

**ESTUDIO DE LA FERTILIDAD DE SUELOS
DEDICADOS A POTREROS EN LA ZONA
NORTE DE HEREDIA**

RAFAEL ENRIQUE SALAS CAMACHO

Tesis presentada a la Facultad de Agronomía de la
Universidad de Costa Rica como requisito
parcial para optar al grado de
INGENIERO AGRONOMO

**Escuela de Fitotecnia
Facultad de Agronomía
Universidad de Costa Rica**

1979

ESTUDIO DE LA FERTILIDAD DE SUELOS
DEDICADOS A POTREROS EN LA ZONA
NORTE DE HEREDIA

RAFAEL ENRIQUE SALAS CAMACHO

<hr/>	Director de Tesis
Ing. Alfredo Alvarado H.	
<hr/>	Miembro del Tribunal
Dr. Alvaro Cordero V.	
<hr/>	Miembro del Tribunal
Ing. Carlos Jiménez C.	
<hr/>	Miembro del Tribunal
Ing. Rodolfo Acosta J.	
<hr/>	Director de Escuela
Dr. Oscar Arias	

San José, Diciembre de 1979

DEDICATORIA

Al Dios que me iluminó.

A mis padres que con su sacrificio,
apoyo, ejemplo y cariño, lograron
que culminara mi carrera.

A mis hermanos.

A quien cultive la tierra.

AGRADECIMIENTO

Mi más sincero agradecimiento a mis padres, pues sin su valiosa ayuda no hubiera llegado al feliz término de mi carrera y a la Universidad de Costa Rica, en cuyas aulas realicé mis estudios.

Agradezco en particular a los Ingenieros Rolando Pacheco S., por su valiosa ayuda como Director de Tesis y a Alfredo Alvarado (M.Sc.) por sus consejos en la corrección del presente trabajo y su ayuda en la reestructuración del mismo; al Dr. Alvaro Cordero, Dr. Oscar Arias y al Ing. Carlos Jiménez por su valiosa colaboración en la revisión de este trabajo; a la Ing. Flérida Hernández por el apoyo moral y cooperación en el análisis estadístico.

A los señores David Chaverri B. y Marco A. Chaves S. por su apoyo y ayuda en el laboratorio y en los momentos difíciles de este trabajo y por la amistad brindada.

A la señorita Leda Virginia Cabana M. por sus labores mecanográficas.

En fin agradezco a todas aquellas personas que de una u otra forma hayan contribuido con la realización del mismo.

CONTENIDO

	Página
TRIBUNAL EXAMINADOR	i
DEDICATORIA	ii
AGRADECIMIENTO	iii
CONTENIDO	iv
INDICE DE CUADROS	v
INDICE DE FIGURAS	vi
INTRODUCCION	1
REVISION DE LITERATURA	3
MATERIALES Y METODOS	14
RESULTADOS Y DISCUSION	21
CONCLUSIONES	41
RESUMEN	43
LITERATURA CITADA	44
APENDICE	54

INDICE DE CUADROS

CUADRO		PAGINA
1	Descripción de los tratamientos usados en la investigación	18
2	Dosis y fuentes de nutrimentos para los diferentes tratamientos	19
3	Características textuales de los suelos en estudio	22
4	Características químicas parciales de los suelos en estudio	23
5	Efecto de los diferentes tratamientos sobre la producción de forraje (g/maceta) en base seca en los suelos de las fincas estudiadas	27
6	Análisis de la variación del peso seco (en gramos) en las diferentes fincas y tratamientos	28
7	Producción promedio de materia seca en (g/maceta) en las diferentes fincas y su agrupación de acuerdo con la prueba de Duncan al 5 %.	29
8	Rendimiento promedio peso seco en gramos de los tratamientos y su agrupación según la prueba de Duncan al 5 %.	30

Índice de cuadros del apéndice

CUADRO		PAGINA
1	Análisis de la variación del peso seco (en gramos) en la finca " J. M. Ruiz "	55
2	Producción promedio de materia seca en gramos por maceta en los diferentes tratamientos con la finca " J. M. Ruiz " y su agrupación de acuerdo a la prueba de Duncan al 5 %	56
3	Análisis de la variación del peso seco (en gramos) en la finca " San Miguel "	57
4	Producción promedio de materia en gramos por maceta en los diferentes tratamientos con la finca " San Miguel " y su agrupación de acuerdo a la prueba Duncan al 5%	58
5	Análisis de la variación del peso seco (en gramos) en la finca "Los Bambinos"	59
6	Producción promedio de materia seca en gramos por maceta en los diferentes tratamientos con la finca " Los Bambinos " y su agrupación de acuerdo a la prueba Duncan al 5 %.	60
7	Análisis de la variación del peso seco (en gramos) en la finca "Sacramento"	61

8 Producción promedio de materia seca en gramos por maceta en los diferentes tratamientos con la finca " Sacramento" y su agrupación de acuerdo a la prueba Duncan al 5 %

62

INDICE DE FIGURAS

FIGURA		PAGINA
1	Efecto de los tratamientos sobre la producción de materia seca en la finca "J. M. Ruiz"	32
2	Efecto de los tratamientos sobre la producción de materia seca en la finca " San Miguel"	33
3	Efecto de los tratamientos sobre la producción de materia seca en la finca " Los Bam- binos "	35
4	Efecto de los tratamientos sobre la producción de materia seca en la finca " Sacramen- to "	36
5	Efecto de los tratamientos sobre el rendimien- to de materia seca en las fincas en estudio	37

INTRODUCCION

La ganadería lechera constituye una empresa importante en el sector agropecuario costarricense, ya que de ella se deriva una serie de productos que son un suministro básico en la dieta de los habitantes del país.

Esta actividad se ha localizado tradicionalmente en las zonas altas especialmente en el Valle Central más recientemente la actividad se ha desplazado hacia las llanuras del Norte y el Atlántico.

El conocimiento del estado de fertilidad de los suelos es de suma importancia, ya que éste es un factor determinante en la producción de pastos que a la postre representa el principal factor alimenticio del ganado y por ende en la producción de leche. El conocimiento de tal circunstancia es lo que motivó la realización de este estudio.

Para evaluar el estado de fertilidad de un suelo se han propuesto numerosos métodos experimentales. Los métodos químico-fisiológicos, así como los análisis químicos y físicos han sido los más utilizados para este propósito. También se han ideado técnicas biológicas de invernadero, utilizando macetas y plantas indicadoras, con lo cual se amplía el conocimiento sobre el estado de fertilidad del suelo.

En este estudio se empleó la técnica biológica del elemento faltante que en sí consiste en comparar los rendimientos de una fertilización completa en relación con los rendimientos en ausencia de cada uno de los nu-

trimentos en estudio, bajo condiciones controladas de invernadero.

Como objetivo general, este trabajo persigue contribuir al conocimiento de la fertilidad de algunos suelos de potreros en la zona norte de Heredia, principalmente las comprendidas entre San José de la Montaña y Sacramento.

REVISION DE LITERATURA

Caracterización de Andosoles

Ohmura (56) considera suelos derivados de cenizas volcánicas, aquellos desarrollados sobre materiales que han sido expulsados de cráteres en épocas recientes, excluyendo las lavas y tobas soldadas. Birrel (10) los define como originados de partículas finas de roca primaria o meteorizada hidrotermalmente, eruptadas de cráteres y respiraderos.

En los diferentes países donde estos suelos han sido objeto de estudio se les identifica con nombres diferentes, así encontramos que en Japón son llamados suelos negros de cenizas volcánicas, suelos húmicos de alofana, andosoles, Kurotsuchi (20, 83); en Nueva Zelandia se identifican como alvisoles o migajones pardo amarillos (20, 83); en Hawaii, suelos de cenizas volcánicas, latosoles húmicos e latosoles hidro-húmicos de acuerdo con la clasificación de clima; en Chile y Argentina como suelos trumao, andosoles o suelos húmicos de alofana (7, 20, 83). Dudal (20) y Martini (45) advierten que todos estos nombres tienen diferentes definiciones y límites que introducen un margen de usos considerables al hacer comparaciones.

El nombre comúnmente utilizado es el de "Andosol" que fue acordado durante la reunión sobre Clasificación y Correlación de Suelos Derivados de Cenizas Volcánicas, auspiciado por FAO-UNESCO en Tokyo, Japón en 1964 (2). Se definieron como "Suelos minerales desarrollados bajo condiciones húme-

das o sub-húmedas, cuya fracción activa es dominada por material amorfo en un mínimo del 50 %, con una gran capacidad de adsorción y absorción, alto contenido de materia orgánica, densidad aparente y adherencia bajos; poseen un horizonte A de color oscuro, friable y profundo. Pueden tener un horizonte B y no mostrar un movimiento de arcilla significativo.

Según Tekehara citado por Palencia (59) y Luzuriaga (41) el proceso de formación y desarrollo de los andosoles tienen efecto por mecanismo alítico ya que la relación sílice/alúmina es más baja que la de suelos no derivados de cenizas volcánicas, con un contenido alto de alúmina libre. Dicho proceso de meteorización es resumido de la siguiente manera:

a.- Las cenizas nuevas muestran a menudo carácter fuertemente ácido por su contenido de materiales, inmediatamente se toman casi neutras.

b.- Como la meteorización es muy rápida en una masa pulverulenta con elevada área superficial, al principio se libera gran cantidad de bases y la solución del suelo muestra reacción básica.

c.- Las bases son lavadas rápidamente debido al clima muy húmedo, pero como el estado inicial de meteorización hay de sílica y alúmina, la lixiviación de los silicatos se efectúa bajo reacción básica.

d.- Al principio la sílice y la alúmina se combinan débilmente y más tarde, se produce la formación gradual de alofana.

e.- Conforme sigue la meteorización la alofana se cristaliza gradualmente para producir haloisita hidratada o gibsita.

Knox y Maldonado (35) apuntan que los procesos genéticos más importantes en estos suelos son:

- Acumulación de materia orgánica.
- Lixiviación de iones intercambiables.
- Meteorización de los minerales primarios, incluyendo el vidrio, para formar arcilla.
- El desarrollo de la estructura; y
- *Deposición sucesiva de material fresco.*

Martini (45) dice que en la génesis de suelos volcánicos el primer paso que se observa es la formación de Regosoles con perfiles AC poco profundos. En seguida aparecen los Andosoles con perfiles A (B) C; favorecida esta formación por la superficie de contacto, el alto contenido de vidrio volcánico y el libre desagüe.

De las investigaciones llevadas a cabo en Andosoles se han recopilado ciertas generalizaciones acerca de sus propiedades físicas (14, 27, 33, 45, 54, 72).

1.- El horizonte superficial es negro o muy oscuro y aunque el suelo esté cultivado persiste el color, ya que el contenido de materia orgánica se mantiene entre 8 - 28 % (26).

2.- El subsuelo es marrón - amarillo con consistencia semejante a la grasa o al jabón (26).

3.- Son suelos profundos, entre 50 y 100 cm. de profundidad y a menudo mucho más profundos.

4.- La textura dominante del suelo superficial es franco (con arena o limo en cantidades variables) y franco arenoso en el sub-suelo con revestimientos de óxidos o de materia orgánica (45).

