de la extracción de subsuelo rico en bauxita, ya iniciada en el año 1972. El material (subsuelo) extraído fue de aproximadamente 30.000 toneladas, que fueron acumuladas en un lugar adyacente al sitio explotado, esperando su subsecuente procesamiento industrial. El procedimiento seguido en la extracción del material rico en bauxita fue el siguiente:

- Paso 1 Remoción, con maquinaria pesada, de la parte superior del suelo y subsuelo (de 1.5 a 2 m de profundidad).
- Paso 2 Traslado y acumulación del material extraído, a un lugar adyacente.
- Paso 3 Extracción, con maquinaria pesada, de la siguiente capa de subsuelo, de aproximadamente 2 a 2.5 m de espesor, rico en bauxita. Este material constituye la materia prima para la extracción de aluminio, el cual fue acumulado en un lugar adyacente para su eventual procesamiento industrial.
- Paso 4 Retorno del material constituyente de la parte superior de suelo y subsuelo, descartada en el Paso 1, y distribución con maquinaria pesada sobre la nueva superficie de subsuelo dejada luego de la extracción del material (subsuelo) rico en bauxita, indicado en el Paso 3.
- Paso 5 Nivelación, con maquinaria, del nuevo terreno reconstruido (Paso 4).

De los pasos que sigue la extracción de la bauxita, pueden deducirse los siguientes puntos:

- 1) El suelo reconstruido (Paso 4) en sí constituye una mezcla del suelo original y parte del subsuelo, que son descartados (Paso 1) por no reunir las condiciones adecuadas para el procesamiento industrial. De manera que la nueva "capa arable" debe poseer cualidades químicas intermedias o "promediadas" del suelo y subsuelo originales.
- 2) El intenso movimiento de maquinaria pesada utilizada en todo el proceso debe, sin duda alguna, causar aumentos en la compactación de las superficies afectadas. Por consiguiente, el "suelo reconstruido" deberá presentar valores de densidad aparente mayores a los del "suelo" original, indicativos a su vez de un mayor grado de compactación.

Sitio no alterado

Comprende un sitio adyacente al "sitio alterado", que guarda condiciones naturales de formación y de vegetación, cuya escogencia obedece a la necesidad de realizar un estudio comparativo entre las características

físicas, químicas y de uso agrícola actual y potencial de los suelos de ambas áreas. De esta manera se podrá determinar las condiciones y aptitud general actual del suelo "original" y de aquel suelo "futuro" producto de lo que permanece luego de realizada la extracción de la bauxita.

2. Muestreo de suelos

El muestreo de suelos se realizó en perfiles excavados uno en cada sitio seleccionado para el estudio. El perfil N° 1 fue abierto en la parte central del sitio alterado, mientras que el perfil N° 2 fue preparado en el sitio no alterado, adyacente al sitio anterior. Para la apertura del perfil N° 2 fue necesario previamente eliminar la vegetación ahí existente, formada de pequeños árboles, arbustos y zacates. Las dimensiones de los perfiles fueron 1 x 1 x 1 m.

En cada perfil se tomaron muestras para caracterización física y química, correspondiendo a las profundidades de 7.5, 15, 30, 60 y 90 cm. Al mismo tiempo se hicieron observaciones de cada horizonte, respecto al color, textura al tacto, estructura, consistencia, presencia o ausencia de raíces y otros que pudieran ser relevantes. Las muestras de suelo fueron debidamente identificadas y luego transportadas al CATIE, donde fueron secadas al aire, molidas y pasadas por tamiz de 2 mm antes de ser sometidas a los análisis respectivos.

Antes del muestreo, una pared del perfil fue limpiada con un palín de superficie lisa y plana. El muestreo propiamente dicho fue hecho con un palín pequeño de borde cortante y una tabla de plywood de 45 x 30 cm, donde se recibía el suelo extraído de cada horizonte y de ahí se transfería a bolsas plásticas debidamente identificadas.

Para determinaciones de porosidad de los suelos se tomaron, en cada horizonte, muestras de volumen constante mediante cilindros de bronce, cuya capacidad era de 114 cc. Uno de los extremos de estos cilindros es de borde cortante, para facilitar su penetración en el suelo.

Estas muestras, en número de 10 por perfil (2 en cada horizonte) fueron transferidas a bolsas plásticas, luego identificadas y transportadas al CATIE, donde fueron secadas en estufa a 105°C por 24 horas. Una vez enfriadas fueron pasadas por tamiz de 2 mm y guardadas para determinaciones de densidad de partículas. En estas muestras se tomaron datos de peso fresco (suelo húmedo) y peso seco (suelo seco en estufa) para cálculos de porosidad y contenido de humedad.

La descripción respectiva de los dos perfiles muestreados se presenta en el Apéndice.

B. Estudios de Laboratorio

1. Caracterización física

Textura

La determinación de arena, limo y arcilla fue hecha por el método de Bouyoucos modificado por Hardy y Bazán, utilizando 50 g de suelo seco al aire y la adición de 20 cc de solución dispersora (solución de 0.5 M de carbonato de sodio y silicato de sodio). La suspensión fue agitada por 20 minutos utilizando el agitador de rutina. Luego de agitada, la suspensión fue transferida del vaso de agitación a un cilindro de vidrio adecuado, llevando a la marca respectiva con agua destilada. La lectura del hidrómetro para determinación de arena fue hecha a los 40 segundos después que el cilindro que contenía la suspensión es dejado en reposo, luego de haberlo agitado invirtiéndolo varias veces con ayuda de un tapón de hule para evitar salida de la suspensión. La lectura del hidrómetro para la determinación de arcilla fue hecha luego de 2 horas de reposo del cilindro después de ser agitado nuevamente, siguiendo el procedimiento antes indicado. El porcentaje de limo fue calculado sumando los porcentajes de arena y arcilla y restando de 100. Toda lectura del hidrómetro fue corregida por temperatura, según las indicaciones de rutina.

Punto de pegajosidad (Sticky point)

Este valor fue considerado como equivalente del contenido de humedad a una tensión de 0.3 bares que, a su vez, coincide aproximadamente con la "capacidad de campo" del suelo.

Índice de textura

Esta determinación proporciona una medida aproximada de la cantidad de humedad que puede ser retenida en la estructura microrreticular de los componentes coloidales de los suelos, o sea del "espacio poroso capilar", expresado en porcentaje en volumen. Su determinación requiere de otros dos valores que son el punto de pegajosidad (P) y el porcentaje de arena (S). Con estos valores el cálculo de índice de textura se efectúa con la siguiente fórmula:

$$\text{Índice de textura} = P - \frac{1}{5} S$$

Porosidad del suelo y determinaciones de porosidad

La porosidad del suelo se define como el porcentaje del volumen de suelo que no está ocupado por suelo sólido. En un suelo libre de agua, el espacio poroso está totalmente ocupado por aire. Los poros en un suelo húmedo se encuentran ocupados por agua y aire. La mayoría de las determinaciones de porosidad del suelo están basadas en determinaciones de la densidad aparente del suelo a cierto contenido de humedad y de la densidad de partículas del suelo. La primera se efectuó con muestras de suelo de volumen constante según se describió anteriormente y mediante la siguiente fórmula:

$$\text{Densidad aparente (g/cc)} = \frac{\text{Suelo seco (g)}}{\text{Volumen del cilindro (cc)}}$$

La densidad de partículas se determinó por el método del picnómetro de aire Beckman, modelo 930.

Finalmente, el espacio poroso total (volumen %) fue calculado así:

$$\text{Espacio poroso total (vol. \%)} = \frac{\text{Densidad de partículas} - \text{Densidad aparente}}{\text{Densidad de partículas}} \times 100$$

El espacio poroso total proporciona el % en volumen del espacio poroso, pero no identifica el tamaño de poros. El espacio poroso capilar fue estimado a partir del valor del Índice de Textura, de la siguiente manera:

$$\text{Espacio poroso capilar} = \text{Índice de textura} \times \text{Densidad aparente}$$

La porosidad capilar es la suma de los volúmenes de los poros pequeños o capilares, que retienen el agua por capilaridad y son responsables de la capacidad de retención del agua por el suelo. El espacio poroso no capilar fue calculado sustrayendo el valor de espacio poroso capilar del espacio poroso total. El espacio poroso no capilar es la suma del volumen de los macroporos, que no retienen agua por capilaridad; normalmente contienen aire y son responsables de la capacidad de aeración y de percolación del agua a través del suelo. La proporción relativa de poros capilares y no capilares proporciona una medida de propiedades estructurales del suelo. Un suelo ideal debe tener el espacio poroso total equitativamente dividido entre macro y microporos; un suelo en estas condiciones tendrá suficiente aeración, permeabilidad y capacidad de retención de agua para satisfacer las necesidades de la mayoría de los cultivos.

Las características de porosidad (total, capilar y no capilar) se registran en por ciento en volumen. Las determinaciones se efectuaron por duplicado en cada muestra de suelo. El contenido de humedad total, al momento del muestreo, se dividió en aquella contenida en la porosidad capilar y no capilar. La diferencia entre el espacio poroso total y el volumen de agua en el espacio poroso no capilar estima el volumen de aire en el suelo en el momento del muestreo. Este volumen de aire, de acuerdo con la literatura, debe ser por lo menos igual al 10% del volumen total del suelo para una adecuada aeración necesaria para la respiración de las raíces de la mayoría de las plantas.

2. Caracterización química

Los análisis químicos efectuados en las muestras obtenidas en cada perfil, fueron los siguientes:

Reacción (pH)

Se determinaron la acidez activa y potencial con un potenciómetro Beckman, en suspensión en agua, en la relación 1:1 y en solución 0.01 N KCl, en la relación 1:1.

Materia orgánica

Se siguió el método de Walkley y Black.

Nitrógeno total

Mediante el método del micro-Kjeldhal.

Fósforo disponible

Con el método de Olsen utilizando solución de NaHCO_3 0.5 N y pH 8.5. El P se determinó colorimétricamente con un espectrofotómetro Coleman y las lecturas se hicieron en una banda de 650μ .

Bases de intercambio

La extracción de bases se efectuó con una solución neutra de NH_4OAC y las lecturas se hicieron en la unidad de absorción atómica Perkin Elmer, modelo 303.

Aluminio intercambiable

Se siguió el método de Carolina del Norte, utilizando solución de KCl como solución extractora.

Azufre disponible

Se determinó colorimétricamente, previa extracción en solución mezcla de $\text{CaH}_4(\text{PO}_4)_2 \cdot \text{H}_2\text{O} + \text{HOAc} - 2 \text{ N.}$

Elementos menores

La extracción fue hecha con la mezcla nítrico-perclórica y las lecturas se hicieron en la unidad de absorción atómica Perkin Elmer, modelo 303.

Retención de fósforo

Se determinó la capacidad de retención de P siguiendo el método de la Universidad de Carolina del Norte, incubando por 4 días el suelo con soluciones de concentración conocida de fósforo y luego se determinó el P disponible en las muestras por el método de Olsen antes indicado. Con los valores determinados se construyeron las curvas respectivas para identificar los valores críticos de P.

Requerimiento de encalado

Tomando en cuenta la alta concentración de aluminio intercambiable, especialmente en la capa superior (15 cm) se determinaron los requisitos de encalado siguiendo el método de Kamprath.* Este método considera la cantidad de cal a recomendarse con base en la acidez intercambiable extraída con una solución salina neutra "no-tamponada". Se supone que la acidez intercambiable en suelos minerales (en áreas tropicales) está en su mayoría constituida por aluminio intercambiable.

C. Resultados de los Estudios de Laboratorio1. Caracterización física

Los datos obtenidos en la determinación de textura, índice de textura, densidad aparente, densidad de partículas y porosidad, se presentan en los Cuadros 1, 2, 3 y 4.

* KAMPRATH, E. J. 1970. Exchangeable aluminum as a criterion for leached soils. SSSAP 34:252-254.

Los valores calculados para espacio poroso capilar y no capilar y las cantidades de agua y aire en el momento del muestreo se representan gráficamente en la Figura 2.

Textura e índice de textura (Cuadros 1 y 2)

Los suelos del sitio alterado se clasifican como arcillosos. El contenido de arcilla aumenta considerablemente a profundidad mayor de 30 cm, mientras que el contenido de arena disminuye proporcionalmente.

Los valores de índice de textura son también altos e indicativos de suelos con alto contenido de material fino (limo y arcilla), cualidad que a su vez indica que son suelos con una alta capacidad de retención de agua.

Los suelos del sitio no alterado son similares a los anteriores, excepto en la capa superficial donde el contenido de arena es considerablemente mayor, caracterizando al suelo como franco-arenoso. A la profundidad de 15 cm el suelo se torna marcadamente arcilloso. Los valores de índice de textura son menores que para los suelos del sitio alterado, especialmente en los primeros 15 cm de profundidad, debido indudablemente al contenido de arena presente; luego los valores aumentan con la profundidad del perfil.

