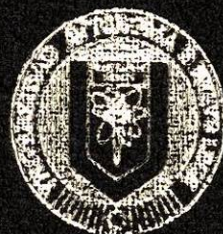


UNIVERSIDAD AUTONOMA  
DE NUEVO LEON  
FACULTAD DE AGRONOMIA



CARACTERIZACION DEL ESTADO NUTRICIONAL  
DE ALGUNOS SUELOS DEL ESTADO DE NUEVO  
LEON, MEDIANTE LA TECNICA DEL  
ELEMENTO FALTANTE EN INVERNADERO.

TESIS  
QUE PARA OBTENER EL TITULO DE  
INGENIERO AGRONOMO FITOTECNISTA

PRESENTAN

ANGEL ROBERTO VALERO SANCHEZ  
MIGUEL ANGEL VILLARREAL RODRIGUEZ  
FERNANDO CASTAÑEDA WONG

MARIN, N. L.

DICIEMBRE DE 1985





1080062974

UNIVERSIDAD AUTONOMA DE NUEVO LEON  
FACULTAD DE AGRONOMIA



CARACTERIZACION DEL ESTADO NUTRICIONAL  
DE ALGUNOS SUELOS DEL ESTADO DE NUEVO  
LEON, MEDIANTE LA TECNICA DEL  
ELEMENTO FALTANTE EN INVERNADERO.

TESIS

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE  
INGENIERO AGRONOMO FITOTECNISTA

PRESENTAN

ANGEL ROBERTO VALERO SANCHEZ  
MIGUEL ANGEL VILLARREAL RODRIGUEZ  
FERNANDO CASTAÑEDA WONG

MARIN, N. L.

DICIEMBRE DE 1985

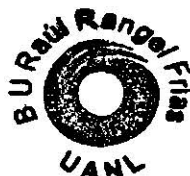
06471 *[Signature]*

T/  
5639  
.V3

040.631  
FA9  
1985  
C.5



Biblioteca Central  
Magna Solidaridad



FONDO  
TESIS LICENCIATURA

*Fajó*

CARACTERIZACION DEL ESTADO NUTRICIONAL  
DE ALGUNOS SUELOS DEL ESTADO DE NUEVO-  
LEON MEDIANTE LA TECNICA DEL ELEMENTO-  
FALTANTE EN INVERNADERO.

TESIS REALIZADA DENTRO DEL PROYECTO DE FERTILIZACION ESTATAL, EN LA -  
LINEA FERTILIZACION ORGANICA E INORGANICA, Y ACEPTADA COMO REQUISITO  
PARCIAL PARA LA OBTENCION DEL TITULO DE INGENIERO AGRONOMO FITOTECNIS  
TA QUE PRESENTAN ANGEL R. VALERO SANCHEZ, MIGUEL A. VILLARREAL RODRI-  
GUEZ Y FERNANDO CASTANEDA WONG.

COMISION REVISORA


ASESOR PRINCIPAL

  
ING. ERNESTO J. SANCHEZ ALEJO

ASESOR AUXILIAR

  
ING. M.C. NAHUM ESPINOZA MORENO

ASESOR AUXILIAR

  
DR. RIGOBERTO E. VAZQUEZ ALVARADO

DICIEMBRE DE 1985.-

A MIS PADRES :

Roberto Valero Beltrán

Clara Guadalupe Sánchez de V.

Por su apoyo, estímulo y paciencia  
que en todo momento me han brindado.

A MIS HERMANOS :

Diana

Günther

Ivan (q.e.p.d.)

Ludovico

Igor

Al Sr. Juan M. Pequeño Pedraza

Por su estímulo y ayuda desinte-  
resada.

A MIS PADRES:

Juventino Villarreal Martínez

Irma Guadalupe Rodríguez de Villarreal

Como un testimonio de eterno agradecimiento por el apoyo moral con el -  
cual he logrado terminar mi carrera -  
profesional, que es la mejor de mis he  
rencias.

A MIS HERMANOS:

David Eduardo

José Alberto

Alma Delia

Dora Elia

Bertha Alicia

Martha Eugenia

Jorge Humberto

Irma Guadalupe

Juventino

A MIS FAMILIARES



A MIS PADRES :

Ernesto Castañeda Escobedo

Agustina Wong de Castañeda

Por su apoyo incondicional, que  
siempre me han brindado.

A MIS HERMANOS:

Angélica

Ernesto

Gloria

Jesus

Luis

Martha

NUESTROS MAS SINCEROS AGRADECIMIENTOS  
A LAS SIGUIENTES PERSONAS:

Ing. Ernesto J. Sánchez Alejo  
Ing. M.C. Nahum Espinoza Moreno  
Dr. Rigoberto Vázquez Alvarado  
Dr. Jorge D. Etcheveres B.

A NUESTRA ESCUELA

A NUESTROS MAESTROS

A NUESTROS COMPAÑEROS Y AMIGOS

A TODAS LAS PERSONAS QUE DE UNA FORMA  
U OTRA COLABORARON EN LA REALIZACION\_  
DEL PRESENTE TRABAJO.

## INDICE

	PAGINA
I. INTRODUCCION . . . . .	1
II. LITERATURA REVISADA . . . . .	3
1. Esencialidad de los elementos . . . . .	3
2. Funciones de los elementos . . . . .	4
3. Equilibrio e interacción entre los nutrientes . . . . .	8
4. Substitución de los elementos . . . . .	19
5. Factores que afectan la asimilación de nutrientes . . . . .	19
6. Aspectos generales de las pruebas de suelo . . . . .	21
7. Técnica del elemento faltante . . . . .	23
III. MATERIALES Y METODOS . . . . .	28
1. Selección de los puntos a muestrear . . . . .	28
2. Análisis preliminar de las muestras de suelo . . . . .	29
3. Estudios de sorción y selección de tratamientos . . . . .	31
4. Demostración mediante técnicas de invernadero, del_ rango en que varios elementos limitan el crecimien- to vegetativo . . . . .	37
IV. RESULTADOS Y DISCUSION . . . . .	42
1. Zona norte . . . . .	42
2. Zona centro . . . . .	53
3. Zona sur . . . . .	61
V. CONCLUSIONES . . . . .	75

	PAGINA
VI. RECOMENDACIONES . . . . .	80
VII. RESUMEN . . . . .	81
VIII. APENDICE . . . . .	84
IX. BIBLIOGRAFIA . . . . .	148

## INDICE DE CUADROS Y FIGURAS

CUADRO		PAGINA
1	Clasificación de los diferentes grados de fertilidad_ según el laboratorio de suelos de la FAUANL . . . . .	29
2	Determinaciones realizadas y metodología empleada para el análisis preliminar de las muestras de suelo .	30
3	Clasificación empleada para la selección de las localidades a estudiar . . . . .	30
4	Concentraciones utilizadas en los estudios de sorción para los diferentes elementos a probar . . . . .	33
5	Concentraciones aplicadas del elemento puro en ppm .	36
6	Cantidades aplicadas del compuesto (gr/3 lt de agua)	40
7	Resumen de los resultados de los análisis de varianza efectuados para las variables estudiadas en la zona - norte, sin considerar el arreglo factorial de los tratamientos . . . . .	85
8	Resultados de la prueba de Tukey de la comparación de medias de los tratamientos sin considerar el arreglo factorial, para la variable diámetro de tallo, de la zona norte . . . . .	86
9	Resultados de la prueba de Tukey de la comparación de medias de los tratamientos sin considerar el arreglo factorial, para la variable altura de planta, de la zona norte . . . . .	87