5.- Schalscha (67) anota que las texturas determinadas en el campo son diferentes a las determinadas en el laboratorio, esto se debe a que la desecación del suelo por el aire produce cambios irreversibles significativos y los suelos forman agregados difíciles de dispersar.

6.- La plasticidad y pegajosidad es casi nula y el suelo es difícil de rehumedecer hasta el punto que los agregados flotan.

7.- La estructura es generalmente granular y en bloques sub-angulares, débil fina o media; todo el perfil es friable y blando (45, 77).

8.- La densidad aparente es baja, varía entre 0,2 y 0,8 gramos por centímetro cúbico.

9.- La arcilla del suelo tiene un alto punto isoeléctrico. Es extremadamente difícil de dispersar en análisis de textura.

10.- Normalmente son suelos permeables y el agua puede percolar con cierta facilidad.

Una buena parte de las propiedades anotadas anteriormente provienen de las características especiales de la alofana y como los geles de alofana son sensitivos a la sequedad hay diferencias morfológicas y físicas menores entre los Andosoles que se encuentran bajo condiciones de humedad y aquellos que están expuestos a sequedad solamente por intervalos breves pero regulares y aquellos que están expuestos a sequedad por largos intervalos (48).

En cuanto a propiedades químicas de suelos de cenizas volcánicas se tratarán de considerar aquellas que se aproximen más a las de los Andosoles de Costa Rica.

El pH de suelos jóvenes varía entre 5,0 - 6,0 aunque también encontramos suelos con tendencia a neutros cuando el principal componente de la fracción de arcilla es la montmorillonita. Es raro encontrar pH menores, debido a la capacidad amortiguadora de alofana y de los geles alúmina polimerizados (10, 72).

Una de las principales características de los suelos derivados de cenizas volcánicas es el alto contenido de materia orgánica (40, 73).

Wright (83) y Forsythe et al (26) indican que los valores de materia orgánica en el horizonte A varían de 8 - 28 %. Los andosoles centroameri-

canos tienden a concentrarse en áreas de clima húmedo y fresco (Andolización), que permiten un buen crecimiento vegetativo y una lenta descomposición orgánica, produciéndose altos porcentajes de materia orgánica.

En general la capacidad de intercambio de cationes en los suelos volcánicos es relativamente alta (15, 28). Los valores encontrados en suelos volcánicos de América Central varían entre 11,5 y 45,2 meq/100 g. de suelo (54).

Writh (83) reportó valores moderados (20-40 meq/100 g de suelo) y alta (78 meq/100 g de suelo) para andosoles de Sur América; anota que la alta capacidad de intercambio es debido principalmente al contenido de alofana y materia orgánica y a veces de la presencia de arcillas del tipo 2: 1.

En las bases intercambiables predomina el calcio sobre el magnesio y potasio, pero los suelos de cenizas con alto contenido de olivino son ricos en magnesio. Se reportan para suelos volcánicos, centroamericanos valores de 20-6-3 meq/100 g de suelo de calcio, magnesio y potasio respectivamente (49, 54).

Briceño (14) reporta para algunos suelos de origen volcánico de Costa Rica valores de calcio que oscilan entre 2,80 y 8,80 meq/100 g de suelo; para magnesio 0,83 a 4,38 meq/100 g de potasio de 0,10 a 2,46 meq/100 g.

Estos suelos presentan una alta capacidad de fijación del fósforo (45). Gutnik et al citado por Luzuriaga (41) dice que suelos derivados de cenizas volcánicas pueden fijar un alto porcentaje (80 - 90 %) del fósforo suministrado como fertilizante. Esto se ha puesto en evidencia por varios autores (1, 52, 66). En condiciones de alta acidez el hierro y el aluminio forman complejos de baja solubilidad con los iones fosfato (35).

Kobo (36) anota que la fijación del fósforo también depende de la cantidad y clase de arcilla presente pues aumenta a medida que avanza la meteorización y decrece cuando en etapas posteriores la alofana se meteoriza a minerales de arcilla del tipo 1: 1. Este comportamiento explica la grave deficiencia del fósforo en suelos volcánicos de Centroamérica (24), los valores encontrados varían entre 0.6 y 9,3 ppm de fósforo disponible (45).

Los elementos menores, en general se encuentran en cantidades suficientes debido a la rápida y simultánea meteorización de minerales primarios (10). Las deficiencias reportadas hasta ahora son de molibdeno, boro y zinc.

Respuesta de los pastos a la fertilización en Andosoles

Según Alba (3) la producción y calidad de los pastos está determinada por los factores edafologénéticos, estado fisiológico de la planta y climáticos. La eficiencia de un suelo como factor de producción y calidad de forraje está dada por las propiedades físicas y químicas inherentes a él. Peterson (64) indica que las propiedades físicas del suelo influyen

sobre las actividades de las raíces y afectan el desarrollo de la raíz y la parte aérea de la planta. Según Millar et al (51) la fertilidad del suelo en la mayoría de los casos depende de su composición química, pero en sí está dada por la disponibilidad de nutrimentos que la planta absorbe.

Para obtener los mejores resultados de un programa de fertilización se deben tener en cuenta varios factores, entre los cuales se destacan el estado actual de la fertilidad del suelo, las necesidades nutricionales del pasto, época de aplicación, dosis, frecuencia y clase de fertilizante (39).

Existe abundante literatura relacionada con la fertilización de pastos en diferentes partes del mundo en suelos con características semejantes a los estudiados. La información disponible indica que las aplicaciones de nitrógeno incrementan la producción y mejoran la calidad del forraje de casi todas las gramíneas estudiadas (11, 17, 18, 50, 65). La mayoría de los autores están de acuerdo en que la respuesta al nitrógeno es más notable en el trópico (17).

De acuerdo con Vicente Chandler (79), el fósforo, potasio y calcio mejoran la eficiencia de utilización del nitrógeno por los pastos, pero son requeridos en cantidades inferiores y menos frecuentes que el nitrógeno. Este mismo autor encontró que el nutrimento más limitante en el cultivo de los pastos es el nitrógeno, especialmente bajo condiciones tropicales y sub-tropicales.

Blue (11) investigó los efectos de aplicaciones de varios niveles de N, P, K, a pastos cultivados en andosoles de la Estación Experimental "El Alto". Encontró que de tres especies estudiadas, el Kikuyo fue el que dio una respuesta altamente significativa a aplicaciones de nitrógeno, donde las cosechas aumentaron en forma lineal hasta el nivel máximo de aplicación.

Killinger (34) en experimentos preliminares con algunos zacates y leguminosas en la Estación Experimental "El Alto" determinó que estos responden bien a la aplicación de nitrógeno, fósforo y potasio lo mismo que a la aplicación del cal agrícola. Las leguminosas responden más al fósforo, potasio y cal y en menor extensión a la aplicación de fertilizantes nitrogenados, resultados muy parecidos ha encontrado el mismo autor en pruebas similares en Ojo de Agua, Irazú, Paraíso y El Capulín. Algunos experimentos preliminares con elementos menores utilizando zacates y tréboles como plantas indicadoras mostraron una buena respuesta a su aplicación.

Coward (16) al evaluar el efecto de la fertilización de la mezcla forrajera Kikuyo trébol para la producción de carne en Andosoles concluye que la aplicación de fertilizante nitrogenado y fosfatado triplica la producción de forraje, especialmente cuando se realiza en la época lluviosa. Además, el forraje fertilizado presentó una mejor digestibilidad lo que permite mantener el doble de novillos por hectárea que el no fertilizado.

Métodos de evaluación de fertilidad

Existen diversas técnicas que se emplean comúnmente para dar una indicación del grado de fertilidad de un suelo. Entre ellas tenemos:

- 1.- Síntomas de deficiencia de nutrimentos en las plantas.
- 2.- Análisis de los tejidos de las plantas que crecen en el suelo.
- 3.- Pruebas biológicas en las cuales el crecimiento de las plantas superiores o de ciertos microorganismos se usa como una medida de fertilidad (74).
- 4.- Análisis químico de suelos.

Dentro de las pruebas biológicas las hay de campo y de invernadero; siendo la primera la que permite obtener los datos más confiables para interpretar y hacer recomendaciones de fertilización (73). El problema de estas pruebas es que son caras y largas de realizar y es imposible controlar las condiciones climáticas y los demás factores limitantes. Los ensayos de invernadero consisten en utilizar plantas en potes con diversos suelos, a las cuales se les agrega distintos nutrimentos, para estudiar su efecto en el crecimiento vegetal. Mediante estos ensayos se conoce con certeza cuales elementos se hayan deficientes; los resultados deben correlacionarse con los análisis químicos y se consideran índices preliminares de las condiciones de campo, debido a que la relación suelo-

planta es mucho menor en los potes empleados en el invernadero, que en relación con el campo. La ventaja de este tipo de ensayo es que son más simples, rápidos y económicos (74).

La técnica del elemento faltante usada en este estudio se conoce desde 1838 cuando Boussegaul citado por Flor (27) experimentó con macetas bajo condiciones controladas, y su eficiencia la comprobaron Wagner 1883 citado por Martini (43) y Horstmar citado por Schenchel (68). Estudios posteriores han permitido afinar la metodología, en cuanto al tamaño de las macetas, el volumen de suelo, fuentes de nutrimentos, método de aplicación de los elementos nutritivos, planta indicadora e interpretación de datos.

Esta técnica ha sido ampliamente utilizada por numerosos autores en diversas partes del mundo (29, 30, 31, 37, 42, 61, 81) y también en nuestro país (25, 43, 44, 46, 47, 53, 58, 71).

MATERIALES Y METODOS

Descripción General del Area

Posterior a la fase post-orogénica del Cuaternario los volcanes de la Cordillera Volcánica Central han producido materiales en gran parte basalto-andesítico y las cenizas de éstos se han distribuido a través de toda la Meseta Central, lo que ha ocasionado un continuo rejuvenecimiento e incluso estos materiales han sepultado otras formaciones geológicas como: tobas, lovinas, etc. (2, 8, 45, 78).

Específicamente hablando de la zona en estudio se puede decir que la formación geológica que domina es la de arenas y cenizas volcánicas del Cuaternario (2, 78), las que se sitúan sobre un basamento de sedimentos del Terciario Superior y aglomerados volcánicos, según Murata, Dondolí y Sáenz (55).

Los suelos de las fincas en estudio pertenecen a la Serie Heredia (78) todos ellos clasificados como Typic Dystrandept (*). La formación de estos suelos indica un arrastre de depósitos piroplásticos finos y gruesos, los cuales estaban en proceso más o menos avanzado de meteorización. Algún tiempo después de iniciada la meteorización de esos materiales hubo una caída de cenizas y arena que las sepultaron (2, 78).

(*) (Alfredo Alvarado, comunicación personal 1979).

El regimen de lluvias de la zona varía con la altura siendo aproximadamente de 2000-25000 mm la precipitación promedio anual en las partes bajas y llegando a cerca de 4000-5000 mm de precipitación anual en las partes elevadas (2, 78).

En cuanto a la vegetación, dominan los pastos, existe en algunos casos árboles de jaul, que forman cercas de los pastizales (2).