Cuadro 1. Determinación de textura

Profundidad cm	Arena	Limo %	Arcilla	Textura
<u>Sitio alterado</u>				
7.5	44.5	15.4	40.1	Arcilla
15	45.7	11.1	43.2	Arcilla
30	17.2	7.4	75.2	Arcilla
60	15.8	8.6	75.6	Arcilla
90	20.7	8.4	70.9	Arcilla
<u>Sitio no alterado</u>				
7.5	72.5	12.6	14.9	Franco-Arenosa
15	39.4	17.3	43.3	Arcilla
30	24.2	7.4	68.4	Arcilla
60	21.3	4.7	74.0	Arcilla
90	16.3	4.7	77.2	Arcilla

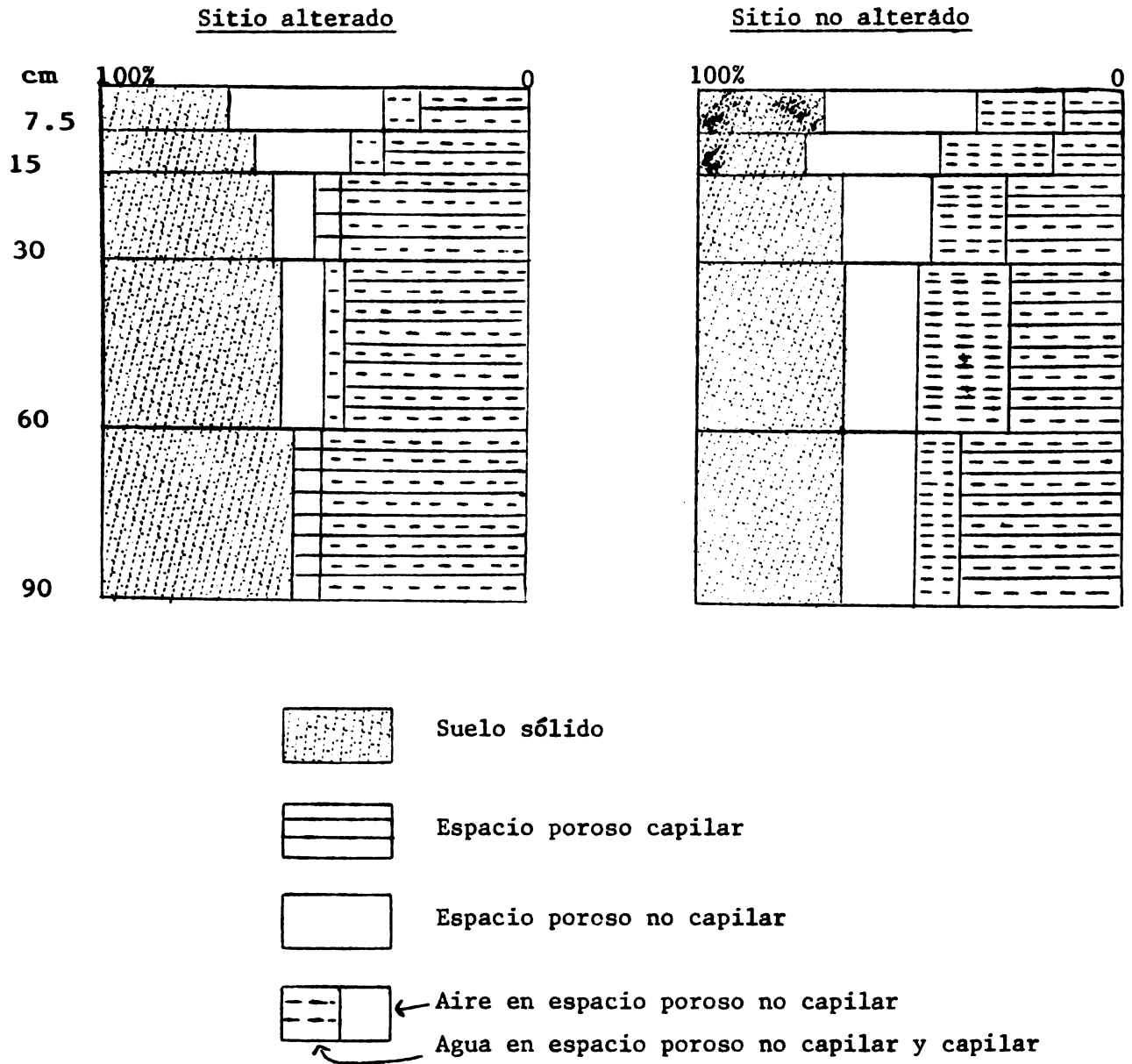


Fig. 2. Perfiles de porosidad. Agua y aire en el suelo.

Cuadro 2. Índice de textura

Profundidad cm	Punto de pegajosidad %	Arena %	Índice de textura
<u>Sitio alterado</u>			
7.5	43.7	44.5	35
15	45.3	45.7	36
30	50.4	17.2	47
60	41.7	15.8	38
90	52.2	20.7	48
<u>Sitio no alterado</u>			
7.5	33.7	72.5	19
15	33.3	39.4	25
30	34.6	24.2	30
60	33.5	21.3	29
90	39.0	16.3	39

Índice de textura: 0-10 = Arena gruesa
 10-20 = Arena media y fina
 20-30 = Franco
 30-40 = Limo
 40-60 = Arcilla

Densidad aparente (Cuadro 3)

Los valores de densidad aparente de los suelos en los diferentes horizontes del perfil pueden ser indicativos de la capacidad de penetración de las raíces de las plantas.

En general, los valores encontrados para los suelos del sitio alterado son más altos que los del sitio no alterado, sea por las diferencias en textura, pero principalmente por el grado de compactación que aumenta con la profundidad. Sin embargo, en ninguno de los suelos los valores se aproximan a los valores críticos de 1.46 a 1.63, característicos de suelos arcillosos y, por consiguiente, estos suelos posiblemente no ofrecen un impedimento mecánico severo a la penetración de las raíces de las plantas, por lo menos hasta la profundidad estudiada.

Cuadro 3. Valores de porosidad y contenido de agua y aire (volumen del cilindro 114 cc)

Profundidad cm	Peso (g)			Densidad aparente	Dens. de partículas	Volumen (%)				
	Peso húmedo (g)	Peso seco (g)	Peso agua dif. (g)			Esp. poroso total (%)	Suelo seco (%)	Agua (%)	Aire (%)	
	<u>Sitio alterado</u>									
7.5	121.1	83.0	38.15	.73	2.52	71	29	33	38	
15.0	150.8	103.7	47.10	.91	2.56	64	36	41	23	
30.0	172.3	122.5	49.80	1.07	2.67	60	40	44	16	
60.0	183.0	128.4	54.60	1.12	2.66	58	42	48	10	
90.0	193.3	137.9	55.45	1.21	2.68	55	45	49	6	
	<u>Sitio no alterado</u>									
7.5	109.1	71.4	37.6	.67	2.35	71	29	33	38	
15.0	123.1	74.6	48.5	.65	2.55	75	25	42	33	
30.0	153.0	102.6	50.4	.90	2.65	66	34	44	22	
60.0	159.1	105.4	53.7	.92	2.65	65	35	47	18	
90.0	169.9	116.8	53.1	1.03	2.95	65	35	47	18	

Densidad de partículas (Cuadro 3)

Los valores de densidad de partículas en el sitio alterado varían entre 2.52 y 2.68, mientras que en el sitio no alterado varían entre 2.35 y 2.95, indicando la posibilidad de existencia de materiales más densos (pesados) en los horizontes inferiores, en comparación con los existentes en los primeros 15 cm. No se efectuaron análisis mineralógicos que pudieran comprobar estas observaciones.

Espacio poroso total (Cuadro 4)

Suponiendo que un suelo ideal tiene un espacio poroso total de 66% en volumen, el suelo del sitio no alterado presenta valores cercanos o mayores al indicado, así como el horizonte superficial (7.5 cm) del suelo alterado, donde los valores disminuyen con la profundidad del perfil.

Espacio poroso capilar (Cuadro 4)

Los valores de espacio poroso capilar son mayores en el suelo del sitio alterado y varían entre 25.5 y 58.1%, aumentando con la profundidad del perfil. Esto indicaría que la capacidad de almacenamiento y retención de agua (% en volumen) sería considerablemente mayor en los suelos del sitio alterado, respaldando así las suposiciones hechas con base en su alto contenido de arcilla.

Espacio poroso no capilar (Cuadro 4)

Los valores de espacio poroso no capilar son considerablemente mayores en el suelo del sitio no alterado. En ambos suelos los valores son mayores en la parte superficial y disminuyen con la profundidad del perfil proporcionalmente a los aumentos del contenido de arcilla. Las variaciones son más fuertes y críticas en el suelo del sitio alterado, especialmente por debajo de los 30 cm de profundidad y mucho más a los 60 cm de profundidad.

Como los valores de espacio poroso no capilar indican no solamente el espacio radical en los sucesivos horizontes del perfil, sino también las posibles dimensiones de los poros por los que se mueve libremente el agua de drenaje y el máximo grado de aeración en el suelo bien drenado, es evidente que el suelo del sitio alterado, excepto los primeros 15 cm de profundidad, parece tener condiciones críticas con relación a movimiento vertical del agua y a su grado de aeración.

Cuadro 4. Características de porosidad: Espacio poroso capilar y no capilar; agua y aire (% vol.)

Profundidad cm	Constantes de porosidad				Al momento del muestreo			
	Esp. poroso total % vol.	Esp. poroso capilar % vol.	Esp. poroso no capilar % vol.	Esp. poroso no capilar % vol.	Agua total % vol.	Agua en esp. por. no cap. % vol.	Aire en esp. por. no cap. % vol.	Aire en esp. por. no cap. % vol.
7.5	71	25.5	45.5	33	7.5	38.0		
15.0	64	32.8	31.2	41	8.2	23.0		
30.0	60	50.3	9.7	44	-	9.7		
60.0	58	43.2	14.8	48	4.8	10.0		
90.0	55	58.1	-	49	-	-		
<u>Sitio alterado</u>								
7.5	71	12.9	58.1	33	20.1	38.0		
15.0	75	16.5	58.5	42	25.5	33.0		
30.0	66	27.0	39.0	44	17.0	22.0		
60.0	65	26.9	38.9	47	20.1	18.8		
90.0	65	36.8	28.2	47	10.2	18.0		
<u>Sitio no alterado</u>								

Por el contrario, las condiciones del suelo en el sitio no alterado son muy diferentes al anterior y se observa que en toda la profundidad del perfil su capacidad de aeración y de drenaje parecen muy adecuados para el desarrollo de cultivos.

Estas características de porosidad se presentan esquemáticamente en los respectivos perfiles en la Figura 2. El área sombreada a la derecha del diagrama presenta el espacio poroso capilar y en cada perfil su magnitud aumenta con la profundidad, siendo mayor en el suelo del sitio alterado. Las dimensiones del espacio poroso no capilar son mayores en el suelo del sitio no alterado, como era de esperar, y su magnitud se observa en el área no sombreada de la parte central de cada perfil. Su forma en general, en el caso del suelo alterado, es la de un embudo; esta forma es característica de suelos susceptibles de presentar impedimento al drenaje; consecuentemente, su espacio poroso no capilar es reducido, disminuyendo drásticamente con la profundidad del perfil. En el perfil del suelo alterado se observa que el valor del espacio poroso no capilar a 60 cm de profundidad es nulo, donde difícilmente las raíces de las plantas pueden penetrar y sobrevivir, por constituir una zona de fácil anegamiento.

Por otro lado, la forma del espacio poroso no capilar en el suelo del sitio no alterado tiende a tomar la forma paralela o de chimenea, que es indicativa de suelos bien drenados y con poca tendencia a encharcamiento, ya que el agua de lluvia podrá penetrar y moverse libremente a través del perfil. Más aún, la evidencia de condiciones contrastantes referentes a la capacidad de drenaje y de aeración de ambos suelos se observa en los valores de agua total presente y su distribución en la porosidad capilar y no capilar. Aunque el total de agua (% en volumen) es casi similar en ambos suelos (Cuadro 5), en el suelo alterado una gran parte del agua se encuentra retenida en la porosidad capilar, con pequeños excesos que penetran a la porosidad no capilar y, como en este caso el espacio poroso capilar predomina sobre el no capilar, la cantidad de aire disponible para la respiración de las raíces de plantas es pequeña, excepto en los primeros 15 cm de profundidad, donde los valores son mayores al 10% en volumen, pero se torna crítica a profundidades mayores, de manera que este suelo presenta un espacio radical muy superficial.(15 cm).

En el suelo no alterado el agua total se encuentra parcialmente retenida en el espacio poroso capilar, pero una gran porción también penetra al no capilar, sin disminuir considerablemente la condición de aeración,

ya que los valores son mayores al 10% en volumen en todo el perfil. Esto significa que este suelo presenta un amplio espacio radical y cualquier cantidad de agua proveniente de la lluvia se moverá verticalmente en el perfil sin poner en peligro a los cultivos.

En resumen, desde el punto de vista de características físicas, los suelos del sitio no alterado presentan mejores condiciones para el crecimiento de cultivos que el suelo alterado, el cual presenta un espacio radical relativamente superficial (15 cm). Desde luego que esta condición es susceptible de ser mejorada a través de un manejo adecuado del suelo, como por ejemplo el uso de subsolador, el cual permitiría "abrir" el perfil por lo menos hasta los 60 cm de profundidad.