10	Resultados de la prueba de Tukey de la comparación de medias de los tratamientos sin considerar el arreglo factorial, para la variable materia verde, de la zona norte . . . . .	88
11	Resultados de la prueba de Tukey de la comparación de medias de los tratamientos sin considerar el arreglo factorial, para la variable materia seca, de la zona norte . . . . .	89
12	Cantidades en ppm de los elementos aplicados para los tratamientos en la zona norte . . . . .	90
13	Resumen de los resultados de los análisis de varianza efectuados para las variables estudiadas en la zona norte, considerando el arreglo factorial de los tratamientos, donde se muestran la suma de cuadrados del error y la suma de cuadrados de los efectos factoriales y su significancia . . . . .	91
14	Resultados de la prueba de Tukey para la comparación de medias de la interacción elemento-nivel para la variable diámetro de tallo en la zona norte . . . . .	92
15	Resultados de la prueba de Tukey para la comparación de medias de la interacción elemento-nivel para la variable altura de planta en la zona norte . . . . .	93
16	Resultados de la prueba de Tukey para la comparación de medias del factor suelo para la variable diámetro de tallo en la zona norte . . . . .	94

17	Resultados de la prueba de Tukey para la comparación_ de medias del factor elemento para la variable mate-- ria verde en la zona norte . . . . .	94
18	Resultados de la prueba de Tukey para la comparación_ de medias de la interacción suelo-elemento para la va riante altura de planta en la zona norte . . . . .	95
19	Resultados de la prueba de Tukey para la comparación_ de medias de la interacción suelo-nivel para la varia ble materia verde en la zona norte . . . . .	96
20	Resultados de la prueba de Tukey para la comparación_ de medias de la interacción suelo-nivel para la varia ble materia seca en la zona norte . . . . .	96
21	Resumen de las variables que resultaron significati-- vas, en el análisis de regresión múltiple por el pro- cedimiento stepwise, en el suelo pobre de la zona nor te . . . . .	97
22	Resumen de las variables que resultaron significati-- vas, en el análisis de regresión múltiple por el pro- cedimiento stepwise, en el suelo medio de la zona nor te . . . . .	97
23	Resumen de las variables que resultaron significati-- vas, en el análisis de regresión múltiple por el pro- cedimiento stepwise, en el suelo rico de la zona nor te . . . . .	98
24	Resumen de los resultados de los análisis de varianza efectuados para las variables estudiadas en la zona -	



	centro, sin considerar el arreglo factorial de los tratamientos . . . . .	99
25	Resultados de la prueba de Tukey de la comparación de medias de los tratamientos sin considerar el arreglo factorial, para la variable diámetro de tallo, de la zona centro . . . . .	100
26	Resultados de la prueba de Tukey de la comparación de medias de los tratamientos sin considerar el arreglo factorial, para la variable altura de planta, de la zona centro . . . . .	101
27	Resultados de la prueba de Tukey de la comparación de medias de los tratamientos sin considerar el arreglo factorial, para la variable materia verde, de la zona centro . . . . .	102
28	Resultados de la prueba de Tukey de la comparación de medias de los tratamientos sin considerar el arreglo factorial, para la variable materia seca, de la zona centro . . . . .	103
29	Cantidades en ppm de los elementos aplicados para los tratamientos en la zona centro . . . . .	104
30	Resumen de los resultados de los análisis de varianza efectuados para las variables estudiadas en la zona centro, considerando el arreglo factorial de los tratamientos, donde se muestran la suma de cuadrados del error y la suma de cuadrados de los efectos factoriales y su significancia . . . . .	105

31	Resultados de la prueba de Tukey para la comparación de medias de la interacción elemento-nivel-suelo de la zona centro, para la variable diámetro de tallo, en el arreglo factorial . . . . .	106
32	Resultados de la prueba de Tukey para la comparación de medias de la interacción elemento-nivel-suelo de la zona centro, para la variable altura de planta, en el arreglo factorial . . . . .	107
33	Resultados de la prueba de Tukey para la comparación de medias de la interacción elemento-nivel-suelo de la zona centro, para la variable materia verde, en el arreglo factorial . . . . .	108
34	Resultados de la prueba de Tukey para la comparación de medias de la interacción elemento-nivel-suelo de la zona centro, para la variable materia seca, en el arreglo factorial . . . . .	109
35	Resumen de las variables que resultaron significativas, en el análisis de regresión múltiple por el procedimiento stepwise, en el suelo pobre de la zona centro . . . . .	110
36	Resumen de las variables que resultaron significativas, en el análisis de regresión múltiple por el procedimiento stepwise, en el suelo medio de la zona centro . . . . .	111
37	Resumen de las variables que resultaron significativas, en el análisis de regresión múltiple por el procedimiento stepwise, en el suelo rico de la zona centro . . . . .	112

38	Resumen de los resultados de los análisis de varianza efectuados para las variables estudiadas en la zona - sur, sin considerar el arreglo factorial de los tratamientos . . . . .	113
39	Resultados de la prueba de Tukey de la comparación de medias de los tratamientos sin considerar el arreglo factorial, para la variable diámetro de tallo, de la zona sur . . . . .	114
40	Resultados de la prueba de Tukey de la comparación de medias de los tratamientos sin considerar el arreglo factorial, para la variable altura de planta, de la zona sur. . . . .	115
41	Resultados de la prueba de Tukey de la comparación de medias de los tratamientos sin considerar el arreglo factorial, para la variable materia verde, de la zona sur . . . . .	116
42	Resultados de la prueba de Tukey de la comparación de medias de los tratamientos sin considerar el arreglo factorial, para la variable materia seca, de la zona sur . . . . .	117
43	Cantidades en ppm de los elementos aplicados para los tratamientos en la zona sur . . . . .	118
44	Resumen de los resultados de los análisis de varianza efectuados para las variables estudiadas en la zona - sur, considerando el arreglo factorial de los tratamientos, donde se muestran la suma de cuadrados del error y la suma de cuadrados de los efectos factoriales y su significancia . . . . .	119

CUADRO

PAGINA

45	Resultados de la prueba de Tukey para la comparación_ de medias de la interacción elemento-nivel para la variable materia verde en la zona sur . . . . .	120
46	Resultados de la prueba de Tukey para la comparación_ de medias de la interacción elemento-nivel para la variable diámetro de tallo en la zona sur . . . . .	121
47	Resultados de la prueba de Tukey para la comparación_ de medias de la interacción elemento-nivel para la variable materia seca en la zona sur . . . . .	122
48	Resultados de la prueba de Tukey para la comparación_ de medias del factor suelo para la variable diámetro_ de tallo en la zona sur . . . . .	123
49	Resultados de la prueba de Tukey para la comparación_ de medias del factor nivel para la variable altura de planta en la zona sur . . . . .	123
50	Resultados de la prueba de Tukey para la comparación_ de medias de la interacción suelo-elemento para la variable altura de planta en la zona sur . . . . .	124
51	Resultados de la prueba de Tukey para la comparación_ de medias de la interacción suelo-elemento para la variable materia verde en la zona sur . . . . .	125
52	Resultados de la prueba de Tukey para la comparación_ de medias de la interacción suelo-elemento para la variable materia seca en la zona sur . . . . .	126
53	Resultados de la prueba de Tukey para la comparación_	

	de medias de la interacción suelo-nivel para la variable materia verde en la zona sur . . . . .	127
54	Resultados de la prueba de Tukey para la comparación de medias de la interacción suelo-nivel para la variable materia seca en la zona sur . . . . .	127
55	Resumen de las variables que resultaron significativas, en el análisis de regresión múltiple por el procedimiento stepwise, en el suelo pobre de la zona sur	128
56	Resumen de las variables que resultaron significativas, en el análisis de regresión múltiple por el procedimiento stepwise, en el suelo medio de la zona sur	128
57	Resumen de las variables que resultaron significativas, en el análisis de regresión múltiple por el procedimiento stepwise, en el suelo rico de la zona sur	129
58	Coefficientes de correlación simple de las variables - bajo estudio para la zona norte . . . . .	130
59	Coefficientes de correlación simple de las variables - bajo estudio para la zona centro . . . . .	130
60	Coefficientes de correlación simple de las variables - bajo estudio para la zona sur . . . . .	130
61	Capacidad de fijación relativa (%), encontrada en los estudios de sorción, para las localidades seleccionadas . . . . .	131
62	Resultados del análisis preliminar, de las localida--	