El clima de la región se clasifica como templado húmedo y en cuanto a la ecología según la clasificación de zonas de vida de Holdridge, según Tossi (75) las fincas "J. M. Ruiz" y "San Miguel" se encuentran en el bosque muy húmedo montano bajo y las fincas "Los Bambinos" y "Sacramento" en el bosque pluvial montano bajo.

La zona en estudio está comprendida aproximadamente entre $84^{\circ}, 06'$ y $84^{\circ}, 09'$ longitud oeste y entre los $10^{\circ}, 13'$ y $10^{\circ}, 07'$ longitud norte en la provincia de Heredia.

Las fincas muestreadas se ubican de la siguiente manera: finca "J. M. Ruiz" en San José de la Montaña centro, con una altitud aproximadamente de 1520 m.s.n.m.; finca "San Miguel" en la localidad de San Miguel a una altura de 1680 m.s.n.m.; finca "Los Bambinos" ubicada en Paso Llano a una altura de 2.100 m.s.n.m.; y finca "Sacramento" localizada en el poblado del mismo nombre a una altura de 2.300 m.s.n.m. Para los estudios realizados, las fincas se disponen en una secuencia de menor a mayor en cuanto a altura.

Características del ensayo

El trabajo de invernadero se realizó en el Centro de Investigaciones Agronómicas de la Universidad de Costa Rica, cita en San Pedro de Montes de Oca, San José.

Las muestras de suelo se tomaron a una profundidad de 20 cm y corresponden a terrenos dedicados al pastoreo con topografía y drenaje moderado. Las muestras se secaron al aire y se les eliminó materiales gruesos y restos de raíces, luego se homogenizaron, procediéndose a tomar muestras de 500 gramos de peso.

Las macetas consistían de macetas plásticas de 500 cc de capacidad, estos se limpiaron, se les perforó el fondo y fueron colocados sobre platos hondos de plástico para evitar la pérdida de la solución del suelo y a la vez regarlas por capilaridad.

Como planta indicadora se utilizó sorgo (Sorghum vulgare) por ser una planta que se enferma relativamente poco, es bastante exigente en cuanto a sus requerimientos nutritivos y además crece normalmente bajo condiciones de invernadero.

La técnica del elemento faltante aquí diseñada consiste de 14 tratamientos con tres repeticiones en un diseño irrestrictamente al azar como se observa en el Cuadro 1. En el Cuadro 2 se presentan las dosis y fuentes de cada nutrimento, para todos los casos se emplearon reactivos quími-

amente puros para aumentar la solubilidad y reducir las contaminaciones. Los diferentes elementos se aplicaron en soluciones y a la vez sobre el suelo húmedo, se esperó dos días entre la aplicación y la siembra, lo cual permite establecer un equilibrio entre los nutrimentos y el suelo.

Se sembraron 20 semillas por maceta; una vez germinadas se dejaron 10 plantas por tratamiento. El agua se aplicó cada dos días a plantas pequeñas y cada dos días o dos veces al día para las más desarrolladas para mantenerlas aproximadamente a capacidad de campo. La cosecha de la parte aérea se efectuó a las 7 semanas de crecimiento, se secaron en la estufa a 60 C° durante 24 horas y se obtuvo el peso. Antes de cosechar se tomaron fotografías para comparar cada tratamiento con el testigo y el completo.

Análisis de suelo

Las muestras se secaron al aire y una vez molidas se pasaron por una criba de 2 mm. para realizar posteriormente los análisis.

El pH se determinó con un potenciómetro Corning, modelo 7 en una relación suelo - agua y suelo - KCl de 1: 2,5 (62). El pH obtenido en NaF se realizó utilizando la metodología de Fieldes y Parrot (70). La materia orgánica se determinó por el método de Walkey y Black (80) y el nitrógeno total por el método semi-micro Kjeldhal (13). La capacidad de cambio y las bases cambiables se determinaron por saturación del complejo de cambio

Cuadro 1: Descripción de los tratamientos usados en la investigación

Número	Tratamientos
1	Completo, (Contiene todos los elementos: N, P, K, Ca, Mg, S, Cu, Zn, Mn, Fe, Mo, B.
2	Completo menos nitrógeno
3	Completo menos potasio
4	Completo menos calcio
5	Completo menos fósforo
6	Completo menos magnesio
7	Completo menos azufre
8	Completo menos manganeso
9	Completo menos cobre
10	Completo menos zinc
11	Completo menos boro
12	Completo menos molibdeno
13	Completo menos hierro
14	Testigo

Cuadro 2: Dosis y fuentes de nutrimentos para los diferentes tratamientos

Nutrimento	Dosis del Elemento		Fuente de Nutrimento
	Kg/ha	g/maceta	
N	200	0,05	$\text{KNO}_3, \text{Ca}(\text{NO}_3)_2$
P	500	0,125	$\text{Na H}_2\text{PO}_4$
K	200	0,05	KNO_3
Ca	500	0,125	$\text{Ca}(\text{NO}_3)_2, \text{CaCl}_2, 2\text{H}_2\text{O}$
Mg	300	0,075	$\text{MgO}, \text{MgSO}_4 + 6\text{H}_2\text{O}$
S	100	0,025	$\text{MgSO}_4 + 6\text{H}_2\text{O}$
			$\text{CuSO}_4 + 5\text{H}_2\text{O}$
			$\text{ZnSO}_4 + 7\text{H}_2\text{O}$
			$\text{MnSO}_4 + \text{H}_2\text{O}$
Cu	10	0,0025	$\text{CuSO}_4 + 5\text{H}_2\text{O}$
Zn	20	0,005	$\text{ZnSO}_4 + 7\text{H}_2\text{O}$
Mn	40	0,01	$\text{MnSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$
Fe	50	0,0125	$\text{FeC}_6 \text{C}_6 \text{H}_5 \text{O}_7$
B	10	0,0025	H_3BO_3
Mo	10	0,0025	$(\text{NH}_4)_6 \text{MO}_7 \text{O}_{24} \cdot \text{H}_2\text{O}$

con amonio y determinación del amonio (63).

El fósforo se determinó del extracto obtenido al tratar el suelo con ácido sulfúrico 0,1 N por el método colorimétrico de Troug (32) mediante un fotocolorímetro Coleman modelo 295. El manganeso se determinó oxidando el manganeso en solución a permanganato con peryodato de potasio por el método colorimétrico (81).

El azufre total se obtuvo a partir del extracto obtenido con KH_2PO_4 0,016 M determinado luego por el método turbidimétrico (21). El boro se determinó mediante el procedimiento expuesto por O. Kagaki y Chao (57), dicho método es una modificación del usado por Berger y Troug (6), los elementos calcio, potasio, magnesio, cobre, hierro y zinc, se determinaron del extracto obtenido al saturar el complejo de cambio con amonio realizado en un espectrofotómetro de absorción atómica Perkin Elmer, modelo 303 (62).

La textura se determinó mediante la técnica de Bouyoucos (12) modificada por Day (19).

RESULTADOS Y DISCUSION

1.- Análisis físicos

En el Cuadro 3 se presentan los valores obtenidos en el análisis físico de las muestras de suelo de las cuatro fincas en estudio, se observa que la textura del suelo para las fincas " J. M. Ruiz " y " San Miguel ", es franco arcilloso mientras que para las fincas " Los Bambinos " y " Sacramento " es franco limoso y franco arcilloso-arenoso, respectivamente.

2.- Análisis químico

En el Cuadro 4 se observan los datos del análisis químico de las cuatro fincas en estudio, con respecto a este encontramos las siguientes características:

El pH de los suelos en KCl en las cuatro fincas muestran valores comprendidos entre 5 y 6, lo cual puede ser considerado mediante ácidos, dichos resultados concuerdan con los encontrados por Alvarado (5) y Alpízar (4). Tomando el pH como un factor indirecto para señalar algunos problemas podría esperarse desbalance de cationes, fijación de fósforo y pobre nitrificación.

El contenido de materia orgánica se considera muy alto con valores comprendidos entre 13 y 17 %, resultados que son típicos de los andosoles

Cuadro 3: Características textuales de los Suelos en Estudio

Finca	Elevación (m.s.n.m.)	Arcilla %	Limo %	Arena %	Nombre Textual
J. M. Ruiz	1.520	26,0	34,4	35,6	franco arcilloso
San Miguel	1.680	28,8	30,4	41,6	franco arcilloso
Los Bambinos	2.100	10,0	50,4	39,6	franco limoso
Sacramento	2.300	20,0	25,8	54,2	franco arcilloso-arenoso

Cuadro 4: Características químicas parciales de los suelos en estudio

FINCA	pH				%		ppm							meq/100 g de suelo				Relaciones catiónicas			
	H ₂ O	KCl	Naf 2' 60'		M.O	N. tot.	P	Mn	S	Cu	B	Zn	Fe	Ca	K	Mg	CIC	Ca/Mg	Mg/K	Ca/K	Ca Mg/K
J. M. Ruiz	6,4	5,4	10,8	11,5	14,74	0,13	21,52	0,32	42,0	0,08	5,0	1,05	0,44	5,20	1,18	7,91	34,05	0,66	6,70	4,41	11,11
San Miguel	5,4	5,0	10,2	11,6	16,35	0,18	16,79	0,32	15,0	0,03	4,8	1,00	0,35	5,02	0,52	5,25	35,11	0,96	10,10	9,65	19,75
Los Bambinos	5,6	5,0	11,3	11,7	16,21	0,21	18,89	0,87	25,0	0,05	3,9	0,23	tra- zas	5,50	0,83	4,04	34,89	1,36	4,87	6,63	11,49
Sacramento	6,0	5,0	11,4	11,8	13,94	0,13	11,61	0,23	21,0	0,02	3,4	0,13	tra- zas	3,38	0,99	2,69	33,20	1,25	2,72	3,41	6,13

(43, 45). El nitrógeno total en las cuatro fincas se encuentra en niveles muy bajos; comparando el rendimiento de peso seco del tratamiento completo con el tratamiento sin nitrógeno se puede observar (figura 5) que la respuesta a este elemento es bastante considerable, acentuándose aún más en la finca " Sacramento ". Esta respuesta se debe posiblemente a que el contenido de este nutrimento es afectado principalmente por el factor (temperatura y precipitación), además del alto contenido de materia orgánica, la cual se encuentra fijada o estabilizada por materiales amoros, dificultando con ello su mineralización (43).

El fósforo disponible es muy bajo en todas las fincas, este dato concuerda con los valores obtenidos por Alvarado (5). En general los andoles son reconocidos como suelos altamente fijadores de este nutrimento, debido a la predominancia de óxidos hidratados de hierro y aluminio (9, 23, 76) y de allí las respuestas a los fertilizantes fosfatados.

El contenido de calcio fue muy parecido para todas las fincas, con valores bajos en todos los casos, mostrando la finca " Sacramento " un mayor déficit de este elemento, posiblemente debido a un lavado continuo del nutrimento por la alta precipitación de la zona, así como al manejo de las fincas. Los valores obtenidos para el potasio muestran que este elemento se encuentra en cantidades relativamente altas, aunque estos resultados analíticos no concuerdan bien con los de la prueba biológica ya que es después del fósforo, nitrógeno y manganeso es el elemento más limitante. Sin embargo, Martini (43) ha encontrado iguales respuestas a la fertilización con este nutrimento.