2. Caracterización química

Los datos obtenidos en el análisis químico de muestras obtenidas en los respectivos perfiles se presentan en el Cuadro 5 y las Figuras 3, 4, 5, 6, 7 y 8. Al pie del cuadro se anotan los patrones de comparación utilizados para evaluar la información obtenida.

Sitio alterado

A juzgar por los resultados contenidos en el Cuadro 5, los suelos del sitio alterado presentan un pH bajo (5.2 y 5.1) en los primeros 15 cm de profundidad y aumenta a 5.9 en los horizontes inferiores. El bajo pH de los horizontes superiores puede indicar la posible ocurrencia de condiciones anormales desde el punto de vista nutricional; en efecto y excepto en los contenidos de materia orgánica y nitrógeno total que califican de medio a alto, todos los otros elementos, especialmente los cationes de intercambio, se encuentran en concentraciones que califican de bajo a muy bajo; de manera que el desbalance nutricional de estos suelos es muy marcado. Los valores totales de aluminio y hierro son muy altos, especialmente el primero, hecho que era de esperar. Los elementos menores totales parecen encontrarse en cantidad adecuada, aunque ello no significa que la situación fuera similar en sus formas disponibles y en realidad, por ejemplo la concentración de aluminio intercambiable, parece baja. Esto pudiera significar que el bajo pH de estos suelos es consecuencia de una desbasificación casi completa, antes que de exceso de aluminio intercambiable.

Cuadro 5. Características químicas

Profundidad cm	pH H ₂ O	M.O. %	N %	P disp. ppm	S disp.	Al Inter- camb.	Bases intercamb.		Relaciones				Totales					
							Ca	Mg	Ca Mg	Mg K	Ca+Mg K	Cu	Zn	Mn	Al	Fe	ppm	ppm
7.5	5.2	4.4	8.7	0.24	4.9	23.5	0.58	0.45	0.27	0.12	2	3	7	396	198	198	17	6
15.0	5.1	4.4	9.4	0.22	5.9	26.0	0.58	0.43	0.27	0.14	2	2	6	259	141	212	16	8
30.0	5.9	5.4	0.5	0.04	5.6	72.0	0.08	0.20	0.06	0.02	4	3	13	323	100	790	20	9
60.0	5.9	5.3	-	-	61.0	-	0.07	0.23	0.06	0.01	5	5	29	356	200	1068	19	8
90.0	5.9	5.3	-	-	-	-	0.07	0.26	0.05	0.05	6	1	8	353	141	3424	16	8
<u>Sitio alterado</u>																		
<u>Sitio no alterado</u>																		
7.5	5.2	4.0	22.3	0.66	9.8	11.2	2.05	0.52	0.21	0.21	3	1	5	279	195	195	17	6
15.0	5.1	4.1	8.6	0.23	6.1	9.8	1.03	0.47	0.14	0.11	4	1	7	270	135	148	19	7
30.0	5.3	4.2	3.5	0.09	2.4	3.5	0.51	0.31	0.08	0.05	4	2	10	318	82	165	18	7
60.0	5.5	4.6	-	-	32.0	-	0.14	0.39	0.06	0.05	8	1	11	347	167	215	20	6
90.0	5.9	4.7	-	-	30.0	-	0.08	0.27	0.06	0.02	5	3	16	244	100	177	20	5

PATRONES DE COMPARACION (Trinidad - Según F. Hardy)

Alto	7.5	-	5.2	0.26	18	4.5	0.41
Medio	6.5	-	2.6	0.15	9	2.3	0.26
Bajo	5.0	-	0.6	0.04	3	0.8	0.15

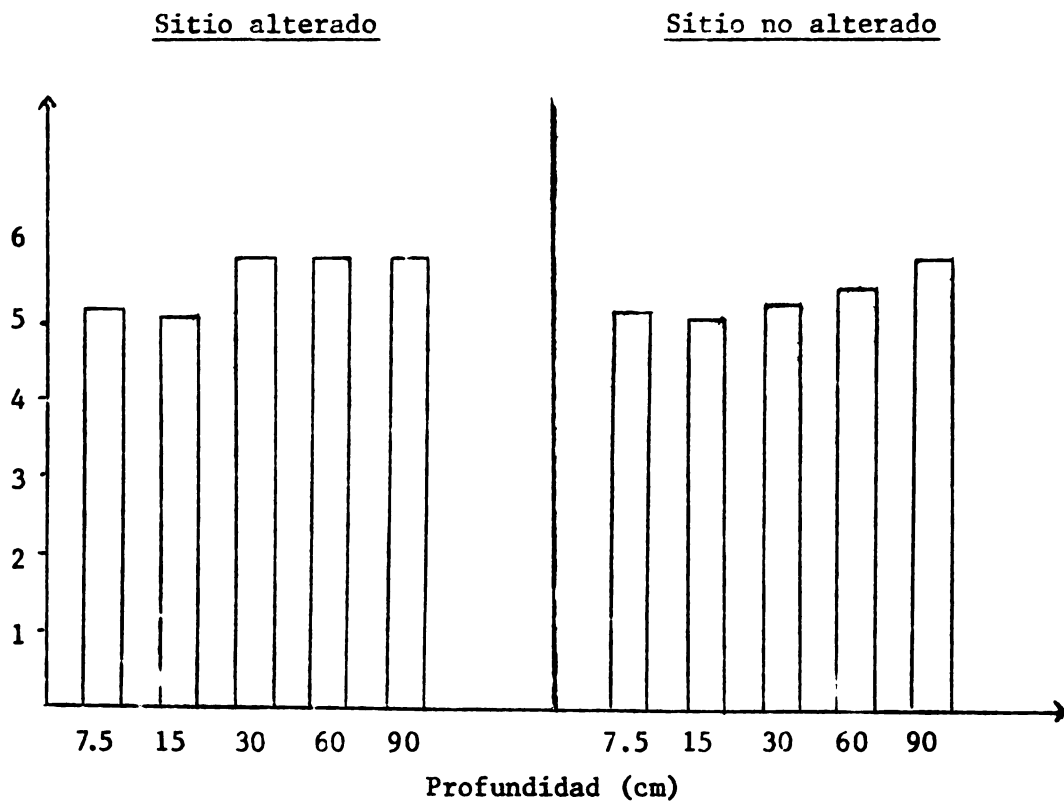
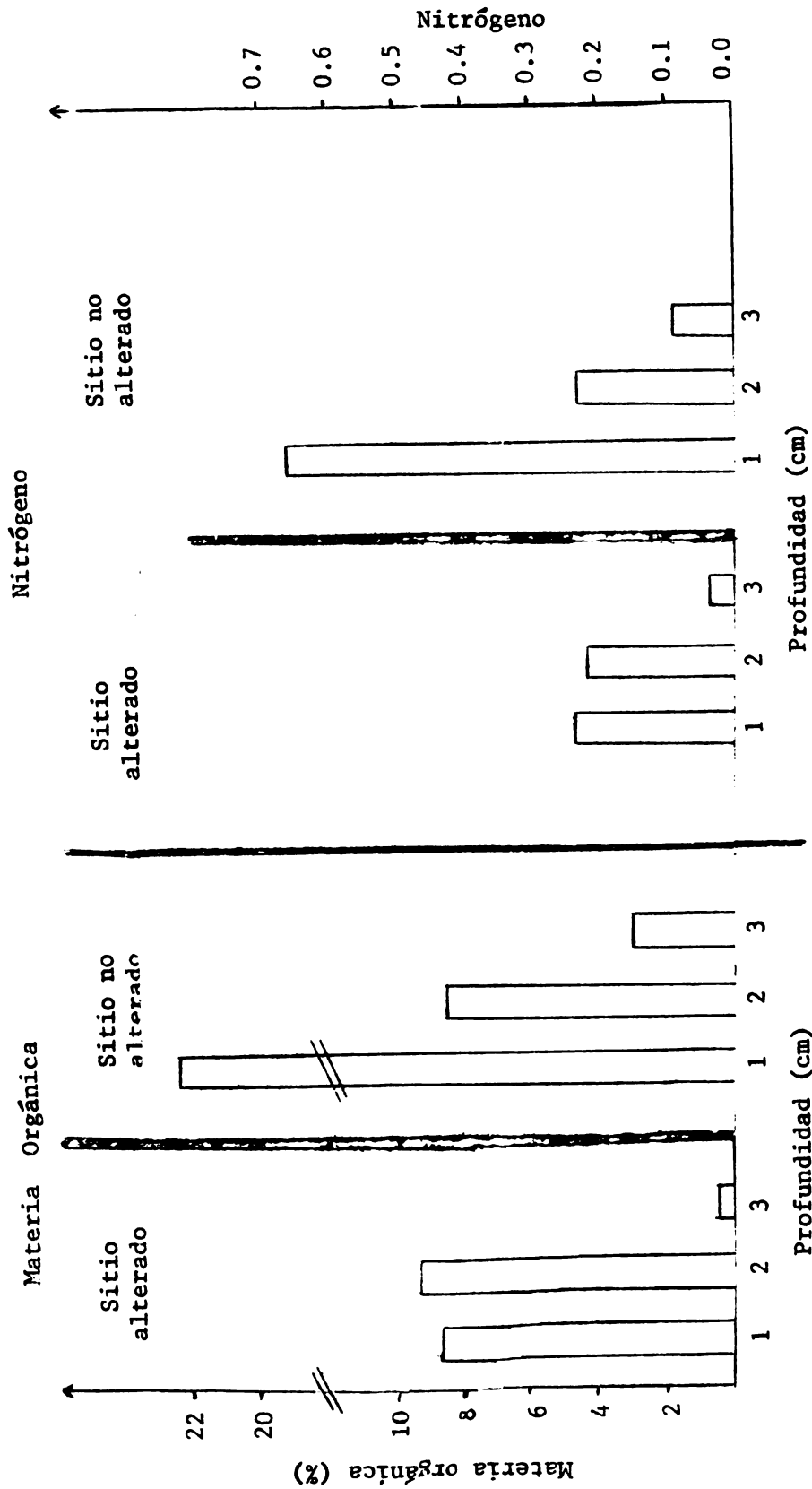


Fig. 3. Valores de pH.



1 = 7.5 cm
 2 = 15.0 cm
 3 = 30.0 cm

Fig. 4. Determinaciones de materia orgánica y nitrógeno.

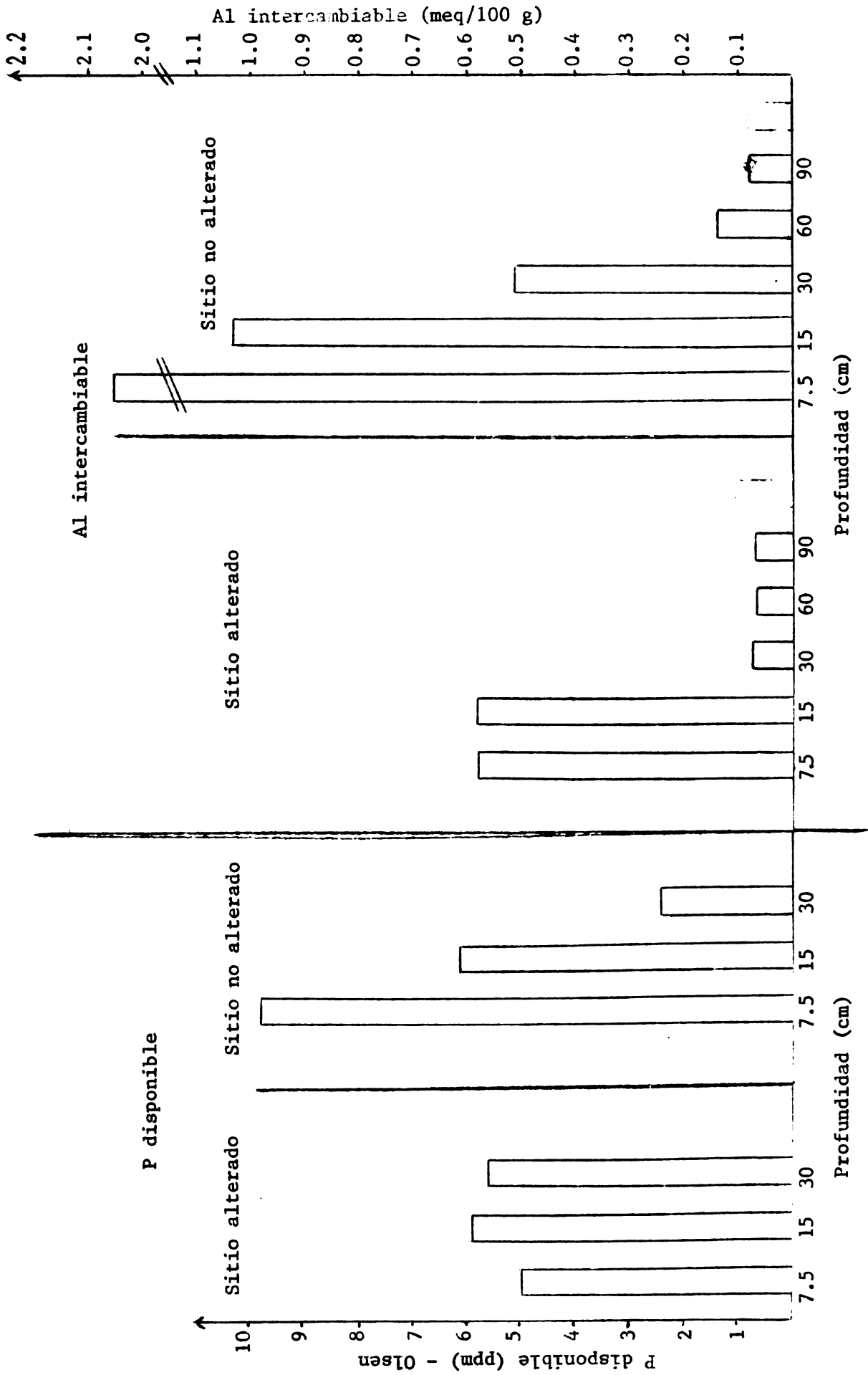


Fig. 5. Determinación de P disponible y Al intercambiable.