CUADRO	PAGINA
des seleccionadas . . . . .	131
63 Preparación de la solución B, de los estudios de sorción . . . . .	132
FIGURA	PAGINA
1 Ubicación de las localidades seleccionadas . . . . .	32
2 Croquis del experimento para cada zona . . . . .	38
3 Curvas de sorción de P, para la zona norte, con sus respectivos modelos de regresión . . . . .	133
4 Curvas de sorción de P, para la zona centro, con sus respectivos modelos de regresión . . . . .	134
5 Curvas de sorción de P, para la zona sur, con sus respectivos modelos de regresión . . . . .	135
6 Curvas de sorción de K, para la zona norte, con sus respectivos modelos de regresión . . . . .	136
7 Curvas de sorción de K, para la zona centro, con sus respectivos modelos de regresión . . . . .	137
8 Curvas de sorción de K, para la zona sur, con sus respectivos modelos de regresión . . . . .	138
9 Curvas de sorción de Cu, para la zona norte, con sus respectivos modelos de regresión . . . . .	139
10 Curvas de sorción de Cu, para la zona centro, con sus	

FIGURA

PAGINA

	respectivos modelos de regresión . . . . .	140
11	Curvas de sorción de Cu, para la zona sur, con sus - respectivos modelos de regresión . . . . .	141
12	Curvas de sorción de Mn, para la zona norte, con sus_ respectivos modelos de regresión . . . . .	142
13	Curvas de sorción de Mn, para la zona centro, con sus respectivos modelos de regresión . . . . .	143
14	Curvas de sorción de Mn, para la zona sur, con sus - respectivos modelos de regresión . . . . .	144
15	Curvas de sorción de Zn, para la zona norte, con sus_ respectivos modelos de regresión . . . . .	145
16	Curvas de sorción de Zn, para la zona centro, con sus respectivos modelos de regresión . . . . .	146
17	Curvas de sorción de Zn, para la zona sur, con sus - respectivos modelos de regresión . . . . .	147

## INTRODUCCION

La disponibilidad de nutrientes y el suministro de ellos en el suelo, es uno de los factores de producción que afectan directamente al cultivo e influye directamente en la obtención de buenas cosechas.

La práctica racional y sistemática de la fertilización en el estado de Nuevo León se ha establecido en forma incompleta, debido principalmente a que existe gran diversidad de tipos de suelos y otros factores propios del suelo mismo que impiden que la fertilización pueda ser eficiente.

Todos estos factores se deben considerar en un programa de fertilización, el cual debe incluir dentro de sus fases la evaluación de la fertilidad del suelo; el estudio de la disponibilidad de nutrientes y los factores que la determinan; las relaciones de interacción entre los iones así como la implementación de prácticas eficientes de fertilización orgánica e inorgánica y la determinación de los métodos más eficaces para la evaluación y mejoramiento de la fertilidad del suelo.

Debido a la carencia de estudios sobre el estado nutricional de los suelos en el estado de Nuevo León, con el presente trabajo se pretende fundamentar inicialmente através del análisis químico y del uso del invernadero un programa efectivo de evaluación y mejoramiento de la fertilidad de los suelos en el estado de Nuevo León.

Los análisis de suelos por si solos no tienen un valor definido y corresponde por consiguiente darles un significado práctico. Con la predicción de aplicar o no fertilizantes basandose únicamente en los resultados de análisis de suelos, será muy difícil alcanzar un progreso sustancial en la solución integral de los problemas de fertilidad del suelo; los ensayos controlados, tanto de macetas como de campo, se perfilan como métodos complementarios para aislar los factores de crecimiento limitantes en la nutrición de las plantas.



La técnica del elemento faltante, es rápida, eficiente y efectiva en la evaluación de los problemas de fertilidad del suelo, además se puede trabajar con ella en el invernadero ya que el volumen de suelo es pequeño por lo que se pueden considerar varios tipos de suelo a la vez. Otra ventaja es que se ajusta muy bien a suelos pobres, en donde los desbalances nutricionales así como las deficiencias son comunes.

En el uso de esta técnica se debe reconocer que el crecimiento bajo condiciones de invernadero no es comparable con el crecimiento bajo condiciones de campo, pero puede ser correlacionado con el crecimiento en el campo, cuando otro factor que no sea el estado de fertilidad del suelo sea más limitante que la misma fertilidad. De esta manera se puede obtener un marco de referencia de las condiciones del suelo y su productividad, las cuales mediante su análisis integral permitirán su aplicación práctica en el campo y de esta manera lograr posteriormente interpretaciones económicas.

#### OBJETIVOS:

- Obtener una caracterización del estado nutricional de algunos suelos del estado de Nuevo León.
- Familiarizarse con el uso de la técnica del elemento faltante.
- Proporcionar base a otros estudios referentes a la corrección de los problemas de fertilidad del suelo, como factor limitante para la obtención de buenas cosechas.

## REVISION DE LITERATURA

El clima y el suelo son dos factores estrechamente relacionados con la productividad agrícola, constituyendo la fertilización un importante recurso para actuar sobre esta. Entre las propiedades intrínsecas de la fertilidad del suelo y susceptibles de mejoramiento se encuentran las físico-químicas, ocupando la fertilización un lugar privilegiado. Por consiguiente, un suelo de baja fertilidad también puede producir buenas cosechas cuando se aplica una acertada fertilización, junto con otras prácticas agrícolas. Suelos fértiles no son únicamente aquellos capaces de asegurar buenos rendimientos de los cultivos.(19)

### 1.- Esencialidad de los elementos.

Las plantas absorben elementos minerales de las proximidades de las raíces de una forma indiscriminada, pero la presencia en una planta de algún elemento en particular no constituye una prueba de que éste sea esencial para su desarrollo.(26)

Arnon en 1939 estableció los siguientes puntos a este respecto.

- 1.- Una deficiencia del elemento hace imposible para la planta completar el ciclo vegetativo o reproductivo de su vida.
- 2.- Los síntomas de deficiencia del elemento en cuestión pueden ser prevenidos o corregidos, solamente mediante el suministro del elemento.
- 3.- El elemento está directamente involucrado en la nutrición de la planta, aparte de su posible efecto corrigiendo alguna condición microbiana o química en el suelo o medio de cultivo.(23)

El carbono, hidrógeno, oxígeno, nitrógeno, fósforo y azufre son los elementos que componen las proteínas y por lo tanto el protoplasma. Además de estos seis, existen catorce elementos que son necesarios para el crecimiento de algunas plantas: calcio, magnesio, pota--

sio, fierro, manganeso, molibdeno, cobre, boro, zinc, cloro, sodio, - cobalto, vanadio y sílice. No todos son requeridos por todas las - plantas, pero todos se han demostrado esenciales para algunas de - ellas. El carbono, hidrógeno y oxígeno contenidos en las plantas -se\_ obtienen a partir del dioxido de carbono y del agua. Se convierten - por la fotosíntesis en carbohidratos simples y luego se transforman - en aminoácidos, proteínas y protoplasma, por lo que su disponibilidad no es problemática.(26)