Los niveles de magnesio encontrados demuestran una tendencia a la disminución con respecto a la altura de las fincas siendo más bajo su contenido en el caso de la finca " Sacramento ". Posiblemente estos resultados se deben a un mayor lavado en las partes más altas, de ahí su poca respuesta en el caso de la finca " J. M. Ruiz ". Estos resultados concuerdan con los reportados por Martini (43), Alvarado (4) y Palencia y Martini (60), para esta zona.

Los valores de manganeso son bajos en todos los casos siendo después del fósforo y nitrógeno el elemento más limitante. El azufre y el zinc al igual que el resto de los elementos menores se encuentran en cantidades moderadas y la respuesta es muy poca.

La capacidad de intercambio catiónico es alta, lo cual es típico de los andosoles debido al gran contenido de materia orgánica; además los valores encontrados concuerdan con los hallados por Martini (44, 45), Palencia y Martini (60) y Muller (54).

La relación entre los cationes divalentes calcio y magnesio fue baja, lo cual se explica principalmente por el déficit de calcio existente en la zona y se observa que esta relación va aumentando conforme se aumenta la altura de las fincas en estudio. La relación entre el magnesio y el potasio se puede considerar como alta en todos los casos por lo que se obtuvo una mayor respuesta al potasio que al magnesio. La relación calcio-potasio, se considera como media y en cierto grado interfiere coadyuvando a la deficiencia de potasio. La relación entre los cationes divalentes

calcio y mangesio con el monovalente potasio es media en las tres primeras fincas y baja en la finca " Sacramento ".

Análisis e interpretación estadística

La evaluación de la fertilidad de las diferentes fincas y suelos se efectuó en base a la variable peso en gramos de materia seca.

En los Cuadros 5, 6, 7, 8 se representan los resultados. En el Cuadro 6 se transcribe el análisis de varianza realizado para este fin, en él se observan que tanto los tratamientos como las fincas y la interacción finca por tratamiento fueron altamente significativas. En resumen, el análisis de varianza demuestra que existe una respuesta diferencial a los tratamientos ($P \leq 0,05$).

En los Cuadros 5 y 7 se presentan los promedios del rendimiento de peso secon en las diferentes fincas, como se observa fue mayor en " J. M. Ruiz " seguida de " Los Bambinos ", " San Miguel " y por último " Sacramento ", todos resultan estadísticamente diferentes.

En el Cuadro 8 se transcriben los resultados en cuanto a tratamientos se refiere, el mayor rendimiento en peso seco se obtuvo con el tratamiento completo; luego le sigue el tratamiento donde no se adicionó zinc. Los tratamientos que dieron menor rendimientos en peso seco fueron el testigo y el tratamiento donde no se adicionó fósforo, sin que existan diferencias significativas entre ellos, Le siguen el tratamiento sin nitrógeno y el

Cuadro 5: Efecto de los diferentes tratamientos sobre la producción de forraje (g/maceta) en base seca en los suelos de las fincas estudiadas.

tratamiento	finca			
	1	2	3	4
Completo	2,626	1,564	1,848	1,406
-N	1,481	0,973	0,867	0,698
-P	0,891	0,764	0,836	0,459
-K	1,589	1,156	1,317	0,967
-Ca	1,868	1,098	1,428	0,797
-Mg	2,098	1,027	1,510	0,906
-S	2,037	1,346	1,506	1,089
-Fe	2,120	0,817	1,859	1,082
-B	2,024	0,915	1,709	0,897
-Mn	1,140	1,173	1,476	0,859
-Mo	2,430	1,074	1,440	1,030
-Cu	1,584	1,078	1,454	1,087
-Zn	2,466	1,343	1,721	1,081
testigo	0,832	0,562	0,935	0,427

Finca 1 : J. M. Ruiz

Finca 2 : San Miguel

Finca 3 : Los Bambinos

Finca 4 : Sacramento

Cuadro 6: Análisis de la variación del peso seco (en gramos) en las diferentes fincas y tratamientos.

Fuentes de Variación	G.L.	S.C.	C.M.	F. Observada
Finca	3	19,8524	6,6175	480,7794 **
Tratamiento	13	15,9004	1,2231	88,8631 **
Finca x tratamiento	39	5,7061	0,1463	10,6299 **
Error	112	1,5416	0,0138	
Total	167	43,0005		

C.V. : 8,98

Cuadro 7: Producción promedio de materia seca en gramos por maceta, en las diferentes fincas y su agrupación de acuerdo con la prueba de Duncan al 5%.

finca	\bar{X}	Agrupación
J. M. Ruiz	1,1798	a (1)
Los Bambinos	1,445	b
San Miguel	1,064	c
Sacramento	0,916	d

(1) Fincas con diferente letra indican que son estadísticamente diferentes ($P \leq 0,05$)

Cuadro 8: Rendimiento promedio peso seco en gramos de los tratamientos y su agrupación según la prueba de Duncan al 5 %.

Tratamientos	\bar{X} Gramos/maceta	Agrupación
Completo	1,872	a (1)
-Zn	1,653	b
-S	1,494	c
-Mo	1,493	c
-Fe	1,468	cd
-B	1,386	de
-Mg	1,385	de
-Cu	1,301	ef
-Ca	1,298	ef
-K	1,257	fg
-Mn	1,162	gh
-N	1,088	h
-P	0,737	i
Testigo	0,689	i

(1) Tratamientos con letra diferente indican que difieren estadísticamente ($P \leq 0,05$).

que no tiene manganeso a su vez este último no muestra diferencias con el tratamiento sin potasio, así mismo no existen diferencias entre estos dos últimos con los tratamientos donde no se adicionó magnesio, boro ni hierro ni entre los tratamientos sin hierro, molibdeno ni azufre. De este cuadro se deduce que el elemento más deficiente es el fósforo, luego le sigue el nitrógeno más deficiente y el zinc es el elemento que se presenta menos limitante, concordando estos resultados con los obtenidos por diversos autores (23, 44, 45, 60).

Como se observa en el Cuadro 1 del apéndice y en la (figura 1) el rendimiento en peso seco obtenido con los diferentes tratamientos en la finca " J. M . Ruiz ", los elementos más deficientes son el fósforo y manganeso respectivamente siendo éstos estadísticamente diferentes; en un tercer lugar en importancia se encuentran los elementos nitrógeno, cobre y potasio con un rendimiento casi similar y no habiendo diferencias estadísticas entre ellos.

Los elementos calcio, boro, azufre, magnesio y hierro ocupan una cuarta posición con poca diferencia de rendimiento entre ellos, el resto de los elementos presentan valores muy similares al tratamiento completo y son iguales según Duncan.

Como se aprecia en el Cuadro 2 del apéndice y figura 2 correspondientes a la finca " San Miguel ", el tratamiento sin fósforo presentó los rendimientos más bajos. Le continúa el hierro, boro y nitrógeno con un rendimiento casi similar y no habiendo diferencias estadísticas entre ellas,

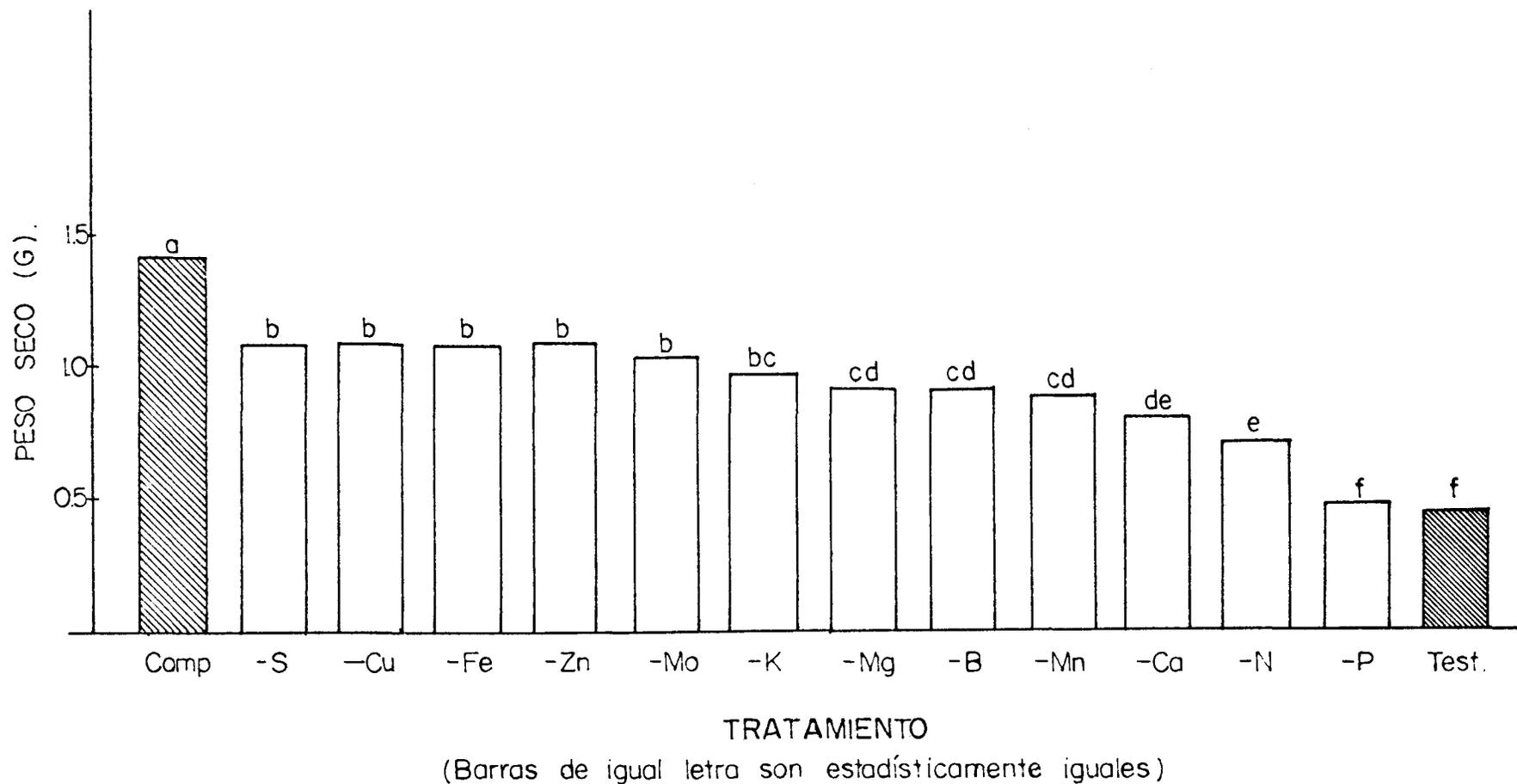


FIG. N° 4. Efecto de los tratamientos sobre la producción de materia seca en la finca "SACRAMENTO".