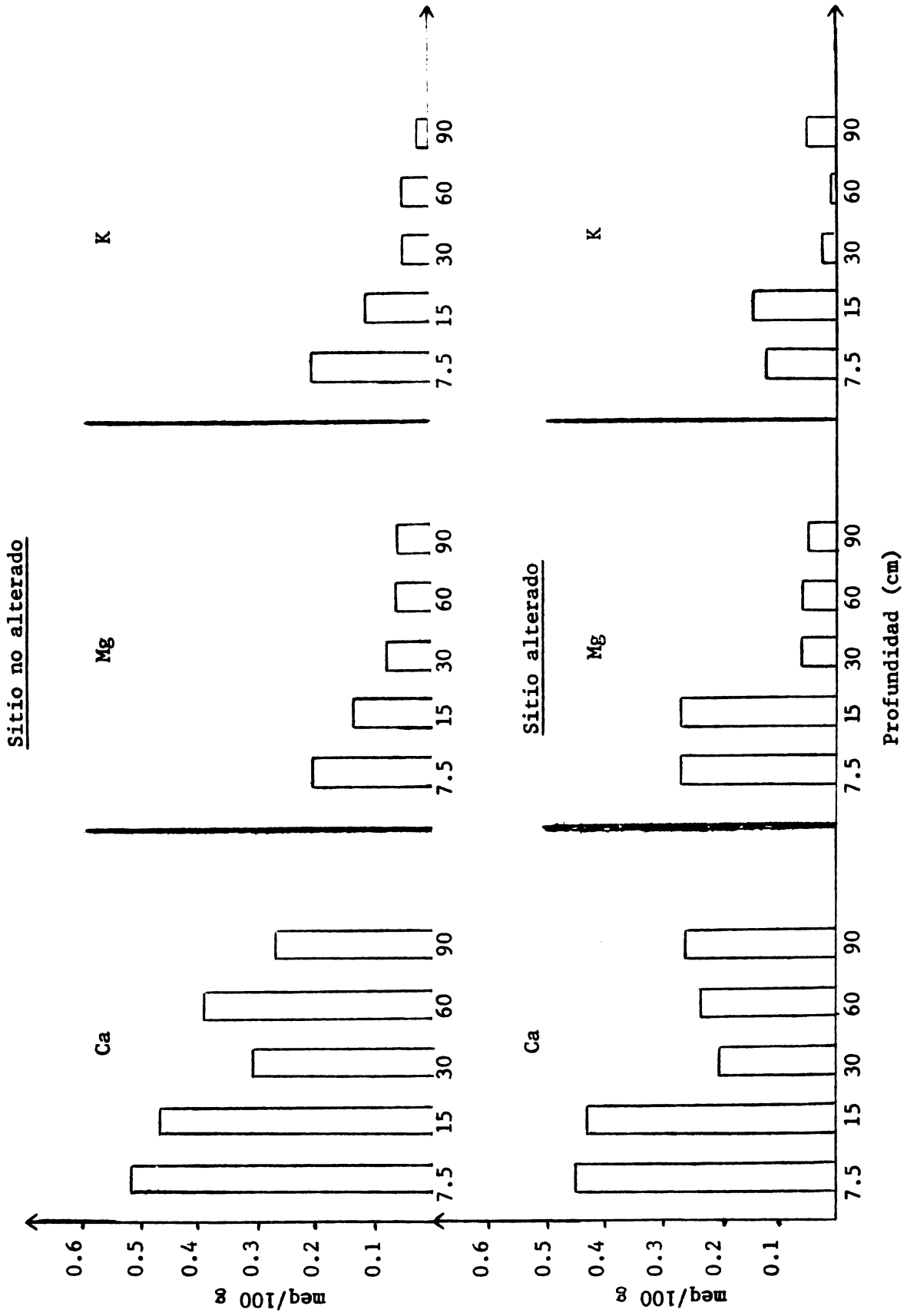


Fig. 6. Determinación de bases de intercambio.

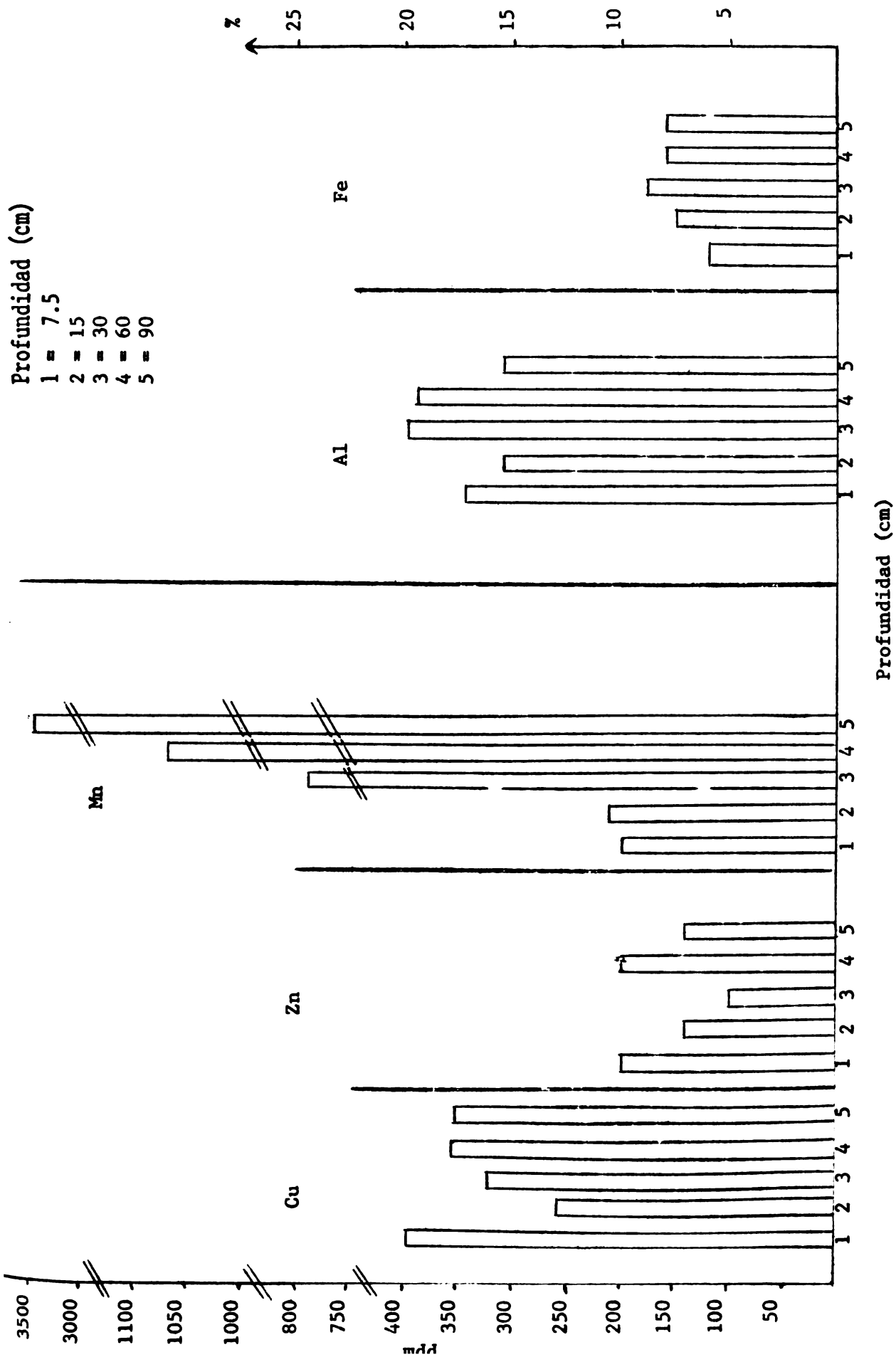


Fig. 7. Elementos menores totales. Sitio alterado.

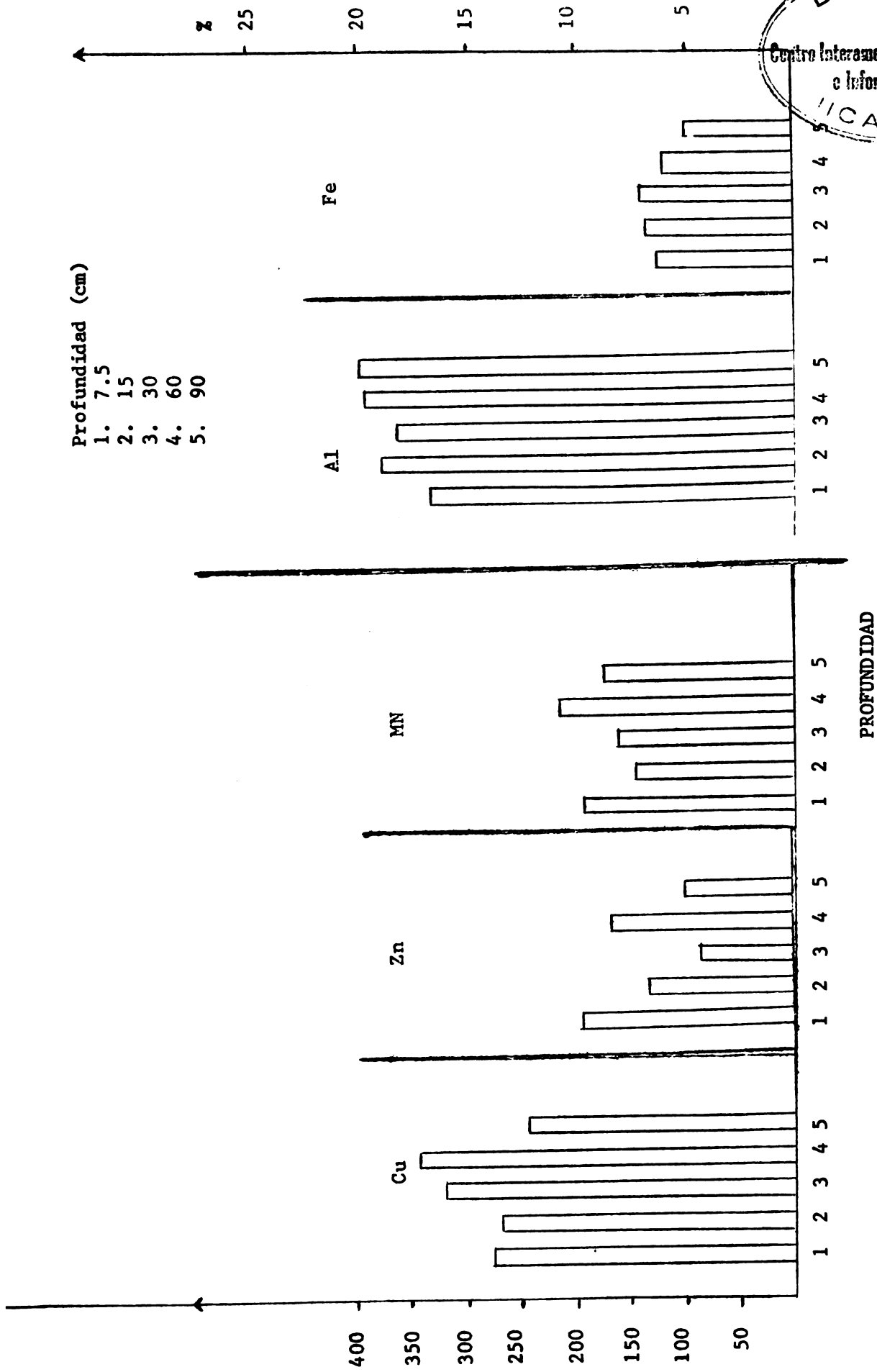
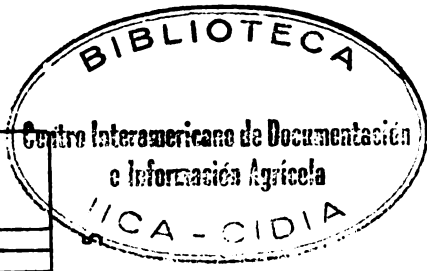


Figura 8. Determinación de elementos menores totales. Sitio no alterado.