## 2.- Funciones de los elementos.

2.1. Nitrógeno.- El nitrógeno es esencial para el crecimiento\_ de las plantas como un constituyente de todas las proteínas y por lo\_ tanto de todo el protoplasma.(17)

Además de su papel en la formación de las proteínas el nitrógeno es parte integral de la molécula de clorofila.(26)

La cantidad de nitrógeno en el suelo es demasiado pequeña mien-- tras que la consumida anualmente por los cultivos es comparativamente grande; aunado con esto el nitrógeno en el suelo es demasiado soluble y así desaparece por drenaje; a veces, se volatiliza; otras es defini\_ tivamente inasimilable por las plantas superiores, debido a esto las\_ deficiencias son muy comunes.(3)

2.2. Fósforo.- El fósforo juega un papel fundamental en un - gran número de reacciones enzimáticas que dependen de la fosforila--- ción. Posiblemente por esta razón es un constituyente de núcleo de - las células y es esencial para la división celular y para el desarro- llo del tejido meristemático.(16)

El fósforo forma parte de los fosfolípidos, nucleoproteínas y de la fitina, ésta última es una forma de reserva del fósforo en las se- millas.(13)

2.3. Potasio.- Su función parece más bien de naturaleza catalítica. A pesar de esto, es imprescindible para diversas funciones fisiológicas.(26)

El potasio difiere del nitrógeno y el carbono porque, no es un constituyente de la planta, este solo aparece formando parte en el metabolismo.(16)

La mayor parte de este elemento esta sujeto rígidamente como parte de los minerales primarios o esta fijado en formas que son, en el mejor de los casos, moderadamente asimilables por las plantas.(3)

2.4. Fierro.- El fierro es claramente esencial como componente de muchas enzimas y transportadores HEME y no HEME, pero actualmente es generalmente aceptado que el fierro no juega ningún papel en la síntesis enzimática de porfirinas en plantas (Carrel y Price, 1965).

Una hipótesis alternativa fue sugerida por la observación de Fuwa et al.(1960) de que los ácidos nucleicos contienen generalmente grandes cantidades de elementos traza incluyendo fierro. Estas observaciones fueron ampliadas por Domschke et al.(1970) y Meyer-Bertenth(1970), quienes identificaron una cromoproteína ribosomal conteniendo 20% de fierro.

Las deficiencias de fierro se presentan en suelos con alto contenido de fósforo, aireación pobre, extremos de temperatura, fuerte fertilización con estiércol, bajo contenido de materia orgánica y suelos con pH alcalino.(14)

2.5. Cobre.- El cobre es un metal activador de varias enzimas, también se ha dicho que puede ser uno de los metales relacionados con la reacción de la luz en las plantas.(26)

El cobre funciona como un catalizador en varias oxidaciones vitales. Parece ser que junto con el zinc forman un par mutualista de ca

talizadores de reacciones de óxido-reducción.(18)

Las deficiencias de cobre se presentan en suelos con altos contenidos de fósforo, nitrógeno o zinc en el suelo.(14)

2.6. Manganeso.- La localización principal de deficiencia de manganeso en plantas es más claramente identificada en el fotosistema II de la fotosíntesis, (Chenias, 1970). La evidencia es que la reacción de Hill es específicamente inactivada por la deficiencia de manganeso y que el contenido de manganeso en los cloroplastos es disminuido en forma dramática, (Anderson y Pytiotis, 1969).

La deficiencia de manganeso se presenta en suelos ligeramente ácidos o alcalinos; suelos ricos en fierro, cobre y zinc; clima seco; baja intensidad luminosa y baja temperatura en el suelo.(14)

2.7. Zinc.- El zinc actúa como catalizador en diversas reacciones de óxido-reducción, ya sea solo o en interacción con cobre.(18)

Las deficiencias de zinc se presenta en suelos con alta precipitación; suelos calcáreos; bajo contenido de materia orgánica en el suelo; temperaturas templadas; alto contenido de fósforo en el suelo y zonas de raíz restringida (suelos compactados y plantas desarrollándose en macetas).(14)

2.8. Calcio.- El calcio es esencial para el crecimiento de los meristemas y particularmente para el apropiado crecimiento de las raíces apicales. Este esta presente como pectato de calcio, que es un constituyente de la lámina media de la pared celular y posiblemente por esta razón tienda a acumularse en las hojas.(17)

Las deficiencias de calcio generalmente se presentan en suelos ácidos.(3)

2.9. Magnesio.- Es el único constituyente mineral de la molécula de clorofila y se halla localizado en su centro. Es considerado

como específico en la activación de numerosos sistemas enzimáticos de las plantas.(26)

Actúa como transportador del fósforo dentro de la planta.(18)

Las deficiencias de magnesio se presentan en suelos ácidos, siendo menos frecuentes las deficiencias en suelos calcáreos.(3)

2.10. Azufre.- Funciona como material de construcción de varias proteínas ya que es constituyente de algunos aminoácidos.(18) - La función del azufre va ligada a las funciones metabólicas de varias vitaminas como la biotina y la tiamina así como la coenzima A.(5) Activa ciertas enzimas proteolíticas tales como la papainasa.(26)

2.11. Boro.- Se dice que el boro forma parte del metabolismo de los carbohidratos ya que facilita el movimiento de los azúcares. - Se cree que el boro tiene influencia en el desarrollo de las células por el control que ejerce en la formación de los polisacáridos.(24)

Las deficiencias de boro se presentan en áreas de precipitación pluvial alta o moderada; suelos neutros o alcalinos; clima seco y zonas de alta intensidad luminosa.(14)

2.12. Molibdeno.- Interviene en la fijación, asimilación y reducción del nitrógeno. También interviene en la acumulación de nitratos. Se le conoce como específico para la activación de las enzimas de la reductasa del nitrato y de la oxidasa de la xantina.(26)

La deficiencia de molibdeno se presenta principalmente en suelos ácidos o en suelos con alto contenido de hierro libre.(14)

2.13. Cloro.- Nada se sabe sobre el papel del cloro en la nutrición, aparte de que es requerido para el desarrollo de ciertas plantas.(26)

El requerimiento de cloro por los cultivos es muy pequeño, aún - considerando que el cloro puede ser alguno de los aniones más abundantes en las plantas. Es único en su género porque hay pocas probabilidades de que alguna vez halla necesidad de él como fertilizante, ya - que se agrega a la atmósfera en la brisa del océano y, en consecuencia es ampliamente agregado a los suelos por la precipitación pluvial.(13)

2.14. Sodio, cobalto, vanadio, y sílice.- No ha sido probado - definitivamente que éstos elementos sean necesarios para las plantas verdes superiores, aunque se señalan varias respuestas de ciertos cultivos a aplicaciones de éstos elementos.

Su papel específico en las funciones fisiológicas o metabólicas es desconocido. En el caso del cobalto se le ha relacionado en la - síntesis de la vitamina B<sub>12</sub> y se ha señalado que es uno de los metales activadores de enzimas. El vanadio se ha especulado que puede tener una función en las reacciones biológicas de óxido-reducción, pero estas suposiciones, desde luego, no han sido aún demostradas.(26)

### 3.- Equilibrio e interacción entre los nutrientes.

3.1. Equilibrio entre los nutrientes.- Para obtener altos rendimientos en los cultivos es necesario mantener una adecuada provisión de cada nutriente en el suelo, pero esta provisión debe hacerse según una tasa conveniente de asimilación para el desarrollo normal de las plantas. Esto involucra una serie de fenómenos distintos a los de una simple absorción.