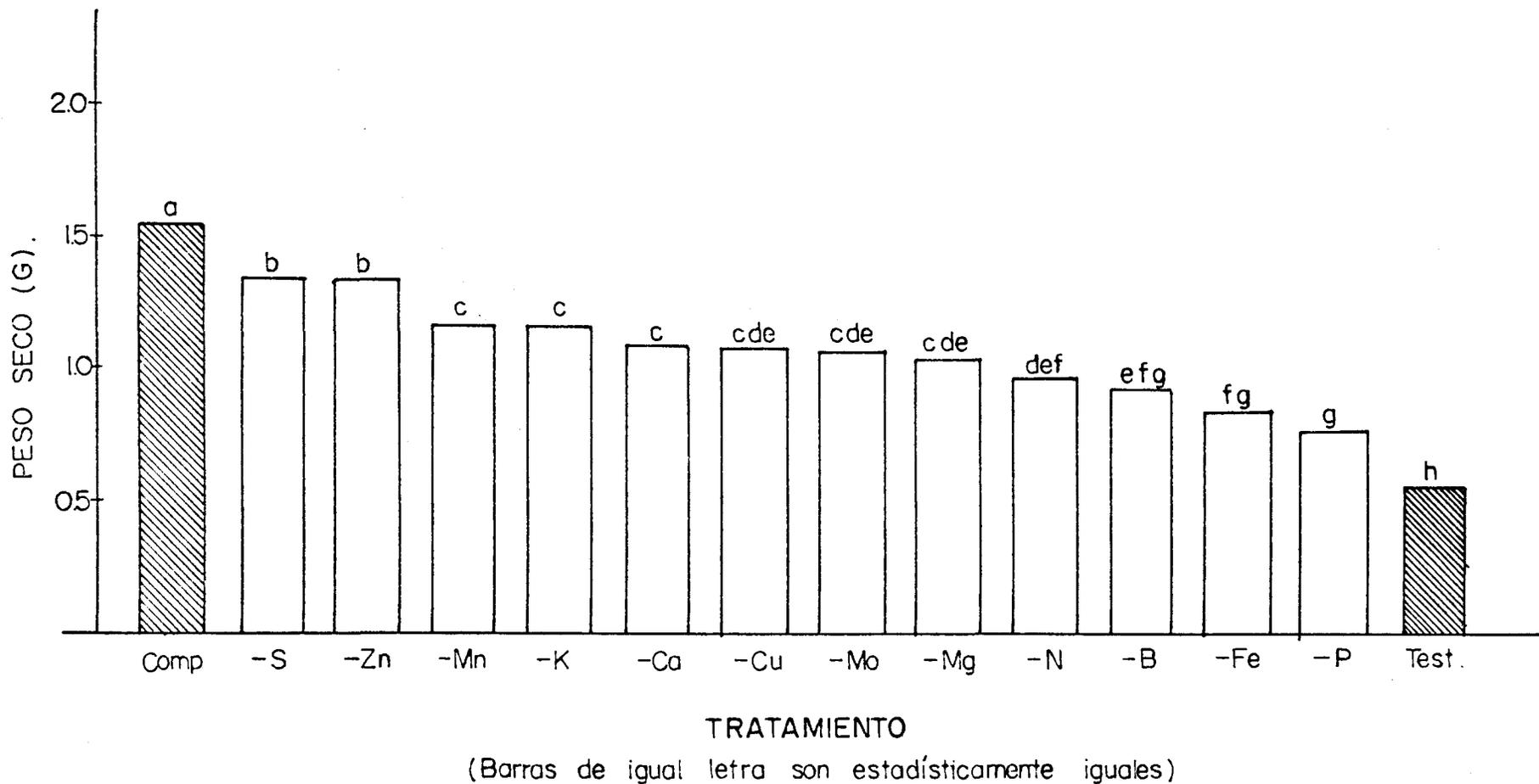


FIG. Nº2. Efecto de los tratamientos sobre la producción de materia seca en la finca "SAN MIGUEL."

continuándole muy cerca los tratamiento sin adición de magnesio, molibdeno, cobre, calcio, potasio y manganeso ocupando un segundo lugar en importancia. En una tercera posición con un rendimiento mayor está el zinc y azufre con valores muy cercanos al tratamiento completo.

En el Cuadro 3 del apéndice y figura 3 se presentan los rendimientos obtenidos en la finca " Los Bambinos ", se observan tres grupos de elementos con bastante uniformidad en cuanto a las deficiencias, siendo el fósforo y el nitrógeno los elementos más limitantes seguidos en una segunda posición por el potasio, calcio, molibdeno, cobre, manganeso, azufre y magnesio, y en un tercer lugar el grupo formado por los elementos boro, zinc, hierro con valores muy cercanos al tratamiento completo, no existiendo diferencia estadística dentro de cada uno de estos grupos según Duncan.

En el Cuadro 4 del apéndice y figura 4 se muestran los resultados obtenidos en la finca " Sacramento " en ellas se observa al igual que en la finca anterior tres grupos de elementos con bastante uniformidad en cuanto a deficiencias aunque las diferencias entre ellos es poco notable. Encontramos que el fósforo ocupa el primer lugar como elemento limitante seguido por los elementos nitrógeno, calcio, manganeso, boro, magnesio y potasio sin que exista diferencia estadística entre ellos como sucede con el tercer grupo constituido por el resto de los elementos.

En cuanto a la interacción fincas por tratamientos (figura 5) se puede observar que de acuerdo con los resultados obtenidos de rendimiento en ma-

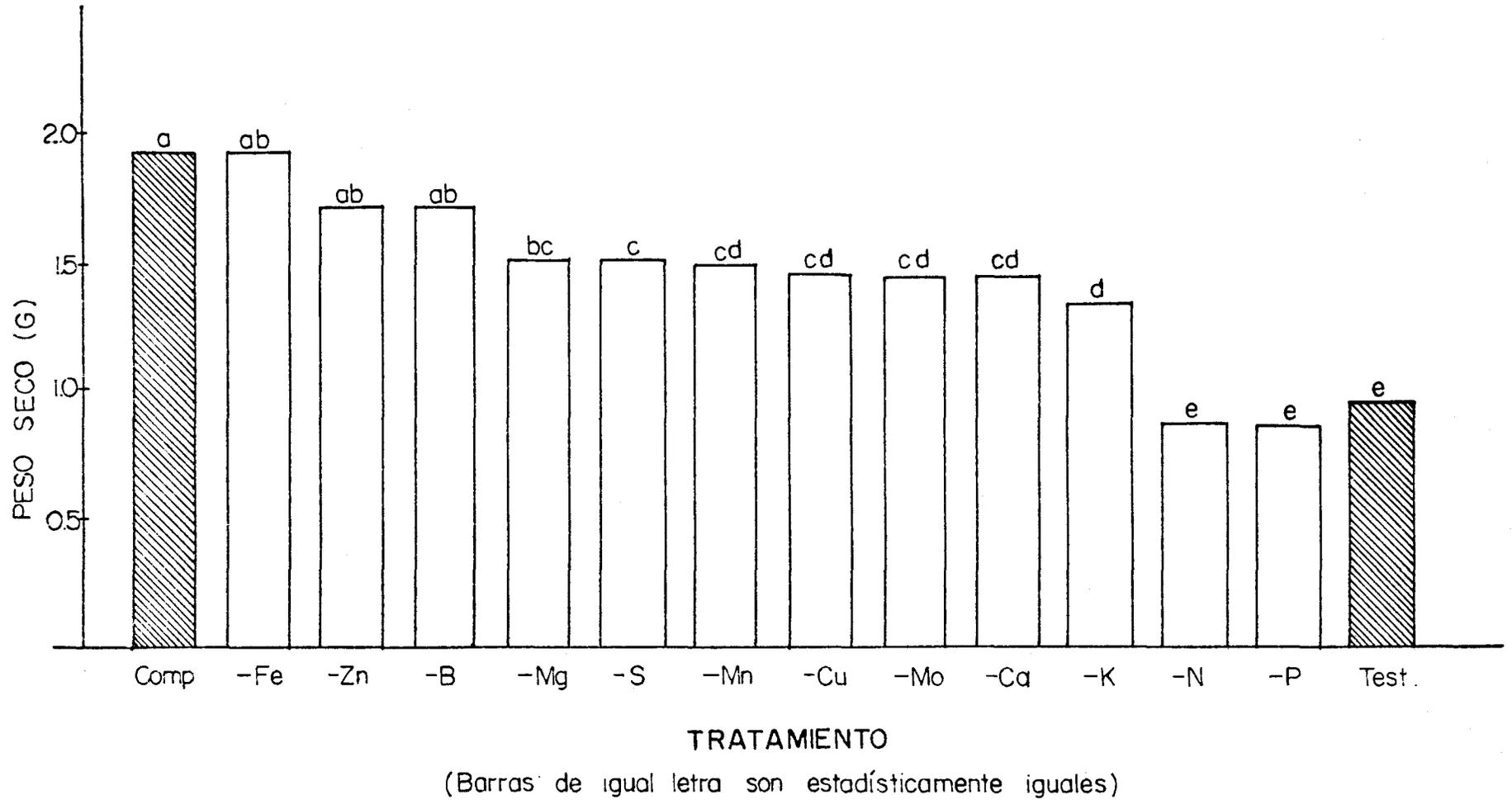
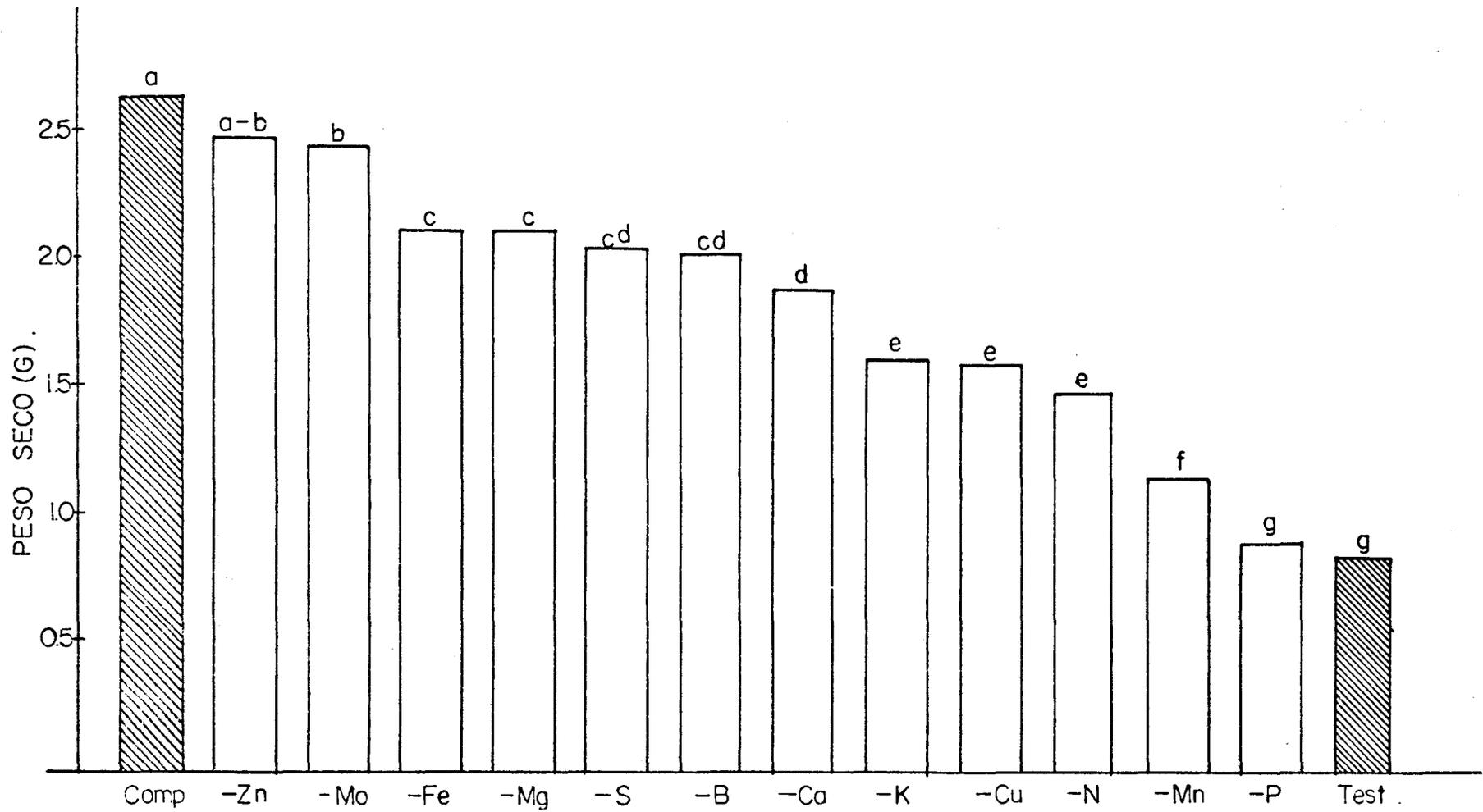


FIG.Nº3. Efecto de los tratamientos sobre la producción de materia seca en la finca "LOS BAMBINOS".