Los contenidos de materia orgánica, nitrógeno total y fósforo disponible disminuyen drásticamente y son nulos a profundidades mayores a 30 cm. Por el contrario, los contenidos de azufre y calcio parecen aumentar con la profundidad.

Sitio no alterado

Las características químicas de los suelos del sitio no alterado parecen ser similares en varios aspectos a los suelos del sitio alterado. Por ejemplo, los valores de pH son bajos en todo el perfil, con tendencias a aumentar en horizontes inferiores a los 60 cm de profundidad; los contenidos de materia orgánica y nitrógeno total son muy altos en el horizonte superior (7.5 cm) pero disminuyen drásticamente en horizontes inferiores y se detectan trazas por debajo de los 30 cm de profundidad. El contenido de fósforo disponible es bajo a muy bajo en todo el perfil; el aluminio intercambiable es mayor en los horizontes superiores (15 cm); los cationes de intercambio son muy bajos, mostrando un serio desbalance nutricional. Aluminio y hierro totales son altos, especialmente el primero, mientras que los elementos menores totales parecen estar en concentraciones adecuadas.

Por tanto y en general, los suelos de ambos sitios presentan una condición de fertilidad natural baja a muy baja, de manera que para su uso agrícola adecuado se hace evidente la necesidad de elevar su condición química mediante la aplicación de fertilizantes y otros correctivos del suelo, como abonos verdes, cultivo de leguminosas, etc.

Capacidad de retención de fósforo

Los resultados obtenidos en la determinación de la capacidad de retención de fósforo, tanto de los suelos como de sus respectivos subsuelos, se presentan en la Figura 9.

Se observa que, en general, los suelos (7.5 cm), como era de esperar basados en sus características de contenido de materia orgánica y de aluminio intercambiable, muestran poseer una mayor capacidad de retención de fósforo que sus respectivos subsuelos. En efecto, las curvas obtenidas para ambos suelos son similares con un valor crítico* también similar (200 ppm P)

* Valor crítico de P es aquel nivel de P en el suelo necesario para cubrir la capacidad de retención del suelo y, al mismo tiempo, dejar algún exceso para su absorción por la planta.

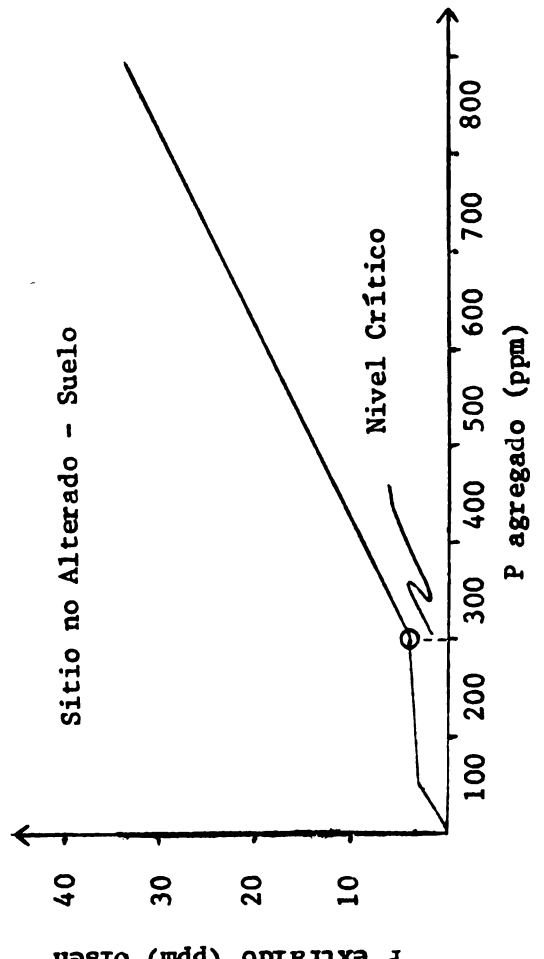
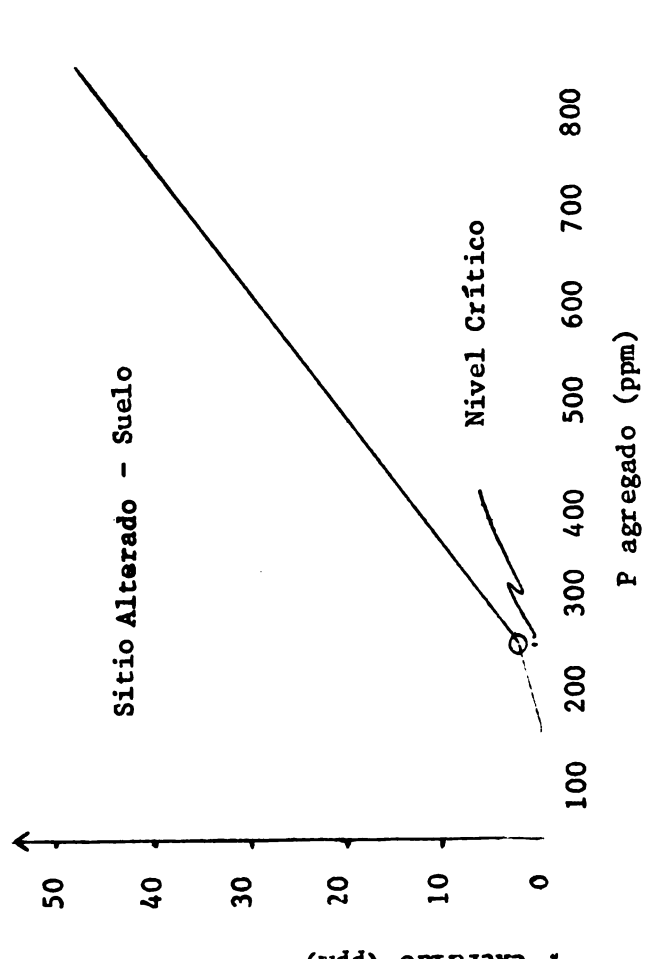
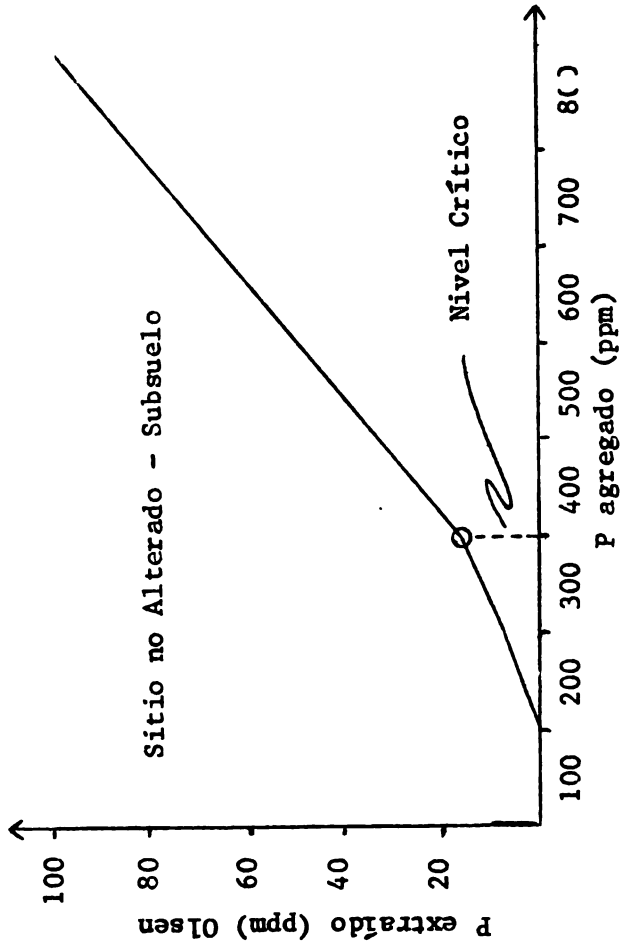
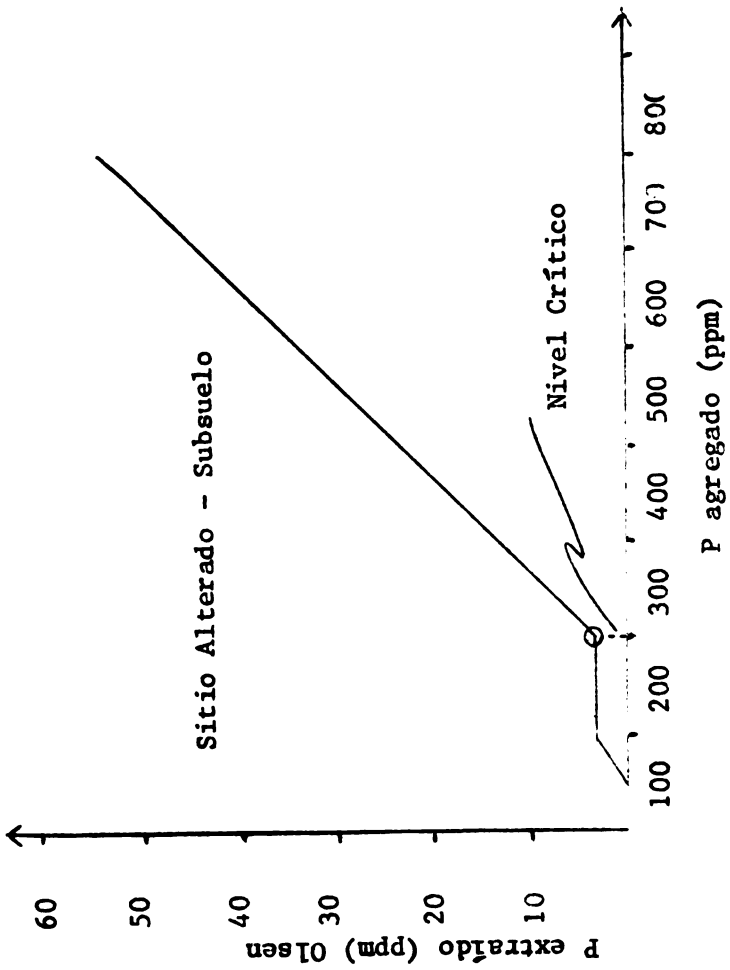


Figura 9. Determinación de capacidad de retención de P.

equivalente a 255 Kg P/hectárea para el suelo del sitio alterado y 180 Kg P/hectárea para el del sitio no alterado.

Las curvas obtenidas para los subsuelos también son similares en tendencia y determinan un valor crítico similar (300 ppm P) equivalente a 382 Kg P/hectárea y 270 Kg P/hectárea para el suelo del sitio alterado y no alterado, respectivamente.

Estos resultados muestran que tanto suelos como subsuelos poseen una capacidad de retención de fósforo que podría ser considerada como alta y que, en términos de fertilizante, representa la aplicación de cantidades próximas a una tonelada (1 T/C) de superfosfato triple para la fracción de suelo. En el caso de los subsuelos, los requerimientos subirían a cantidades cercanas a las 2 toneladas (2 T/C) de superfosfato triple. Desde luego que, desde el punto de vista agrícola, es de mayor importancia el dato referente a la fracción de suelos, puesto que normalmente la aplicación de fósforo se efectúa en el momento de la siembra y en el ámbito de colocación de las semillas, que justamente correspondería al horizonte analizado (7.5 cm).

Puede notarse que estas diferencias en cantidad de fertilizantes se deben principalmente al efecto de la materia orgánica; ésta es mucho mayor en el suelo no alterado y, por consiguiente su efecto, desde el punto de vista físico, se traduce en una disminución del volumen efectivo de suelo en la capa arable, puesto que sus valores de densidad aparente son también mucho menores.

Requerimientos de encalado

De acuerdo con los resultados obtenidos en esta determinación, las necesidades de cal (carbonato de calcio) de la fracción suelo son relativamente bajas, 320 Kg CaCO_3 /hectárea y 900 Kg CaCO_3 /hectárea para suelos de los sitios alterado y no alterado, respectivamente. Estas cantidades serían suficientes para un control adecuado del aluminio intercambiable presente. Desde luego que la eficiencia de esta recomendación deberá ser probada primeramente en condiciones de invernadero antes de pasarla a nivel de campo.

Comentarios Generales sobre las Características
Físicas y Químicas de los Suelos Estudiados

En general y con base en la información obtenida en los análisis de laboratorio antes presentada, dos condiciones contrastadas parecen diferenciarse en los suelos del Proyecto ALCOA y son las siguientes:

- a. Desde el punto de vista físico, los suelos del sitio no alterado presentan una condición más favorable, con una textura que varía de franco-arcillosa a arcillosa y con ligeros aumentos de arena en toda la profundidad del perfil, característica que parece incidir en otras propiedades como son densidad aparente y porosidad. En efecto, este suelo presenta valores más bajos de densidad aparente que el suelo del sitio alterado, lo cual hace que el grado de compactación (en el suelo no alterado) sea menor, lo cual facilitaría el drenaje interno, tal como se evidencia en la Figura 2. Por tanto, desde el punto de vista físico el suelo del sitio no alterado presenta mejores condiciones para el crecimiento de cultivos.
- b. Desde el punto de vista de características químicas, aunque ambos suelos pueden ser categorizados como de baja fertilidad natural, los del sitio alterado pueden, en cierto modo, ser considerados como potencialmente de mejores condiciones a juzgar por sus valores de pH ligeramente más altos, especialmente en los horizontes superiores (15 cm), concentraciones más bajas de aluminio intercambiable y más altas de azufre intercambiable en todo el perfil. En lo que respecta a otros nutrimentos, ambos suelos presentan similares condiciones.