También es precisa una proporción adecuada de nutrientes para que la concentración total de nutrientes asimilables sea la adecuada. Tal equilibrio tiende a asegurar las condiciones fisiológicas deseadas, necesarias para una próspera producción.

En la práctica, no obstante, este equilibrio de fertilidad es di-

ffcil de conseguir. El suelo siempre tiene una cualidad desconocida\_ respecto a la posible asimilación estacional de sus constituyentes. - Además, es difícil determinar las reacciones que ocurrirán cuando los fertilizantes se pongan en contacto con el suelo.(3)

3.2. Interacción entre los nutrientes.- Los factores importantes de crecimiento incluyen la velocidad de absorción de nutrientes, la distribución de nutrientes a los sitios funcionales y la movilidad de los nutrientes dentro de la planta. Ocurren interacciones entre los micronutrientes así como en algunos macronutrientes. Dichas interacciones pueden llevarse a cabo en el suelo y dentro de la planta. Debido a que estas interacciones modifican la nutrición de las plantas, deben ser entendidas y consideradas al proporcionar un suplemento de micronutrientes.

Una razón importante para estudiar y evaluar las interacciones de los micronutrientes es la necesidad de mejorar las prácticas agronómicas que pueden ejercer un control sobre la concentración de elementos traza en las plantas, (Allaway, 1968).

La interacción puede ser definida como: i) una influencia, una acción mutua o recíproca de un elemento sobre otro en relación al crecimiento de las plantas, y ii) la respuesta diferencial de un elemento en combinación con niveles variables de un segundo elemento aplicado simultáneamente; esto es, los dos elementos se combinan para producir un efecto adicional debido no únicamente a uno de ellos (o un efecto negativo).

Las interacciones pueden resultar en un crecimiento mejorado de las plantas y en plantas más saludables

Las interacciones pueden surgir cuando una planta absorbe grandes cantidades de un nutriente disponible cuya concentración en la planta alcanza niveles excesivos o tóxicos que interfieren con las funciones metabólicas normales de otro nutriente.(14)



Se dice que una interacción es positiva cuando la respuesta de la cosecha a los dos elementos es mayor que la suma de las respuestas para cada uno separadamente. Si la respuesta de la cosecha a los dos elementos unidos es igual a la suma de sus respuestas por separado se dice que no muestra interacción. Si la respuesta a los dos elementos unidos fuese menor que la suma de las respuestas a cada uno por separado se dirá que se tiene una interacción negativa el uno con el otro. (16)

Las principales interacciones que se llevan a cabo entre los nutrientes son:

3.2.1. Nitrógeno-zinc.— Se ha especulado que los nutrientes que incrementan la velocidad de crecimiento al ser acompañados por un suplemento de zinc pueden inducir una deficiencia de éste elemento. La aplicación de nitrógeno ha sido reportada como una causa posible de deficiencias de zinc en cítricos (Haas, 1936; Chapman, Vanselow y Liebig, 1937; Camp y Fudge, 1945). Ozanne (1955) observó un incremento en la severidad de la deficiencia de zinc en trébol subterráneo cuando se incrementaba el suplemento de nitrógeno, sin importar la fuente de nitrógeno aunque éste autor puntualizó que el efecto no era debido a un incremento en la velocidad de crecimiento. Ozanne (1955) encontró que la concentración de zinc en las raíces estaba correlacionado con el porcentaje de nitrógeno proteico. Este autor sugirió que el incremento en el suplemento de nitrógeno causaba que más zinc fuera retenido en las raíces como un complejo zinc-proteína. La retención de zinc en las raíces llevó a una deficiencia severa de zinc en las puntas.

Estudios subsecuentes (Boawn et al., 1960) con  $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ ,  $\text{NH}_4\text{NO}_3$  y  $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$  como transportadores, confirmaron el fuerte efecto del pH en la concentración de zinc y su captación por plantas de sorgo y papa. Sin embargo, con betabel, el pH no tuvo efecto significativo en la concentración o captación de zinc. En cambio, la captación y concentración de zinc se incrementaron al aumentar la tasa de nitrógeno,

independientemente del pH del suelo. Estos datos indican que no puede aplicarse una aseveración general a todas las plantas con relación al efecto del nitrógeno en la concentración de zinc. (14)

3.2.2. Fósforo-hierro.- El fósforo está frecuentemente involucrado en interacciones con la nutrición de hierro de una determinada variedad. Revisiones de estos estudios indican que se conoce muy poco con respecto a los mecanismos de esas interacciones (Wallace y Lunt, 1960; Brown, 1961). Brown y Tiffin (1960) observaron que un exceso de fósforo inactiva el hierro en plantas de soja.

Las plantas mostrando clorosis de hierro inducida por niveles elevados de fósforo muestran generalmente una concentración normal de hierro en los tejidos, pero la relación P/Fe es mayor en plantas cloróticas. Dichos datos sugieren que la capacidad de la planta para absorber y mantener el hierro en forma soluble y móvil disminuye a medida que aumenta la concentración de fósforo en la planta (DeKock, 1955; Brown et al., 1959).

El hierro asociado con el fósforo es evidentemente menos móvil, así que las cantidades excesivas de fósforo parecen interferir en el movimiento y funciones metabólicas del hierro, (Price, 1968).

Algunos experimentos indican que el fosfato de hierro puede precipitar externamente en la raíz (Biddulph, 1953; Ayed, 1970), pero la interacción de hierro y fósforo que lleva a la clorosis de hierro parece estar causada por una inmovilización interna del hierro debida probablemente a la formación de fosfato de hierro (Biddulph, 1953; Rediske y Biddulph, 1953).

Las concentraciones elevadas de fósforo inhiben el movimiento de hierro en la planta. La inhibición es mayor cuando la planta crece a un valor de pH de 7 o superior, comparado con valores de pH más bajos (Biddulph, 1953).

3.2.3. Fósforo-cobre.- Las interacciones del fósforo con el cobre pueden resultar del uso excesivo de fertilizantes fosfatados (Bingham, Martin y Chastain, 1958; Bingham y Garber, 1960; Bingham, 1963; Spencer, 1966). Deficiencias severas de cobre fueron inducidas en cítricos mediante la aplicación de 180 ppm de fósforo en nueve suelos de California. Las aplicaciones de cobre corrigieron los síntomas e incrementaron el crecimiento de cítricos.

Spencer (1966) observó que las aplicaciones de fósforo reducían la concentración de cobre en las hojas y raíces de plántulas de "mandarina cleopatra" a cuatro niveles de aplicación de cobre, de 0 a 250 ppm. En los casos en que la aplicación de cobre ha resultado tóxica para el crecimiento de cítricos las aplicaciones de fósforo reducían la toxicidad del cobre.

Los efectos del cobre y fósforo han sido relacionados con el trabajo de Brown et al. (1955), que midieron la actividad de la catalasa en varias especies creciendo en suelos calcáreos. Las plantas se volvieron cloróticas cuando cobre y fósforo fueron aplicados juntos o se paradamente. La actividad de catalasa o el hierro activo disminuyeron a medida que el fósforo disponible se incrementó y las aplicaciones mayores de cobre intensificaron esta tendencia. (14)

3.2.4. Fósforo-zinc.- La interacción de fósforo y zinc ha sido estudiada en muchos experimentos desde 1936 (Barnette et al., 1936; - West, 1938; Viets y Crawford, 1954, 1957; Thorne, 1957; Stuckenholtz et al., 1966). En general, es designada como una deficiencia de zinc inducida por el fósforo. Esta alteración en el desarrollo de la planta es comunmente asociada con altos niveles de fósforo disponible o con aplicación de fósforo en el suelo. Los síntomas pueden ser prevenidos o corregidos por fertilización con zinc, generalmente por suplementación de varias fuentes de zinc a una dosis de 3 a 5 ppm de zinc al suelo. De hecho la relación casual y el mecanismo son aún desconocidos.