TRATAMIENTO

(Barras de igual letra son estadísticamente iguales)

FIG. Nº 1. Efecto de los tratamientos sobre la producción de materia seca en la finca "J.M. RUIZ."

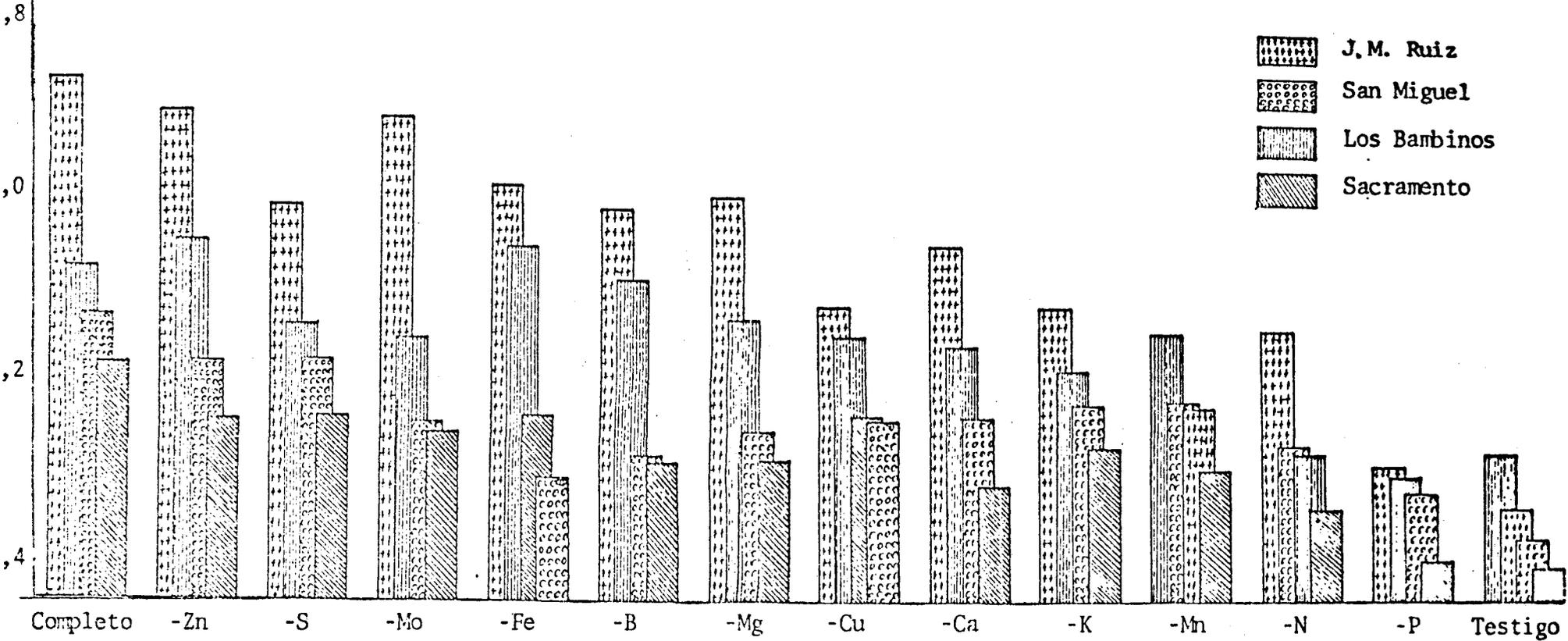


Fig. Nº 5: Efecto de los tratamientos sobre el rendimiento de materia seca en las fincas en estudio

teria seca (Cuadro 6) y el análisis estadístico realizado a la misma variable (Cuadro 5) que los elementos fósforo y nitrógeno son frecuentemente deficientes en esta zona y en algunos casos la deficiencia es en estos suelos extrema como lo demuestran otros trabajos realizados (23, 44, 60).

El resto de los nutrimentos: potasio, calcio, magnesio, azufre y oligoelementos sino se agregan en cantidades adecuadas suelen también limitar la producción. El fósforo, es el elemento más limitante en todos los suelos de las fincas analizadas. Es obvio, que estos suelos, al igual que otros del trópico, son altamente deficientes en fósforo, dado que su disponibilidad para las plantas muchas veces es baja y el fósforo aplicado en forma de fertilizante rápidamente fijado por el suelo (24, 43).

Fassbender (24) afirma que en suelos de origen volcánico predominan los fosfatos de hierro y aluminio, estos lo hacen poco acequibles para las plantas, además el mismo autor agrega que esto es ayudado por los contenidos de materia orgánica.

Comparando la producción del tratamiento completo con el tratamiento sin nitrógeno podemos darnos cuenta que la respuesta al nitrógeno es considerable en todas las fincas con excepción de la finca " J. M . Ruiz " la cual presenta un rendimiento mayor que el resto de las fincas no obstante existe marcada diferencia con el tratamiento completo. El contenido de nitrógeno, regido principalmente por el factor clima con sus variables: temperatura y precipitación coadyudan a la deficiencia de este elemento ya que inciden principalmente sobre el contenido de materia orgáni-

ca al hacer más lento su proceso de mineralización, además hace que los procesos de lixiviación se aceleren por lo que estos suelos responden bien a la fertilización nitrogenada (44, 60).

Todas las fincas estudiadas presentan un alto contenido de potasio intercambiable determinado por medio del análisis químico, sin embargo la respuesta de este elemento en la investigación es bastante significativo lo que coincide con lo hallado por Mehlich citado por Briceño (14) el cual indica que la magnitud normal del equilibrio $(Ca + Mg/K)$ es de 10 y que cuando el cociente es mayor; el contenido de potasio es insuficiente, este resultado es perfectamente aplicado a las tres primeras fincas con excepción de la finca " Sacramento " donde el resultado de la relación $Ca + Mg/K$ fue de 6,13 (Cuadro 2). Resultados parecidos a los encontrados para el potasio son los de manganeso que como se observa en el figura 6 y Cuadro 8 no existe diferencia estadística entre ellos ocupando en forma general un tercer lugar en importancia después del fósforo y nitrógeno, La respuesta al calcio, magnesio y cobre fue mayor que la del potasio y manganeso aunque las diferencias entre ellos es relativamente poca no existiendo diferencia estadística como se observa en el Cuadro 8. Según Palencia y Martini (60) los niveles de calcio, magnesio y potasio aumentan con el aumento de la temperatura y disminución en elevación y precipitación pluvial lo cual concuerda con los resultados obtenidos, Cuadro 2 y Figura 5.

Las deficiencias de elementos menores fueron de tercera a cuarta en importancia, como se observa en el Cuadro 8 y Figura 5 igual respuesta ha

encontrado Martini (44) al trabajar con suelos de la zona en estudio advirtiendo que la poca respuesta a estos elementos es debido principalmente a la presencia de cenizas recientes, además concluye que los andosoles responden menos a los micronutrientes que los latosoles (43) e igual que los aluvio-volcánicos.

El rendimiento para el tratamiento completo fue algo variable entre las fincas siendo la finca " J. M. Ruiz " la de mejor respuesta seguida luego por los " Los Bambinos ", " San Miguel " y " Sacramento" con una disminución de rendimiento de 25 %, 50 % y 57 % respectivamente, lo cual coincide con la prueba de Duncan indicada en el Cuadro 6. Iguales respuestas se obtuvieron con los tratamientos con omisión de zinc, azufre, molibdeno, boro, magnesio, calcio, potasio y fósforo. Tendencias ligeramente diferentes se encuentran en los tratamientos sin hierro, cobre ni nitrógeno.

CONCLUSIONES

De la presente investigación se concluye:

- 1.- La técnica del elemento faltante utilizada como método biológico, analítico y rápido permitió determinar el estado de fertilidad de los suelos en estudio, ya que correlacionan bien los contenidos de nutrimentos en el suelo.
- 2.- El sorgo (Sorghum vulgare) como planta indicadora resultó ser eficiente como también el parámetro utilizado en la exploración de las deficiencias nutritivas de los suelos.
- 3.- En la zona en estudio todos los suelos de las fincas son deficientes en fósforo y nitrógeno y la exclusión de estos en la fertilización probablemente reduce los rendimientos en forma considerable.
- 4.- Los cationes calcio, potasio y magnesio como elementos simples se encontraron bajos y las relaciones entre estos no son adecuadas.
- 5.- La deficiencia de microelementos se considera en tercer lugar en importancia, según los tratamientos, siendo el cobre el elemento con mayor respuesta y el zinc el de menor.
- 6.- En general, los resultados obtenidos en los análisis químicos se correlacionan con la prueba biológica.

7.- Las deficiencias minerales para los diversos nutrimentos presentadas de mayor a menor en las diferentes fincas con como sigue:

" J. M. Ruiz" = P > Mn > N > Cu > K > Ca > B > S > Mg > Fe > Mo > Zn

" San Miguel" = P > Fe > B > N > Mg > Mo > Cu > Ca > K > Mn > Zn > S

" Los Bambinos " = P > N > K > Ca > Mo > Cu > Mn > S > Mg > B > Zn > Fe

" Sacramento " = P > N > Ca > Mn > B > Mg > K > Mo > Zn > Fe > Cu > S

8. Las deficiencias minerales presentadas de mayor a menor para la zona son:

P > N > Mn > K > Ca > Cu > Mg > B > Fe > Mo > S > Zn

RESUMEN

Con el objeto de estimar el estado de fertilidad de cuatro suelos de la zona norte de Heredia, dedicados al pastoreo, se llevó a cabo un ensayo biológico bajo condiciones de invernadero mediante la técnica del elemento faltante empleando (Sorghum vulgare) como planta indicadora.