En cuanto a otras propiedades químicas de primordial importancia agrícola, los suelos estudiados poseen una capacidad de retención de fósforo muy similar, 200 ppm P y 300 ppm P en la fracción de suelo y subsuelo, respectivamente, posiblemente influenciada por la alta concentración de aluminio intercambiable especialmente en los horizontes superiores (15 cm).

Esta última característica (contenido de aluminio intercambiable) podría jugar un papel importante en la determinación de la necesidad de encalado; en efecto, el suelo del sitio no alterado

(mayor concentración de aluminio intercambiable) muestra una mayor necesidad de cal (900 Kg CaCO_3 /hectárea) comparado con el suelo del sitio no alterado (320 Kg CaCO_3 /hectárea). Por consiguiente, si bien el suelo del sitio alterado presenta en general condiciones químicas ligeramente ventajosas sobre el suelo no alterado, el comportamiento inmediato en uso agrícola podría ser superior en el suelo no alterado, principalmente debido al muy alto contenido de materia orgánica (22%), especialmente si se controla el alto aluminio intercambiable mediante la aplicación del cal.

Finalmente, debe tenerse en cuenta que los horizontes superiores (15 cm) del suelo alterado constituyen un suelo reconstituido, conformado de las fracciones suelo y subsuelo (1.5 m de profundidad) del sitio original no alterado y que es aquella parte descartada y no adecuada para uso industrial, que fue devuelta sobre la nueva superficie luego de extraer el material rico en bauxita. Bajo tales condiciones es posible considerar tanto las características físicas como químicas de esa capa superior (15 cm) del suelo alterado como un promedio de las características que posee el perfil todo del suelo original no alterado.

Parte II. ESTUDIOS EN INVERNADERO

Introducción

Los estudios en condiciones de invernadero constituyen una técnica adecuada para obtener información adicional a la obtenida en laboratorio (análisis químicos), con la ventaja de que en invernadero se hace participar a una planta utilizada como indicadora, como organismo extractor de los nutrimentos del suelo y, en este caso, la evaluación de la condición de fertilidad del suelo se efectúa por el rendimiento de la biomasa (materia seca) obtenida en un cierto período de crecimiento de la planta.

Dos ensayos de invernadero fueron diseñados con los suelos del Proyecto ALCOA. El primero fue un ensayo de tipo general destinado a proporcionar la información sobre la capacidad de respuesta de los suelos a la aplicación de diferentes elementos nutritivos. El segundo fue un ensayo de encalado para conocer su comportamiento a la aplicación de cal (carbonato de calcio) en la dosis determinada en laboratorio, como se explicó en la Parte I de este estudio.

Materiales y Métodos

Para efecto de estudio en condiciones de invernadero, las muestras obtenidas en el campo, tanto en el sitio alterado como en el no alterado, fueron identificadas así:

Suelo

Material proveniente de los dos horizontes superiores (0-7.5 y 7.5-15 cm) y mezclados íntimamente. Constituye la capa influenciada por materia orgánica.

Subsuelo

Mezcla del material proveniente de los horizontes inferiores (20-30 y 30-60 cm). La capa entre 15 y 20 cm de profundidad fue descartada por considerársela "zona de transición" entre el suelo orgánico y el subsuelo propiamente dicho.

El material (suelos y subsuelos) traídos del campo al CATIE, fueron secados al aire, molidos y pasados por un tamiz de 5 mm para su uso posterior. El procedimiento experimental seguido fue el mismo para ambos ensayos y consistió en los siguientes pasos :

- Paso 1 Uso de macetas de hojalata, de forma cilíndrica, de 1 y 3 kilogramos de capacidad de suelo, con una capa de grava gruesa en el fondo perforado de la maceta para asegurar un buen drenaje del agua de riego.
- Paso 2 Siembra directa de semillas de tomate, var. Manelucie, como planta indicadora. Se mantuvieron en crecimiento hasta la floración (aproximadamente 35-40 días), época en que se cosecharon para evaluarlas como biomasa en peso seco por maceta.
- Paso 3 Aplicación de nutrimentos en solución antes de la siembra. Su aplicación se hizo de acuerdo con los tratamientos planeados, utilizando el método aditivo. Las soluciones se prepararon con reactivos de grado de laboratorio, excepto el N y K, cuyas fuentes fueron los fertilizantes nitrato de amonio y muriato de potasio, respectivamente, y los elementos menores Mn, Zn y Cu, cuya fuente fue de quelatos.

Paso 4 Aplicación de riego tratando de mantener una humedad constante en las macetas, próxima a la capacidad de campo. Cualquier exceso de riego se recibía en un recipiente dispuesto a propósito debajo de cada maceta. Este exceso se devolvía a la maceta respectiva.

Ensayo # 1: Respuesta a elementos nutritivos

Se utilizaron macetas de 3 Kg de capacidad de suelo y se sembraron 10 semillas de tomate por maceta. Ocho días después de la germinación se ralearon a 5 plantitas por maceta, hasta la cosecha. Los tratamientos y dosificación de fertilizantes aplicados se indican en los Cuadros 6 y 7.

Cuadro 6. Diseño de tratamientos, Ensayo # 1

Nº	Tratamientos
1	Control (sin fertilizantes)
2	N
3	P
4	K
5	N P
6	N K
7	P K
8	N P K
9	N P K Ca
10	N P K Mg
11	N P K S
12	N P K Ca Mg
13	N P K Ca Mg S
14	N P K Ca Mg S + E.M.*

* E.M. = Mo, B, Cu, Mn, Zn, Fe.

Cuadro 7. Dosis de nutrimentos (Kg/Ha) y fuentes, Ensayo # 1

Ele- mento	Sitio alterado		Sitio no alterado		Fuente
	Suelo ----- Kg/Ha	Subsuelo ----- Kg/Ha	Suelo ----- Kg/Ha	Subsuelo ----- Kg/Ha	
N	250	500	250	500	NH ₄ NO ₃
P	255	255	180	255	H ₃ PO ₄ *
K	200	200	200	200	KCl
S	100 (SO ₄)	50	100	50	SO ₄ Na ₂ *
Ca	400	400	400	400	Cl ₂ Ca.2H ₂ O*
Mg	240	300	240	300	(CH ₃ COO) ₂ Mg.4H ₂ O*
Mo	2.6	2.6	2.6	2.6	Na ₂ MoO ₄ .2H ₂ O*
B	1.2	1.2	1.2	1.2	Na ₂ B ₄ O ₇ *
Cu	3.2	3.2	3.2	3.2	Quelato
Mn	28	28	28	28	Quelato
Zn	16	16	16	16	Quelato
Fe	55	55	55	55	Citrato de Fe*

* Reactivos de laboratorio.

Ensayo # 2: Respuesta al encalado

Se utilizaron macetas de 1 Kg de capacidad de suelo; se sembraron 8 semillas de tomate por maceta y se ralearon posteriormente las plantitas para dejar 3 en crecimiento hasta la cosecha.

La cal aplicada fue cal viva (CaO), grado de laboratorio, en cantidad equivalente al carbonato de calcio requerido. Se utilizó este tipo de cal tomando en cuenta que es de reacción más rápida que el carbonato, cualidad necesaria para su uso en invernadero.

Los tratamientos y dosificaciones de fertilizantes aplicados que se indican en los Cuadros 8 y 9, fueron seleccionados con base en los resultados obtenidos en el Ensayo # 1.

Cuadro 8. Diseño de tratamientos, Ensayo # 2

N°	Tratamiento
1	Control (sin cal)
2	Control (sólo cal)
3	P
4	N P K
5	N P K Mg
6	N P K Mg S
7	N P K Mg S + E.M.*

* = Mo, B, Cu, Mn, Zn, Fe

Cuadro 9. Dosis de nutrimentos (Kg/Ha) y fuentes, Ensayo # 2

Elemento	Alterado	S i t i o	No alterado	Fuente
	Suelo	Kg/Ha	Suelo	
N	250		250	NH_4NO_3
P	510		360	H_3PO_4^*
K	200		200	KCl
Mg	240		240	$(\text{CH}_3\text{COO})_2 \cdot \text{Mg} \cdot 4\text{H}_2\text{O}$
$\text{SO}_4\text{-S}$	100		100	SO_4Na_2
Mo	2.6		2.6	$\text{Na}_2\text{MoO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}^*$
B	1.2		1.2	$\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7^*$
Cu	3.2		3.2	Quelato
Mn	28		28	Quelato
Zn	16		16	Quelato
Fe	55		55	Citrato de Fe*

* Reactivos de laboratorio.

Resultados

Ensayo # 1: Sitio alterado

Suelo

Los datos de biomasa (materia seca) contenidos en el Cuadro 10 y Figura 10, muestran en forma clara la baja condición de fertilidad natural de este suelo y su respuesta a los diferentes elementos agregados.

En efecto, los rendimientos en el tratamiento control (suelo sin fertilización) fueron apenas el 16% del rendimiento más alto (tratamiento completo). La aplicación de los elementos N, P y K en forma individual o sus interacciones no produjeron ninguna mejora en comparación con el control, aunque el efecto del P es más evidente y cualquier rendimiento obtenido en los tratamientos de interacciones podría aludirse más al efecto de dicho elemento. La adición de Ca al tratamiento NPK, produce un considerable aumento en el rendimiento (46.9%) y mucho más en combinación con Mg (65.5%) y con S (56.8%). Las adiciones individuales de Mg y S al tratamiento NPK no parecen ser favorables. La adición de elementos menores resultó de mayor efecto positivo, ya que el incremento en el rendimiento fue muy evidente; en realidad el tratamiento NPKCaMgS + elementos menores produjo el rendimiento más alto, además de que las plantas crecieron más vigorosas, de mayor porte y coloración normal.

Se hace evidente que en estos suelos y en condiciones de campo, la adición de fertilizantes de uso comercial que contengan solamente N, P y K producirán rendimientos regulares y éstos podrán incrementarse con la adición de Ca, Mg, S y elementos menores; de manera que su manejo no será sencillo, puesto que dichos elementos deberán encontrarse bien balanceados. Sin duda que el aspecto de uso de fertilizantes deberá jugar un rol preponderante en el manejo de estos suelos.

Subsuelo

Los datos de rendimientos, presentados en el Cuadro 10 y Figura 10, muestran que la condición de fertilidad del subsuelo del sitio alterado es mucho más baja que del suelo propiamente dicho. La adición de los diferentes elementos "mayores" en forma individual o sus interacciones no produjeron rendimiento alguno; las semillas que pudieron germinar morían a los pocos días. Sin embargo, cuando se agregaron elementos

menores además de N, P, K, Ca, Mg y S, el crecimiento de las plantas fue normal, y comparables en tamaño, vigor y apariencia con las producidas bajo el mismo tratamiento en la fracción suelo. Más aún, el rendimiento en el subsuelo fue ligeramente superior al obtenido en el suelo (38.5 g vs. 35.4 g).