En general, los esfuerzos han sido concentrados en cuatro causas posibles: i) una interacción fósforo-zinc en el suelo; ii) una velocidad de translocación más lenta del zinc de las raíces a las puntas; - iii) un efecto simple de difusión en la concentración de zinc en las plantas debido a la respuesta del crecimiento del fósforo, y iv) una alteración metabólica dentro de las células de la planta relacionada con un desbalance entre fósforo y zinc, o una concentración excesiva de fósforo que interviene con las funciones metabólicas del zinc en sitios determinados de las células. En este último caso la concentración de zinc por sí misma no es la causa directa de la alteración en el crecimiento. (14)

3.2.5. Potasio-zinc.- Referente al efecto del potasio sobre el zinc, se tienen diferentes trabajos que señalan efectos de carácter - sinérgico y otros de carácter antagónico entre el potasio y el zinc. Del Rivero (1968); Smith y Smith (1977) reportan que el exceso de potasio en el suelo puede ocasionar la deficiencia de zinc en la planta, por desequilibrio nutricional; así mismo, este exceso de potasio disminuye la concentración de carbohidratos, N, P, Ca, Mg, Na, Cu, B y - Mn; no así de S, Fe y Al. Sukla y Mukhi (1979) citan a Terman y Allen, quienes observaron abatimiento en la concentración de zinc en el cultivo de maíz, debido a un incremento en el rendimiento por aplicaciones de potasio.

En cambio Mc Gregor et al. (1974); Stukenholtz (1966); Sukla y - Mukhi (1979), señalan que los incrementos de potasio resultan en un incremento ligero en la concentración de zinc en los brotes de la parte aérea; así mismo, reportan que altos contenidos de potasio nativo o intercambiable en el suelo inhiben el efecto nocivo del fósforo sobre el zinc, incrementando su absorción por la planta de maíz. (27)

3.2.6. Fierro-cobre.- Las concentraciones elevadas de cobre o zinc en una solución nutriente han mostrado capacidad para producir - clorosis de fierro en cítricos (Chapman, Liebig y Vanselow, 1940). - Reuther y Smith (1953), confirmaron la observación de que altas con-

centraciones de cobre en cultivos de suelos de arena causaban clorosis de fierro en cítricos. Spencer (1966) mostró que niveles elevados de cobre aplicados al suelo reducían el contenido de fierro en hojas de cítricos. Moore et al. (1957) observaron que el crecimiento de lechuga a cualquier nivel de cobre era afectado por el suplemento de fierro. Los efectos tóxicos del cobre a un nivel elevado de suplemento fueron disminuidos por adiciones de fierro, pero el efecto adverso de altos niveles de cobre nunca fue totalmente subsanado por el fierro.

Cheshire, DeKock e Inkson (1967) mostraron que las interacciones de nutrientes involucrando fierro y cobre explicaban la frecuente presencia de deficiencia de cobre en suelos de alto contenido de materia orgánica más que una fijación química de cobre. La aplicación de fierro reducía la captación y concentración de cobre en plantas de avena únicamente cuando el cobre había sido aplicado a turba. El cobre aplicado disminuyó la concentración de fierro en avena con adición de fierro o sin aplicación de este elemento. Las correcciones en la concentración de cobre y fierro causaron incrementos en los rendimientos de avena, pero ninguno de los dos elementos fue efectivo por si solo.

(14)

3.2.7. Fierro-manganeso.— Las plantas cloróticas han sido observadas en suelos ácidos que también contenían grandes cantidades de manganeso disponible (Somers y Shive, 1942). La clorosis fue remedida por la aspersión de fierro. En soluciones nutrientes se hicieron crecer plantas de soja con clorosis típica debida a deficiencia de fierro con elevadas concentraciones de manganeso. Los resultados que obtuvieron estos autores indican que el fierro y el manganeso están interrelacionados en sus funciones metabólicas con la efectividad de uno determinada por la presencia proporcional del otro. Grasmanis y Leeper (1966) redujeron los niveles tóxicos de manganeso en hojas de manzana de 100 a 35 ppm de manganeso mediante la inyección de citrato de fierro dentro del árbol o por aplicación de FeEDTA al suelo.

Epstein y Stout (1951) sugirieron que el manganeso interfería - con el transporte de fierro de las raíces a los brotes. La absorción de fierro por las raíces se incrementó al aumentar la concentración - de manganeso en suspensiones de arcilla.

Knezek y Greinert (1971) aplicaron formas de fierro y manganeso\_ inorgánicas y queladas a estiercol deficiente en manganeso y con un - pH de 6.5. La aplicación de FeEDTA, MnEDTA -o ambos- disminuyó el - crecimiento y la captación de Mn e incrementó la relación Fe/Mn de - frijoles de variedad Navy. La aplicación de MnEDTA o FeEDTA intensi- ficó los síntomas visibles de deficiencias de manganeso. Los resulta- dos de estos autores indicaron que el manganeso era rápidamente des- plazado del MnEDTA por el fierro y que el manganeso liberado era inac- tivado como un complejo orgánico por el suelo.(14)

3.2.8. Fierro-zinc.- Adriano et al. (1971) señalan que el fie- rro y zinc son mutuamente antagónicos e interactúan mas marcadamente\_ que los otros micronutrientes. El efecto antagónico de fierro y zinc puede explicar el porque a bajos y altos niveles de fierro disminuye\_ el crecimiento de la planta. La deficiencia de fierro a bajos nive- les retardó el crecimiento; sin embargo, a altos niveles de fierro, - se acentuó la deficiencia de zinc. Recíprocamente, el efecto del zinc sobre el fierro fue similar a aquellos reportados por Hewitt (1953),\_ quien encontró que la deficiencia de fierro estuvo inducida más pron- tamente por zinc que por manganeso. Este resultado muestra que el - zinc afectó la translocación de fierro mas que la absorción de fie- rro.

Warnock (1970) indica que las plantas con deficiencias de zinc - acumularon grandes excesos de fierro. La interferencia del exceso de fierro es sugerida como una contribución a una mal función fisiológi- ca dentro de la planta deficiente de zinc.

Halverson y Lindsay (1977) y Safaya (1976), reportan que grandes cantidades de zinc aplicado al suelo y absorbido por la planta, ~~la~~

túan la deficiencia de fierro por reducción en el flujo de fierro y - por reemplazo en parte de fierro por el zinc de los quelatos, indican do que un alto nivel de zinc se redujo el movimiento dentro de la - planta del fierro.

Kashirad et al., (1978) reportan que la aplicación de fierro al - suelo de 0 y 20 ppm disminuyó el contenido de zinc de 74.3 ppm a 26.5 ppm respectivamente en la parte aérea de la planta.(27)

Las investigaciones anteriores indican que un balance favorable\_ de nutrientes es esencial para un buen desarrollo, pero los datos no\_ muestran cuál fue el mecanismo que esta involucrado entre el fierro y el zinc.(14)

3.2.9. Fierro-molibdeno.- Las interacciones fierro-molibdeno - han sido observadas a menudo en plantas en relación con diversos nive\_ les de manganeso y los resultados han sido variables. Gerloff, Stout y Jones (1959) encontraron que el molibdeno y manganeso eran capaces\_ de afectar la disponibilidad de fierro en plantas de tomate. A medi\_ da que el molibdeno en la solución de cultivo fue incrementando de - 0.067 a 6.70 ppm, el rendimiento de tomate se redujo de 3.28 a 0.39 - gr. Estas disminuciones correlacionan con una marcada intensidad de\_ la clorosis de fierro, aunque el contenido de fierro en las puntas de las plantas permanecía constante a cerca de 30 ppm. Los autores sugi\_ rieron que el molibdeno acentuaba la deficiencia de fierro debido a - la formación de un precipitado de fierro-molibdato en las raíces.