Los suelos en estudio corresponden a las fincas " J. M. Ruiz " " San Miguel "; " Los Bambinos " y " Sacramento ", situadas en dicha zona. Se determinó que el suelo de la finca " J. M. Ruiz " era la que presentaba un mejor grado de fertilidad seguida en orden decreciente por las fincas " Los Bambinos ", " San Miguel " y " Sacramento ". Todos los suelos clasifican como Typic Dystrandepts.

En general, todos los suelos de la zona tienen alta respuesta al fósforo, nitrógeno y manganeso, principalmente. La adición de potasio, calcio, magnesio y cobre en los tratamientos aumentan ligeramente el rendimiento de materia seca, mientras que el zinc, molibdeno y azufre no presentaron problema.

En la mayoría de los casos los resultados del análisis químico de los suelos se correlacionaron con los obtenidos en la prueba biológica, lo que indica que dicho método es apropiado para predecir el estado de fertilidad de los suelos como se ha demostrado con el presente trabajo.

LITERATURA CITADA

1. AGUILERA, H. N. Distribución geográfica y características de los suelos derivados de cenizas volcánicas de México. In panel sobre suelos derivados de cenizas volcánicas de América Latina, Turrialba. F.A.O./I.I.C.A. A-6, 11 pp. 1969.
2. AID (AGENCY FOR INTERNATIONAL DEVELOPMENT). Mapas climáticos, climáticos, vegetación, relieve y geología de suelos de Costa Rica. Resources Inventory Center, Corp. of Engineers, U.S.A. Army, Washington, D.C. 1965.
3. ALBA, J. D. y DAVIS, G. H. Minerales en la nutrición animal en la América Latina, Turrialba. 7 (1-2): 16-33. 1957.
4. ALPIZAR, O.L.A. Caracterización mineralógica de las fracciones arena, arcilla y determinación del Z.P.C. de cuatro perfiles de suelos ubicados entre los volcanes Poás y Barva. Tesis Universidad de Costa Rica, Facultad de Agronomía, 79 p. 1977.
5. ALVARADO, A. Fertilidad de algunos Andepts dedicados a potreros en Costa Rica, Turrialba. 23 (3): 265-270. 1975.
6. BERGER, K. C. y TROUG, E. Boron test and determination for soils and plants. Soil Science 57: 25-36. 1944.
7. BESOAIN, E. Mineralogía de las arcillas de suelos derivados de cenizas volcánicas de Chile. In panel sobre suelos derivados de cenizas volcánicas de América Latina, Turrialba, Costa Rica, I. I.C.A. pp 8.1.1.-17. 1969.
8. _____ Mineralogía de arcillas de algunos suelos volcánicos de Costa Rica. In panel sobre suelos volcánicos de América. Porto, Colombia, Universidad de Mariño e I.I.C.A. Serie informes de conferencias, cursos, reuniones, N. 82, pp. 216-249. 1972.

9. BIRREL, K. S. Some properties of volcanic ash soils in meeting on the classification and correlation of soils from volcanic ash. Tokyo June 11-27. World soil Resources FAO. Rome. Reports N. 14 pp. 74-81. 1964.
10. _____ Some properties of volcanic ash soil. In Meeting of the classification and correlation from volcanic ash, Tokyo, FAO, World soil Resources. Report N. 14, pp. 74-81, 1964.
11. BLUE, W. G. Experimentos de fertilización de Zacates en Costa Rica. San José, Costa Rica. STICA. 1962. 106 p.
12. BOUYOUCOS, G. J. Recalibration of hydrometer method for making mechanical analysis of soil. Agronomy Journal 43 (9): 434-438. 1951.
13. BREMNER, J. M. Total nitrogen. In Methods of soil Analysis, Vol. 2. American Society of Agronomy. Agronomy Series N. 9 Madison, Wisconsin pp 1171 - 1173. 1965.
14. BRICEÑO, J. A. Equilibrio de potasio en algunos suelos cafetaleros de Costa Rica. Tesis de Grado. Facultad de Ciencias y Letras. Universidad de Costa Rica. 71 p. 1970 (mimeografiado).
15. CERVANTES, U. C. A. Caracterización de la fracción mineral y determinación del Z.P.C. en 4 andepts de la Provincia de Guanacaste. Tesis Agronomía. Universidad de Costa Rica. 1977. 68 pp.
16. COWARD, L. J. Rendimiento comparativo en carne y digestibilidad de la mezcla Kikuyo (Pennisetum Clandestinum), trébol (Trifolium repens) fertilizada en novillos Charolais - Brahman, implantados con estilbestrol. Tesis Universidad de Costa Rica, Facultad de Agronomía. 1970.

- CROWDES, L. V. ; LOTERO, A. y MICHELIN R. A. Fertilización de gramíneas tropicales y subtropicales en Colombia, Ministerio de Agricultura, D.I.A. Boletín Divulgativo N. 12.
18. DAVILA, V. y ECHEVERRIA, S. E. Aplicación de nitrógeno y riego en pasto Kikuyo (P. clandestinum) Agricultura Tropical 23 (11) 744-746.
19. DAY, R. P. Particle fractionation and particle size analysis. In Black, C.A. et al. eds. Methods of soil analysis Madison, Wisconsin, American Society of Agronomy. 1965. pp. 545-567.
20. DUDAL, R. Correlation of soils derived from volcanic ash. In Meeting of the classification and correlation of soils from volcanic ash. Tokyo. F.A.O. World soil. Resources. Report N. 14, 134-137. 1964.
21. ENSMINGER, L. C. y FREMEY, J. R. Diagnostic techniques for determining sulfur deficiency in crop and soils. Soils Science 101 (4) 282-290. 1966.
22. F.A.O. Meeting on classification and correlation of soils, from volcanic ash. Report N. 14. Tokyo. 1964. 169 p.
23. FASSBENDER, H. W. 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: 187-202. 1966.
24. FASSBENDER, H. W.; MULLER, L. y BALERDI, F. Estudio del fósforo en suelos de América Central. II. Formas y su relación con plantas. Turrialba, Costa Rica 18 (4): 333-347. 1968.
25. FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION. Report N. 14 on Meeting on classification and correlation of soils from volcanic ash Tokyo, 169 pp. 1964.

26. FORSYTHE, W. , GAVANDE, S. A. y GONZALEZ, M . A. Propiedades físicas de suelos derivados de cenizas volcánicas considerando algunos suelos de América Latina, In panel sobre suelos derivados de cenizas volcánicas de América Latina. Turrialba, Costa Rica, I.I.C.A. pp. 8.3, 1-7. 1969.
27. FLOR, I. J. A. Pruebas de fertilidad de cuatro tipos de suelo de finca experimental " La Lola " tesis (Mg. Sc.), Turrialba, I.I.C.A. 1963. 90 p.
28. FUENTES, R. Comportamiento de la capacidad de intercambio catiónica en algunos suelos ácidos de origen volcánico. Tesis Mg. Sc., Turrialba, Costa Rica, I.I.C.A. 107 pp, 1971
29. HARDY, F. y BAZAN, R. Preliminary liming pot-test with soil of Costa Rica (Birrisito series) Turrialba I.I.C.A. 1963. 7 p. (mimeografiado).
30. HARDY, F. y HARPER, A. S. Assessmet of fertily of abnormal soils. A rendzina or humus carbonate soils, comparison of chemical test with the mitsherlich and other pot-test. Tropical Agriculture 18 (2): 214-221. 1941.
31. HARDY, F. and JORDON, O. Soil fertility of some peasant lands in trinidad, assessment by chemical analysis and pot-test. Tropical Agriculture 23 (1): 12-19. 1946.
32. JACKSON, M. L. Soil chemical analysis Englewood cliffs New Jersey, Prentia Hall, 1958. pp 59-220.
33. JAPAN. Ministry of Agriculture and Foresty Volcanic Ash Soil in Japan. Tokyo, Sahunai-Kosaido, 211 pp. 1964.

34. KILLINGER, G. B. Forraje, pastos y cultivos en Costa Rica, informe final. San José, MAG-STICA, 1959. 20 p.
35. KNOX, E. G. y MALDONADO, F. Suelos de cenizas volcánicas, excursión al Volcán Irazú. In panel sobre suelos derivados de cenizas volcánicas de América Latina, Turrialba, F.A.O./I.I.C.A. A-8, pp 1-12. 1969.
36. KOBO, K. Properties of volcanic ash soils. In F.A.O. Report N. 14 on meeting on classification and correlation de soils from volcanic ash. Tokyo, pp. 53-55. 1964.
37. KRESTSMER, A. Resumen complementario del trabajo de la investigación, Facultad de Agronomía, Universidad de Costa Rica. Proyecto 30 STICA y MAG. Servicio Técnico del Instituto de Cooperativa Agrícola. 1960. 31 p.
38. LOPEZ, M. Problemas de fertilización en suelos derivados de cenizas volcánicas en Colombia. In panel sobre suelos derivados de cenizas volcánicas de América Latina, Turrialba, Costa Rica. Turrialba, Costa Rica. I.I.C.A. pp. C. 1. 1. 1969.
39. LOTERO, J. Fertilización de pastos. Curso intensivo en producción y utilización de forrajes I.I.C.A., Turrialba, Costa Rica, mimeografiado, 19 pp. 1972.
40. LUNA, C. Aspectos genéticos de Andosoles en Colombia. In panel sobre suelos derivados de cenizas volcánicas de América Latina, Turrialba, Costa Rica, Turrialba, Costa Rica, I.I.C.A., pp. A.3.1 13. 1969.
41. LUZURIAGA, C. Propiedades morfológicas, físicas , químicas y clasificación de seis andosoles de Costa Rica. Tesis Mg. Sc. Turrialba I.I.C.A. 159 pp. (mimeografiado).

42. MAC CLUNG B. Algunos estudios preliminares sobre posibles problemas de fertilidad en solas de diferentes campos cerrados de Sao Paulo e Goias. *Bragantia* (Brasil) 17-3 29-44. 1958.
43. MARTINI, J. A. Caracterización del estado nutricional de los principales andosoles de Costa Rica, mediante la técnica del elemento faltante en invernadero. *Turrialba* 19 (3) : 394-408. 1968.
44. _____ Caracterización del estado nutricional de los principales latosoles de Costa Rica, mediante la técnica del elemento faltante, en el invernadero. *Turrialba*, 20 (1) 72-84. 1970
45. _____ Distribución geográfica y características de los suelos derivados de cenizas volcánicas en Centroamérica. *In* panel sobre suelos derivados de cenizas volcánicas de América Latina, *Turrialba*, Costa Rica. 1969. pp. A-5 1-17.
46. _____ Caracterización del estado de potasio en seis suelos de Panamá. *Fitotecnia Latinoamericana* 3: 163-186. 1966.
47. _____ y PINCHINAT, .A. M. Ensayo de abonamiento del frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) en el invernadero con tres suelos de áreas frijoleras en Costa Rica. *Turrialba* 17 (1): 46-52. 1967
48. MC. CONACHY, S. Distribución geográfica y características de los suelos de cenizas volcánicas de las Antillas. *In* panel sobre suelos derivados de cenizas volcánicas de América Latina. *Turrialba*, F.A.O./I.I.C.A. A-4 pp 1-13. 1969.
49. MC LEAN, E. O. Aluminium *In* Black C.A. et al eds. *Methods of soils Analysis*. Wisconsin, American Society of Agronomy, pp 978-997. 1965.