Cuadro 10. Producción de biomasa (g/maceta) y rendimiento relativo (%). Sitio alterado. Ensayo # 1

Tratamientos	Suelo		Subsuelo	
	Materia seca g/maceta	Rend. relativo %	Materia seca g/maceta	Rend. relativo %
1. Control	5.7	16.1	5.6	14.5
2. N	-	-	-	-
3. P	6.2	17.5	-	-
4. K	5.6	15.8	-	-
5. NP	-	-	-	-
6. NK	-	-	-	-
7. PK	5.9	16.6	-	-
8. NPK	5.7	16.1	-	-
9. NPKCa	16.6	46.9	-	-
10. NPKMg	-	-	-	-
11. NPKS	-	-	-	-
12. NPKCaMg	23.2	65.5	-	-
13. NPKCaMgS	20.1	56.8	-	-
14. NPKCaMgS + E.M.	35.4	100.0	38.5	100.0

Sitio no alterado

Suelo

Los datos que se presentan en el Cuadro 11 y Figura 11 dan evidencia de que el comportamiento de este suelo es similar al del sitio alterado, en sentido de que la adición de elementos nutritivos NPK en forma individual o sus interacciones producen rendimientos comparables al testigo o causan efectos detrimentales que impiden el crecimiento de plantas, manteniéndose esta condición aun cuando se agrega además Ca, Mg y S en forma

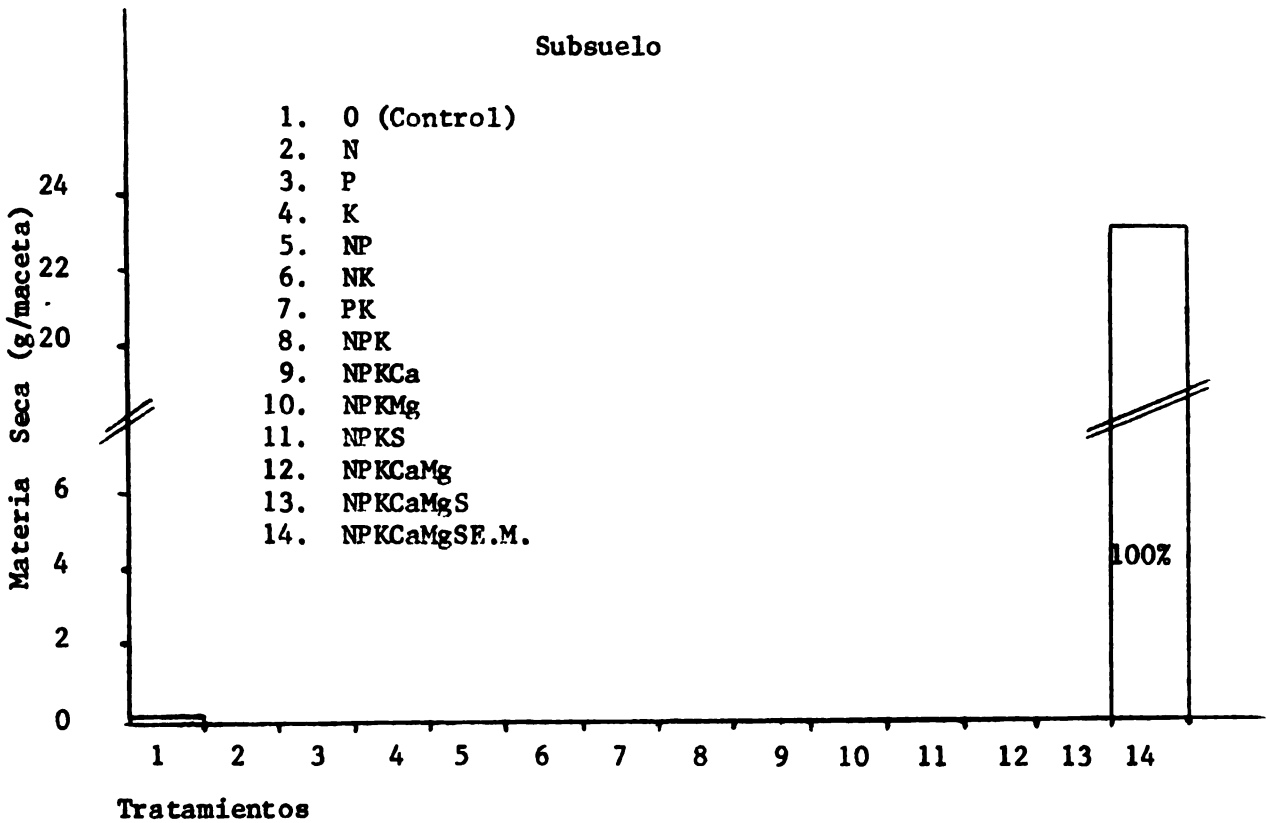
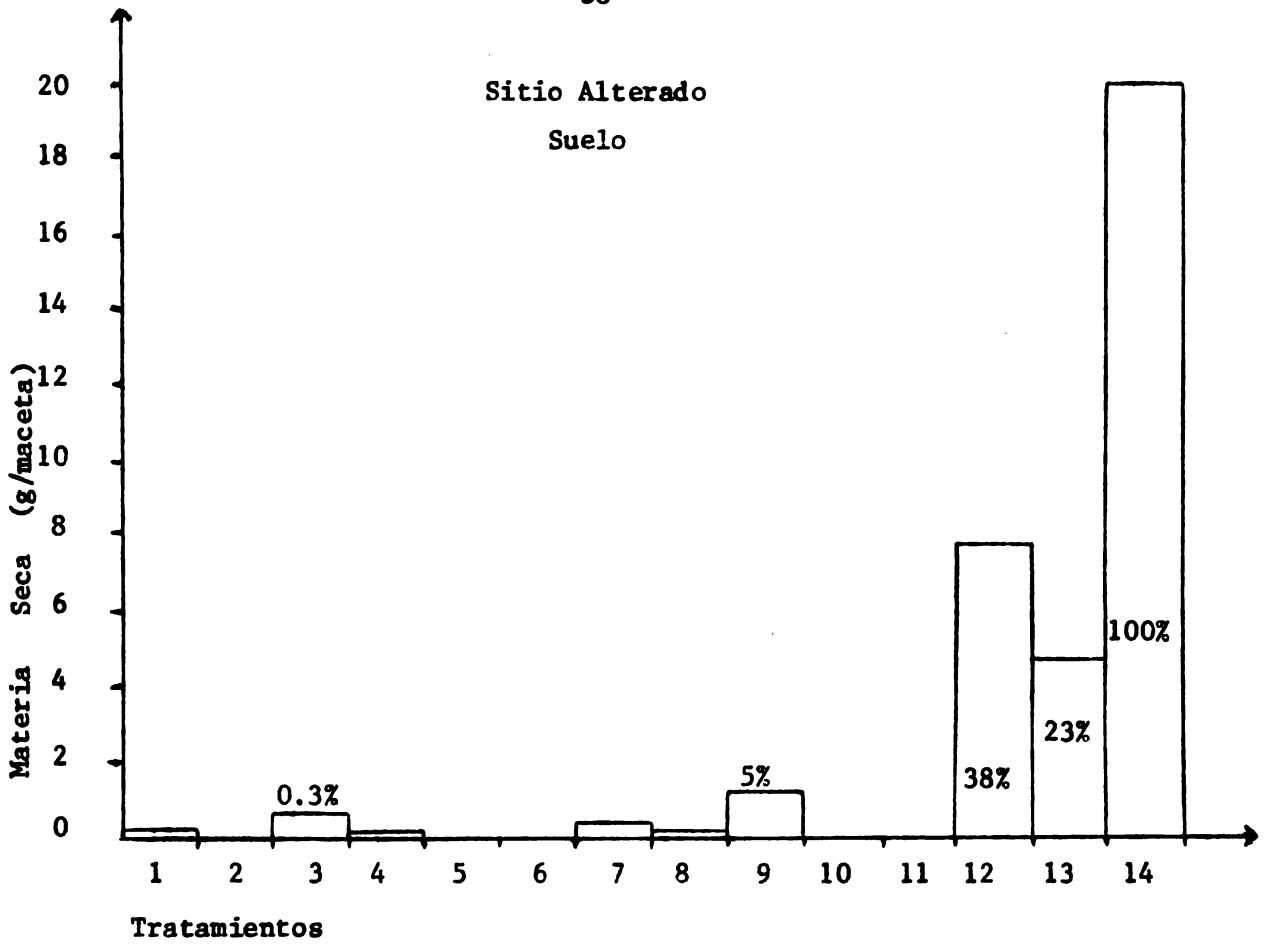


Figura 10. Producción de biomasa, materia seca (g/maceta).
Ensayo #1. Sitio Alterado

individual al tratamiento NPK. La interacción CaMg en presencia de NPK mejora la condición del suelo produciendo plantas de buen crecimiento, comparado con tratamientos previos; la situación es aún más favorable si además de Ca y Mg se encuentra presente S, pues el incremento en rendimiento es muy evidente (65.4% del tratamiento completo). Finalmente, la adición de elementos menores (tratamiento N°14) es decisiva y se manifiesta en un mayor incremento en el rendimiento; las plantas producidas en este tratamiento fueron normales en porte, vigor y apariencia, sin signos de deficiencias evidentes en los otros tratamientos.

Estos resultados respaldan las especulaciones hechas con base en los resultados de laboratorio, referentes a la similitud de características químicas de los suelos de ambos sitios y se observa, en condiciones de invernadero, un comportamiento también similar a la aplicación de fertilizantes.

Cuadro 11. Producción de biomasa (g/maceta) y rendimiento relativo (%). Sitio no alterado. Ensayo # 1

Tratamientos	Suelo		Subsuelo	
	Materia seca g/maceta	Rend. relativo %	Materia seca g/maceta	Rend. relativo %
1. Control	5.6	13.3	5.6	16.2
2. N	-	-	-	-
3. P	5.7	13.5	-	-
4. K	5.6	13.3	5.7	16.5
5. NP	-	-	-	-
6. NK	-	-	-	-
7. PK	-	-	-	-
8. NPK	-	-	-	-
9. NPKCa	-	-	-	-
10. NPKMg	-	-	-	-
11. NPKS	-	-	-	-
12. NPKCaMg	11.4	27.0	-	-
13. NPKCaMgS	27.6	65.4	-	-
14. NPKCaMgS + E.M.	42.2	100.0	34.6	100.0

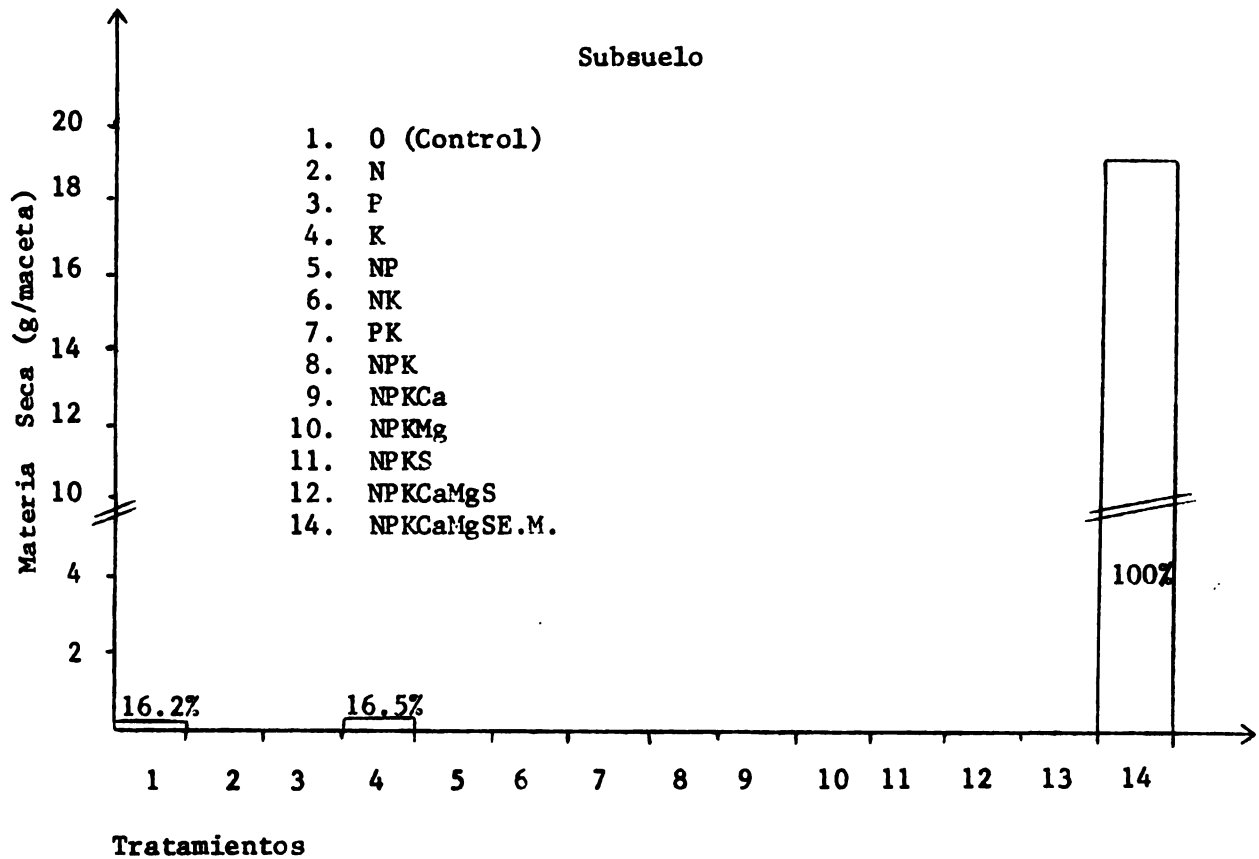
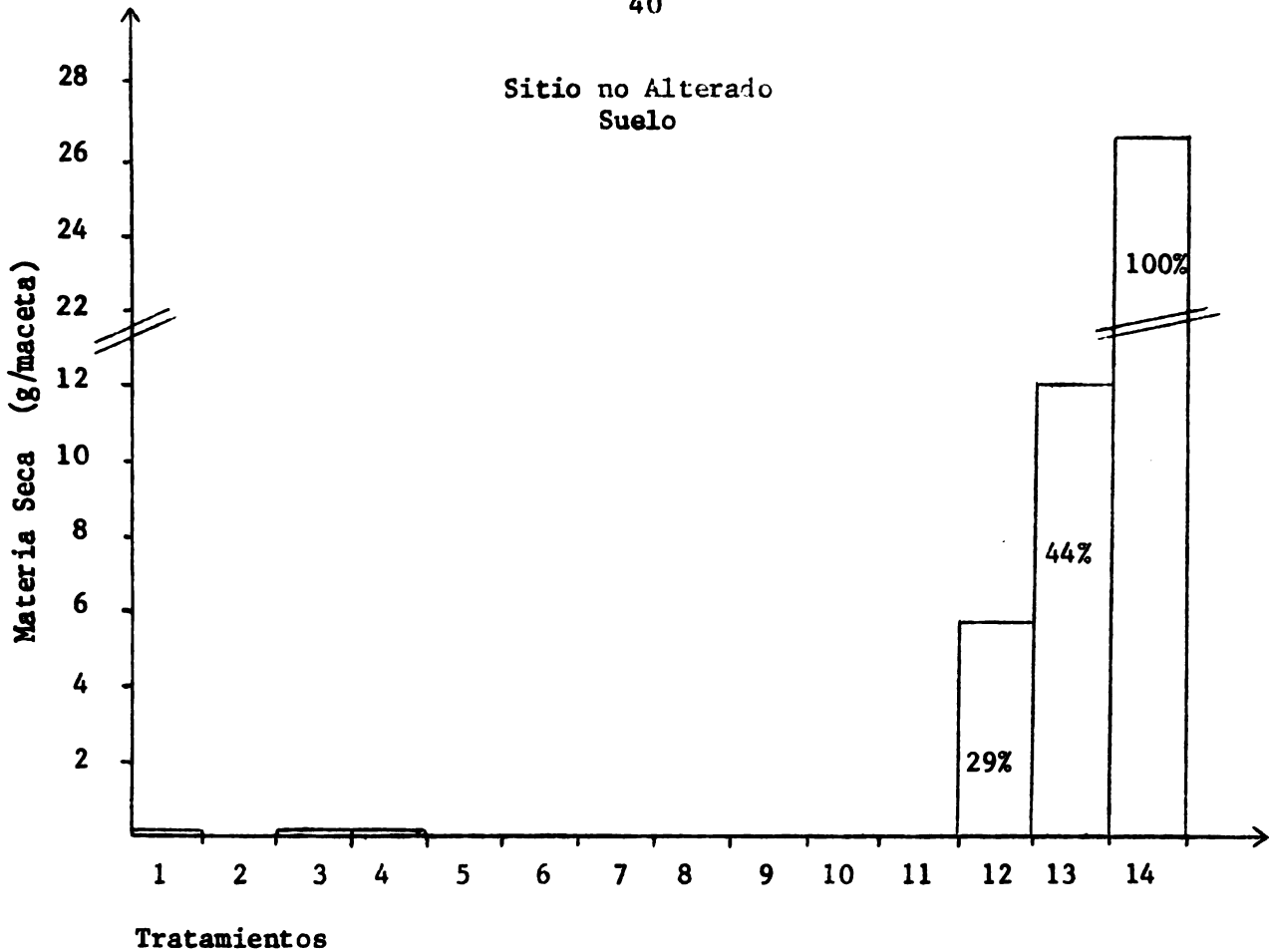