Una interacción marcada entre el fierro y el molibdeno con toma\_ te en cultivo de nutrientes fue observada por Kirsch, Harward y Peter\_ sen:(1963). Cuando el molibdeno fue adicionado a niveles bajos de - fierro, los rendimientos disminuyeron. La adición de molibdeno a ni\_ veles elevados de fierro incrementó los rendimientos. Los autores ob\_ servaron que el molibdeno acentuaba la clorosis de fierro inducida - por manganeso pero únicamente a niveles bajos de fierro. Así, se su\_ gieren dos efectos del molibdeno y el fierro, uno benéfico y otro per\_

judicial. Los mecanismos no estan aún bien entendidos.(14)

3.2.10. Cobre-zinc.- La deficiencia de zinc en alfalfa y trébol disminuyó la concentración de zinc en las plantas e incrementó - marcadamente la concentración de cobre (Millikan, 1953). La deficiencia de cobre causada por una concentración ligeramente menor de este elemento en estas plantas, comparadas con las normales, y la concentración de zinc no fueron afectadas por la deficiencia de cobre. El trébol fué más sensitivo que la alfalfa a la deficiencia de zinc, pero la alfalfa fué más sensible a la deficiencia de cobre.

En áreas de deficiencia de cobre y zinc la tasa de aplicación de zinc necesita un control cuidadoso, especialmente en suelos de textura gruesa. Si el zinc fuese aplicado en cantidades mayores a las recomendadas, induciría la deficiencia de cobre en trigo y cebada (Gilbey, Greathead y Cartrell, 1970).(14)

3.2.11. Cobre molibdeno.- El antagonismo entre cobre y molibdeno ha sido sugerido en la nutrición animal y se ha proyectado como una interacción importante en plantas (Giordano, Koontz y Rubins, 1966; MacKay, Chapman y Gupta, 1966). Giordano et al. (1966) obtuvieron evidencia que indicaba la interferencia del cobre con el papel del molibdeno en la reducción enzimática del  $\text{NO}_3^-$  en plantas de tomate. MacKay et al. (1966) encontraron un antagonismo mutuo entre el cobre y el molibdeno en estudios realizados con cinco tipos de plantas. Cuando uno de los elementos estaba presente en exceso, la toxicidad era disminuída por la aplicación del otro. Otra condición distintiva fué observada entre el cobre y el molibdeno. La aplicación de cobre agravaba la deficiencia de molibdeno en plantas de espinaca y coliflor, y aparentemente, la aplicación de molibdeno intensificaba la deficiencia de cobre en zanahoria, espinaca y lechuga.(14)

3.2.12. Manganeso-zinc.- Onki (1975) señala que a una mayor aplicación de manganeso en el suelo (de 0 a 4000 microgramos/litro), se observa que el contenido de zinc en los tallos de sorgo disminuyó



de 50 ppm a 22 ppm de zinc conforme se aplicó manganeso, el aumento de manganeso incrementó la concentración de este micronutriente en los tallos de 4 a 634 ppm de manganeso, asimismo incrementó la concentración de fierro de 78 a 162 ppm.

Onki (1975) reporta que bajo muy severas condiciones de deficiencia de manganeso, se inducen altas concentraciones de zinc en las hojas. Sin embargo, si se incrementa más allá del nivel crítico de manganeso, la concentración de zinc permanece constante, indicando que en el rango de suficiencia de manganeso, la acumulación de zinc en el tejido de la hoja es independiente de la concentración de manganeso, pero a elevadas dosis de manganeso se observa que la concentración de zinc en el tejido de los tallos disminuye constantemente de 127 a 24 microgramos/gramo.

Fuehring y Soofi (1964), indican que el óptimo nivel de zinc en las hojas de maíz para producción de grano se afectó a las más grandes magnitudes por los niveles de manganeso; un contenido bajo de manganeso en las hojas resultó en un bajo requerimiento de zinc, mientras que altas concentraciones de manganeso en las hojas resultaron en un alto requerimiento de zinc para el grano y follaje. (27)

3.2.13. Zinc-magnesio. Un incremento en el pH del suelo por alcalinización reduce la disponibilidad de zinc en las plantas. Seatz (1960) reportó que el uso de material alcalinizante conteniendo  $MgCO_3$  daba como resultado una deficiencia de zinc menos severa. Estos datos indicaron que la interacción del magnesio con el zinc ocurría en un mayor grado dentro de la planta que en el suelo. Otros postulados sugieren que ya que el magnesio y el zinc tienen casi el mismo radio iónico, el ion magnesio puede interaccionar con un compuesto relativamente insoluble de zinc en el suelo para liberar una forma de zinc disponible para la planta. (14)

#### 4.- Sustitución de los elementos.

Cualquier ion que se encuentre libre en la solución del suelo de inmediato puede ser empleado para la nutrición vegetal; la planta no tiene preferencia hacia ningún ion, es decir estos son tomados al azar, por lo tanto si un ion se encuentra en mayor concentración que otros este tendrá mayor probabilidad de ser absorbido, esto provoca un desequilibrio en el metabolismo de la planta.(25)

Este fenómeno ocurre especialmente en las reacciones de respiración, el manganeso puede ser sustituido por otros cationes divalentes como  $Mg^{++}$ ,  $Co^{++}$ ,  $Zn^{++}$  y  $Fe^{++}$ . La sustitución más frecuente la realiza el magnesio.(4)

#### 5.- Factores que afectan la asimilación de nutrientes.

5.1. pH del suelo.- Tal vez la influencia más importante del pH en el crecimiento de las plantas es el efecto del pH en la asimilación de los nutrimentos.(13)

El pH del suelo puede influir en la asimilación nutritiva y crecimiento de las plantas; a travez del efecto directo del ion  $H^+$  e indirectamente, por su influencia en la asimilación de los nutrientes y la presencia de iones tóxicos aunque en los valores extremos del pH puede demostrarse el efecto directo del ion  $H^+$ , muchas plantas pueden tolerar una fuerte concentración de ese ion, siempre que se mantenga un equilibrio con otros elementos.(3)

La asimilación del nitrógeno es menor a niveles de pH por debajo de 5.5. El fósforo tiende a ser inasimilable en suelos muy ácidos o muy alcalinos. La asimilación del potasio es mayor a niveles de pH por arriba de 6.0 o sea en suelos alcalinos. El fierro y el manganeso tienden a ser menos asimilables cuando el pH aumenta de 5.5 a 8.0. El cobre y el zinc tienen su asimilabilidad reducida tanto en suelos fuertemente ácidos como alcalinos.(13)

5.2. Alcalinidad del suelo. Los efectos perjudiciales de una alta alcalinidad son debido en gran proporción a los iones hidroxilo. Las grandes dificultades experimentadas por las plantas en crecimiento en suelos alcalinos son una deficiente absorción de fierro, manganeso, boro y ocasionalmente otros elementos traza, y fosfatos entre otros, esto no es causado por una incapacidad de absorción de estos nutrientes en la solución del suelo a estos pH, ya que es causado por que estos nutrientes están en forma insoluble y las raíces no pueden absorberlos. Estos efectos perjudiciales también pueden presentarse en suelos ácidos arenosos, particularmente con un alto contenido de materia orgánica y abonados fuertemente con óxidos de calcio. (16)

En suelos calcáreos cuyo pH es mayor de 7.5 la deficiencia correspondiente al fierro y al manganeso, siendo la causa un exceso de calcio. No se trata de una simple conversión del fierro y el manganeso en formas insolubles, puesto que el análisis indica lo contrario; además las raíces de las plantas absorben ambos elementos y es un hecho que su movimiento en la planta está restringido a causa de que se precipitan dentro de las células. (25)

La actividad del calcio es mayor en gran parte de los suelos alcalinos. Esto unido a un pH alto favorece la precipitación de fosfato dicálcico que es muy insoluble con lo que se generan fosfatos calcícos básicos como la hidroxapatita y el carbonato apatita.