50. MICHELIN DE PIETRI ANGELO. Algunos resultados de la fertilización de pastos. *Agricultura Tropical* 26 (3): 113-118. 1970.
51. MILLAR, E. C. ; TURK, L. M. y FOTH, H. D. *Edafología, fundamentos de la ciencia del suelo*. Trad. del inglés por Nicolás Aguilera, México D.F., Continental, 612 pp, 1962.
52. MINISTERIO DE AGRICULTURA Y GANADERIA. Departamento de Economía y Estadística Agropecuaria. *Costos de Producción y cosecha para una manzana de papa*.
53. MOLINA, G.G. Estudio de fertilidad de cinco suelos en Guanacaste, Tesis Universidad de Costa Rica, Facultad de Agronomía, 1973. 78-79 pp
54. MULLER, L. BALERDI, F., DIAZ-ROMEJ, R., FASSBENDER, H. W. Estudio del fósforo en suelos de América Central, I Ubicación, características físicas y químicas de los suelos estudiados. *Turrialba* 18 (4) 319-332. 1968.
55. MURATA, K. J.; DONDOLI, C. y SAENZ. R. The 1963-1965 eruption of Irazú volcano, Costa Rica. *Bolletín Volcanológico* 29: 765-796. 1966.
56. OHMASA, M. Scape of volcanic ash soil, their extent and distribution In F.A.O. Report N. 14 on Meeting on classification and correlation of soils from volcanic ash Tokyo. pp 7-8. 1964.
57. OKAZAHI, E. y CHAO, T.T. Boron adsorption of some Hawaiian Soils *Science* 105 (4) 255-259, 1968.
58. PACHECO, L. J. Diagnóstico de un suelo no producido de Buenos Aires Prov. de Puntarenas, Costa Rica. Tesis (M.S.) Turrialba I.I. C.A. 1970. pp 15.

59. PALENCIA, J. A. Características de algunos suelos derivados de cenizas volcánicas en Centroamérica, Tesis, Mag. Sc. Turrialba, 1969. I.I.C.A. (mimeografiado).
60. PALENCIA, O. y J. A., MARTINI. Características morfológicas, físicas y químicas de algunos suelos derivados de cenizas volcánicas en Centroamérica. Turrialba 20 (3): 325-332. 1970.
61. PARTRIDGE, T. y SANTHIRASEGARAN, K. Studies on the nutrient status of some coconut in Ceylan. Tropical Agriculturist 113 (1): 745 1957.
62. PEECH, N., ALEXANDER, L. y DEAM, E. Methods of soil analysis for soil fertility investigations. U.S.D.A. Cir. N. 757. 1947. 25 p.
63. _____ Hydrogen-ion activity. In Black, C.A. et al, (Eds). Methods of soil analysis. Madison, Wisconsin. American Society of Agronomy. pp: 914-926. 1965.
64. PETERSON, J. B. Relation air poor factor in plant growth. Soil Science 70: 175-185.
65. REY, G.E. y MATA, P.J. Cultivo de pastos en Costa Rica. Manual de recomendaciones. Boletín técnico N. 51. Ministerio de Agricultura y Ganadería, San José, Costa Rica. 1970.
66. SAIZ DEL RIO, J.F. y E. BORNEMISZA. Análisis químico de suelos, métodos de laboratorio para dia gnosis de fertilidad. Turrialba, Costa Rica, I.I.C.A. 107 pp. 1961.
67. SHALSCHIA, E. B. et al. Effect of drying on volcanic ash in Chile. Soil Science Society of American Procceding 29: 481-482. 1965.

68. SCHENCKEL, S., G. Evaluación de la fertilidad de un suelo mediante la producción de la materia seca en ensayos de maceta. Representación gráfica usadas. Turrialba, Costa Rica. 21-3 pág. 255-256. 1969.
69. SHERMAN, G. D. Summary of the technical discussions. In Meeting on the classification and correlation of soils from volcanic ash, Tokyo, F.A.O. pp. 139-143. World Soil Resources Report N.14 1964.
70. SOIL CONSERVATION SERVICE SOIL SURVEY. Laboratory methods and procedures for collectin soil samples. Washington D.C., U.S. Department of Agriculture, 1972. 90 p.
71. SUAREZ, H., A. Caracterización del estado del potasio en tres grandes grupos de suelos de Costa Rica. Tesis M.S. Turrialba. I.I.C.A. Costa Rica 1968. 271 p.
72. SWINDALE, L. D. Propiedades de los suelos de cenizas volcánicas. In panel sobre suelos derivados de cenizas volcánicas de América Latina, Turrialba, F.A.O. I.I.C.A. A-4, pp 1-13. 1969.
73. SEINDALE, L. D. Propiedades de los suelos de cenizas volcánicas, In panel sobre suelos derivados de cenizas volcánicas de América Latina, Turrialba, F.A.O. I.I.C.A. B-10 pp 1-9. 1969.
74. TISDALE, L. S. y NELSON, W. L. Fertilidad de los suelos y fertilizantes trad. Jorge Blasch y Carmen Piña. Barcelona España, Montaner y Simón. pp. 760. 1970.
75. TOSSI, J. A. Mapa ecológico de Costa Rica. Centro Científico Tropical. San José, Costa Rica. 1969.
76. UNDP/FAO/IICA. Panel sobre suelos derivados de cenizas volcánicas de América Latina. IICA-CEI. Turrialba, Costa Rica 1969.

77. VALDEZ, A. Distribución geográfica y características de los suelos derivados de cenizas volcánicas de Chile. In panel sobre suelos derivados de cenizas volcánicas de América Latina. Turrialba, F.A.O. I.I.C.A. A-1; pp 1-14 1969.
78. VARGAS, V., O. y TORRES, J. A. Estudio preliminar de suelos de la región occidental de la Meseta Central. San José, Ministerio de Agricultura e Industrias. 1958. 64 p.
79. VICENTE-CHANDLER, J. The management and utilization of the forage, Crops of Puerto Rico. Universidad de Puerto Rico Agric. Sta. Bull 116- 1953 pp 90.
80. WALKLEY, A. y BLACK, C.A. An examination of the Degtajareff's Method for determining soil organic mater and proposed modification of the chromic acid trititation method. Soil Science 37: 29-38. 1939.
81. WAUGH, D. L. y FITTS, N. W. Soil test interpretarions studies: Laboratory of soil test analysis with planta responce data. Soil testing series N. 3. 1965. 13 p.
82. WILLARD, H. H. y GREATHOUSE, L. H. Color determination of Manganes by oxidation with periodate. J. Am Chem Soc. 39, 2366-2377. 1917.
83. WRIGTH, A. C. S. The ondosols or humic allophone soils fo South América. In F.A.O. Report N. 14 on meeting on classifica-tion and correlation of soils from volcanic ash. Tokyo. pp. 9-12. 1964.

APENDICE

Cuadro 1: Análisis de la variación del peso seco (en gramos) en la finca "J.M. Ruiz"

Fuentes de Variación	G.L.	S.C.	C.M.	F. Observada
Tratamiento	13	12,6487	0,9729	79,5297 **
Error	28	0,3425	0,0122	
Total	41	12,9912		
C.V.: 6,15				

Cuadro 2: Producción promedio de materia seca en gramos por maceta en los diferentes tratamientos con la finca "J.M Ruiz" y su agrupación de acuerdo a la prueba Duncan al 5%.

Tratamiento	Peso seco (g)	
Completo	2,626	a ⁽¹⁾
-Zn	2,466	ab
-Mo	2,430	b
-Fe	2,120	c
-Mg	2,098	c
-S	2,037	cd
-B	2,024	cd
-Ca	1,868	d
-K	1,589	e
-Cu	1,584	e
-N	1,481	e
-Mn	1,140	f
-P	0,891	g
testigo	0,832	g

(1) Tratamientos con igual letra son estadísticamente iguales ($P < 0,05$)

Cuadro 3: Análisis de la variación del peso seco
(en gramos) en la finca "San Miguel".

Fuentes de Variación	G.L.	S.C.	C.M.	F. Observada
Tratamiento	13	2,5925	0,1994	20,9203 **
Error	28	0,2669	0,0095	
Total	41	2,8594		

C.V.: 9,18

Cuadro 4: Producción promedio de materia seca en gramos por maceta, en los diferentes tratamientos con la finca "San Miguel" y su agrupación de acuerdo a la prueba Duncan al 5%.

Tratamiento	Peso seco (g)	
Completo	1,564	a ⁽¹⁾
-S	1,346	b
-Zn	1,343	b
-Mn	1,173	c
-K	1,156	c
-Ca	1,098	cd
-Cu	1,078	cde
-Mo	1,074	cde
-Mg	1,027	cde
-N	0,973	def
-B	0,915	efg
-Fe	0,817	fg
-P	0,764	g
testigo	0,562	h

(1) Tratamientos con igual letra son estadísticamente iguales ($P < 0,05$).

Cuadro 5: Análisis de la variación del peso seco
(en gramos) en la finca "Los Bambinos".

Fuentes de Variación	G.L.	S.C.	C.M.	F. Observada
Tratamiento	13	4,3782	0,3367	38,1564 **
Error	28	0,2471	0,0088	
Total	41	4,6253		
C.V.: 6,61				

Cuadro 6: Producción promedio de materia seca en gramos por maceta en los diferentes tratamientos con la finca "Los Bambinos" y su agrupación de acuerdo a la prueba de Duncan al 5 %.

Tratamiento	Peso seco (g)	
Completo	1,848	a ⁽¹⁾
-Fe	1,845	ab
-Zn	1,721	ab
-B	1,709	ab
-Mg	1,510	bc
-S	1,506	c
-Mn	1,476	cd
-Cu	1,454	cd
-Mo	1,440	cd
-Ca	1,428	cd
-K	1,317	d
testigo	0,935	e
-N	0,867	e
-P	0,836	e

(1) Tratamientos con igual letra son estadísticamente iguales ($P < 0,05$)

Cuadro 7: Análisis de la variación del peso seco (en gramos) en la finca "Sacramento".

Fuentes de Variación	G.L.	S.C.	C.M.	F. Observada
Tratamiento	13	2,7887	0,2145	49,8870 **
Error	28	0,1204	0,0043	
Total	41	2,9091		

C.V.: 7,16

Cuadro 8: Producción promedio de materia seca en gramos por maceta, en los diferentes tratamientos con la finca " Sacramento " y su agrupación de acuerdo a la prueba Duncan al 5%.

Tratamiento	Peso seco (g)	
Completo	1,406	a ⁽¹⁾
-S	1,089	b
-Cu	1,087	b
-Fe	1,082	b
-Zn	1,081	b
-Mo	1,030	b
-K	1,967	bc
-Mg	0,906	cd
-B	0,897	cd
-Mn	0,859	cd
-Ca	0,797	de
-N	0,698	e
-P	0,459	f
testigo	0,427	f

(1) Tratamientos con igual letra son estadísticamente iguales ($P < 0,05$)