Figura 11. Experimento #1. Producción de biomasa, materia seca (g/maceta). Ensayo #1. Sitio no alterado

Subsuelo

El comportamiento del subsuelo del sitio no alterado, a juzgar por los datos contenidos en el Cuadro 11 y Figura 11, se asemeja al del subsuelo del sitio alterado, ya que la adición de fertilizantes no es favorable a menos que se encuentren presentes elementos menores; caso contrario, las plantas mueren al poco tiempo de germinadas, mostrando una serie de deficiencias y malformaciones.

Ensayo # 2 - Efecto de encalado

Los datos provenientes de este ensayo en el suelo de sitios alterado y no alterado, se presentan en el Cuadro 12 y la Figura 12.

Cuadro 12. Producción de biomasa (g/macete) y rendimiento relativo (%). Ensayo # 2

	Sitio alterado		Sitio no alterado	
	Materia seca g/maceta	Rend. relativo %	Materia seca g/maceta	Rend. relativo %
Control Lo	0.1	0.8	0.1	0.8
Control L	0.2	1.6	0.1	0.8
P	1.4	11.0	0.6	4.7
NPK	1.3	10.2	0.8	6.3
NPKMg	6.3	49.6	3.3	26.0
NPKMgS	1.5	11.8	4.9	38.6
NPKMgS + E.M.*	12.7	100.0	12.7	100.0

* E.M. = Cu, Zn, Mo, B, Mn, Fe.

En cierto modo, estos resultados muestran una tendencia similar a la detectada en el Ensayo # 1, en sentido de que la adición de Mg en presencia de Ca produce incrementos de consideración, pero el efecto es aún mayor en presencia de elementos menores. Otros aspectos que se observan son el efecto detrimental de la adición de S en ausencia de elementos menores en el suelo del sitio alterado; este hecho también se observó en el Ensayo # 1; es posible que el alto S disponible que posee este suelo (Cuadro 2) sea suficiente para cubrir las necesidades de la planta y cualquier adición produce algún desequilibrio que se manifiesta en menores rendimientos del cultivo.

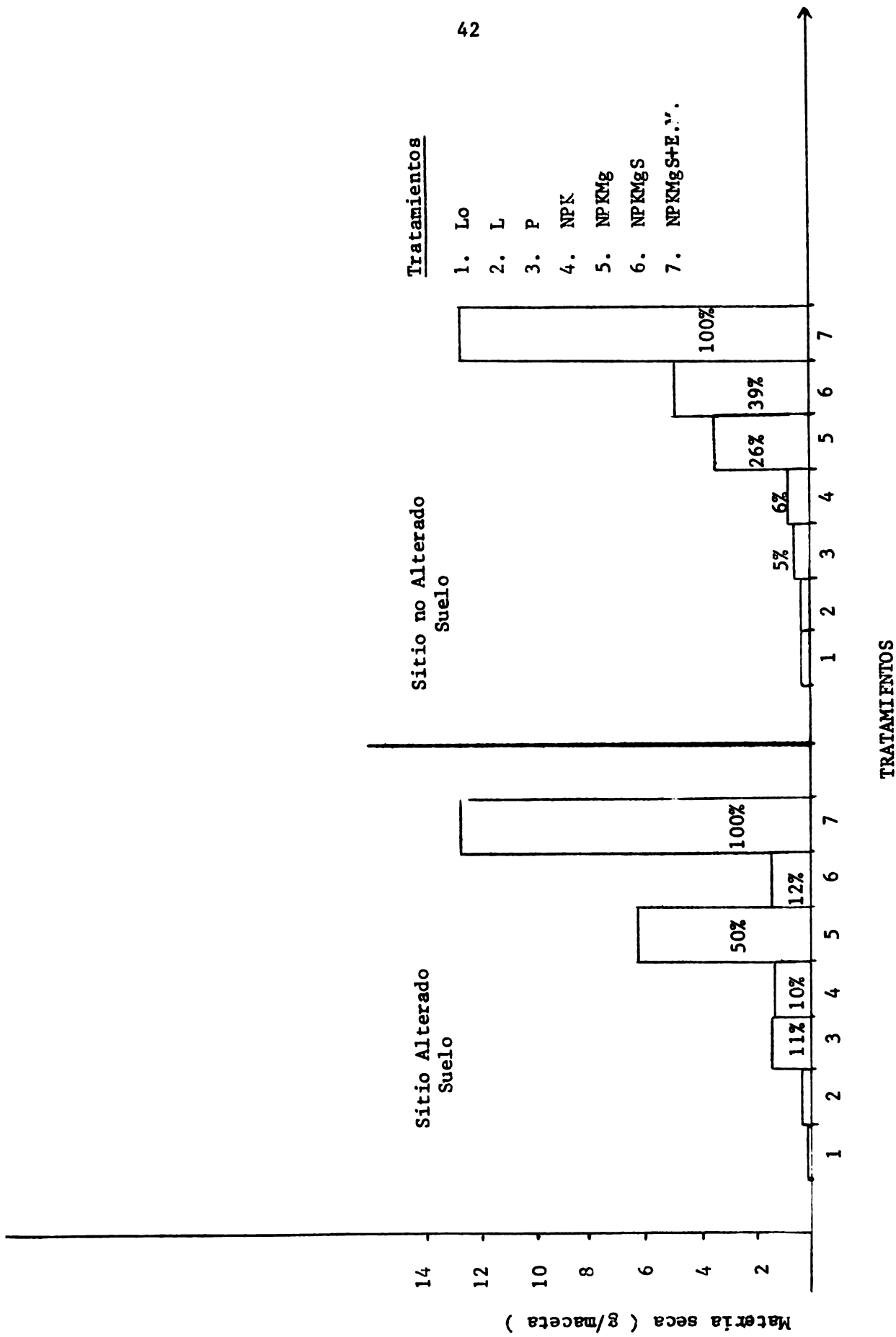


Figura 12. Producción de Biomasa. Materia Seca (g/maceta). Ensayo # 2

Su efecto detrimental no se manifiesta en presencia de elementos menores, posiblemente debido al fuerte efecto favorable de estos elementos, que podrían enmascarar el efecto detrimental de S o de cualquier otro elemento. En el suelo del sitio no alterado ocurre lo contrario; la adición de S produce un incremento significativo en ausencia de elementos menores; este suelo posee concentraciones mucho más bajas de este elemento (Cuadro 2), de ahí que posiblemente cualquier adición resulta de efecto positivo.

Comentario General sobre los Estudios de Invernadero

La información obtenida en invernadero da evidencia de que la condición de fertilidad de los suelos de ambos sitios en estudio podrá ser mejorada considerablemente con la adición de fertilizantes; sin embargo, su efecto será de mayor beneficio, traducido en altos rendimientos, si además de NPK se agregan otros elementos, como Ca, Mg, S y, muy especialmente, elementos menores. Desde el punto de vista real, ésta podría ser una situación difícil, puesto que en el mercado se encuentran pocas mezclas fertilizantes que incluyen apenas 1 ó 2 elementos menores, por lo que se hace necesario pensar en el uso de fritts, para aplicación de suelo, o quelatos para aplicación en solución, como medios para ayudar en el mejoramiento nutricional de estos suelos.

El encalado de estos suelos, en las condiciones del ensayo, no pareció ser de mayor beneficio si se comparan los rendimientos obtenidos con aquellos del Ensayo # 1; es posible que a más largo plazo su efecto sería detectado con mayor claridad. De cualquier manera, a nivel de campo sería conveniente aplicar cal en las dosis aquí utilizadas, con miras a controlar el aluminio intercambiable presente.

---oooOooo---

A P E N D I C E

DESCRIPCION DE LOS PERFILES DE SUELO

Perfil # 1 - Sitio alterado

- | | |
|--------------|--|
| 0.0- 7.5 cm | Ligeramente húmico, color café oscuro, textura arcillosa, estructura granular, plástico y pegajoso cuando húmedo, duro cuando seco, ausencia de raíces. |
| 7.5-15.0 cm | Menos húmico y más compacto, textura arcillosa, estructura granular, muy plástico y pegajoso cuando húmedo, ausencia de raíces. |
| 15.0-30.0 cm | Ausencia de materia orgánica, compacto, color amarillento, textura arcillosa, estructura de bloques, plástico y pegajoso cuando húmedo. |
| 30.0-60.0 cm | Más compacto y arcilloso, color rojizo con indicaciones de gley; abundantes manchas y partículas de color oscuro que reaccionan con H_2O_2 indicando presencia de Mn; estructura de bloques. |
| 60.0-90.0 cm | Más compacto y arcilloso, igual que anterior horizonte. Abundante agua escurre por la pared y fondo del perfil, dificultando el muestreo; abundancia de gley. |
| > 90 cm | <u>Muestreo</u> con barreno: No hay cambios, excepto que aumenta la compactación y presencia de agua. |

Principales características

1. Poco húmico y estructura granular en la capa superior (15 cm).
2. Textura arcillosa uniforme en todo el perfil.
3. La compactación aumenta con la profundidad.
4. Presencia de mapa freático a los 60 cm de profundidad, indicando posible drenaje impedido.

Perfil # 2 - Sitio no alterado

- 0.0- 7.5 cm Muy húmico, color oscuro, textura franca, plástico y pegajoso cuando húmedo, estructura granular, abundancia de raíces.
- 7.5-15.0 cm Húmico, cuyo color oscuro se disipa en la base del horizonte, textura arcillosa; otras características similares al anterior horizonte.
- 15.0-30.0 cm Cambio brusco a color amarillento, ausente de raíces, muy húmedo, plástico y pegajoso, textura arcillosa, estructura de bloques y compacto.
- 30.0-60.0 cm Más compacto y similar al anterior horizonte.
- 60.0-90.0 cm Más compacto y plástico, muy arcilloso, abundancia de partículas oscuras que reaccionaron con H_2O_2 , indicando presencia de Mn. Ausencia de agua en el perfil.
- > 90 cm Muestreo con barreno: No hay cambios, sólo que más compacto.

Principales características

1. Altamente húmico en la capa superior (15 cm) y abundancia de raíces.
2. Aumento en contenido de arcilla en los horizontes inferiores (> 7.5 cm).
3. Aumento de compactación con la profundidad.
4. Perfil bien drenado, ausente de indicaciones de drenaje imperfecto.

---oooOooo---