En suelos alcalinos con alto contenido de carbonato cálcico libre existe una disminución en la actividad del fósforo. Los iones de fosfato que entran en contacto con la fase sólida del carbonato cálcico son precipitados en la superficie de estas partículas. La etapa inicial de este proceso de fijación se considera que es un fenómeno de superficie. El depósito subsiguiente puede ser del tipo de acción de masas, la proporción de esta precipitación depende de la concentración de las sustancias reaccionantes en la solución del suelo. Tomando en consideración la naturaleza de la reacción, el producto final parece ser una sal de calcio relativamente insoluble, fósforo y quizá

$\text{CO}_3^-$  o  $\text{OH}^-$ .

Otro mecanismo que se considera responsable de la fijación del fósforo en los suelos alcalinos, es la retención del fosfato por las arcillas saturadas con calcio. Ha sido sugerida una unión arcilla -  $\text{Ca-H}_2\text{PO}_4$ . Tales reacciones pueden tener lugar en pH ligeramente menores de 6.5, pero en suelos más alcalinos que éstos, el fosfato dicálcico probablemente sería precipitado directamente desde la solución.

Numerosos estudios han mostrado que el zinc es absorbido por varias arcillas minerales y también por carbonatos de calcio y magnesio. Comúnmente son observadas deficiencias de zinc en suelos calcáreos y en suelos ácidos con altas adiciones de cal. Resultados de diversos estudios han mostrado que el zinc es absorbido por los carbonatos de calcio y magnesio. Se sugiere que la fuerte adsorción del zinc en suelos minerales es en parte responsable a la baja solubilidad de este elemento.

Los resultados de numerosos estudios muestran que hay una tendencia del zinc a formar compuestos de baja solubilidad en los suelos. La precipitación como carbonatos, hidróxidos y fosfatos puede reducir la disponibilidad del zinc, pero de hecho no hay evidencia que indique que estas reacciones por sí solas puedan dar como resultado deficiencias de zinc. Sugiere sin embargo, que las reacciones de adsorción pueden reducir el zinc disponible a niveles deficientes y que estas reacciones ocurren tanto en arcillas minerales, materia orgánica como en carbonatos insolubles. (26)

#### 6.- Aspectos generales de las pruebas de suelo.

Los usuarios de las pruebas de suelo están principalmente interesados en la determinación del estado de los nutrientes del suelo y en decidir si la aplicación de un nutriente particular será probablemente benéfica. Para satisfacer estos objetivos es necesario desarrollar métodos apropiados para estimar la disponibilidad de un nutrien-

te particular. La interpretación apropiada de los resultados tiene que basarse en estudios de investigación que calibren estas pruebas con la respuesta de la planta en relación a la adición de una cantidad adecuada de nutrientes cuando otros elementos o condiciones no son limitantes.

Uno de los objetivos de las pruebas de suelo para nutrientes es el de separar los campos deficientes de los no deficientes. Esta información es importante para determinar si un suelo puede proporcionar cantidades importantes de nutrientes para una producción óptima, así como para una nutrición adecuada de los animales que vayan a consumir el producto cosechado. Una vez que la información está disponible en relación a la localización de áreas deficientes pueden aplicarse medidas correctivas. La información con respecto a la extensión de las áreas deficientes es también importante para ayudar a los productores de fertilizantes a determinar las cantidades y tipos de nutrientes que deben proporcionarse al fertilizante para una determinada región. Otro objetivo de las pruebas de suelo para nutrientes es determinar la probabilidad de una respuesta lucrativa a la aplicación de nutrientes. Como los productores han tratado de incrementar los rendimientos de sus cosechas, una de las preguntas que se hacen más frecuentemente es si la adición de nutriente incrementará los rendimientos y si estos serán lucrativos. (14)

Richard y Chaminade distinguen dos etapas claramente diferentes en el estudio de la fertilización:

- Adaptar la fertilización al suelo.
- Adaptar la fertilización a las plantas que se cultiven.

En la primera fase, llamada por algunos etapa de invernadero, la planta solo actúa como indicadora y tiene como finalidad esencial definir zonas homogéneas en cuanto a sus problemas de fertilización. En la segunda fase, son las necesidades de la planta las que se estudian para determinar la abonadura de mantenimiento. (19)

Esto quiere decir que los resultados obtenidos en el invernadero deben ser usados como una guía en la planificación de experimentos de campo, efectivos y comprensibles.(6)

Los estudios de invernadero tienen una limitación ya que no consideran ninguna contribución del subsuelo o la influencia de algunos otros factores, tales como drenaje y condiciones climáticas. Además las plantas creciendo en invernadero están sometidas a un volumen restringido de suelo y a menudo no se desarrollan hasta la madurez. Así es importante que una vez que una prueba de nutrientes en el suelo ha sido calibrada en el invernadero, sea probada posteriormente bajo condiciones de campo.(14)

#### 7.- Técnica del elemento faltante.

Uno de los principales diseños experimentales usados en la caracterización de la fertilidad de los suelos es la técnica del elemento faltante. Desde que Salm-Horstmar la utilizó en el invernadero, 1849 y Georges Ville la puso en práctica en el campo, 1870, muchos otros investigadores han hecho uso extensivo de esta técnica con bastante éxito.(12)

Las pruebas de invernadero en forma intensiva empezaron en Berkeley en 1943 para el estudio de la fertilidad o suplemento de nutrientes de los suelos de California, aparte de otros factores que afectan el crecimiento de las plantas. Este intento fue hecho para utilizar las pruebas de invernadero con macetas como una herramienta de análisis de suelo utilizando una planta indicadora. Este trabajo se presta para discutir las características esenciales de la técnica y la interpretación de los resultados.(10)

En vista que en la técnica del elemento faltante se aplican todos los nutrientes menos el elemento en cuestión, este diseño se presta para trabajar en el invernadero, donde el volumen de suelo utilizado es pequeño y las deficiencias nutricionales suelen aparecer con fa

cilidad. Además se aplica muy bien a suelos pobres en donde las deficiencias y desbalances nutricionales también son comunes.(12)

Esta técnica tiene su fundamento científico en la "Ley del mínimo" propuesta por Justus Von Liebig hace más de un siglo. Esta ley no solo se aplica a los factores que afectan a la fertilidad, sino a todos los factores que intervienen en el crecimiento. Esta ley dice lo siguiente: "Una planta crecerá o producirá sólo hasta que el factor primario más limitante lo permita". Si dicho factor primario es corregido hasta un nivel adecuado, entonces, el siguiente factor limitante pasará a ser el primero, etc.

El uso de análisis de suelos como un medio para determinar el estado de fertilidad, en términos de disponibilidad adecuada o excesiva de los varios elementos presentes en el suelo para las plantas, esta basada en la teoría de que existen "niveles críticos", en relación al método analítico utilizado. Cuando el nivel de un elemento medido en el suelo esta por debajo de este nivel crítico, el crecimiento de la planta estará restringido por el grado en que ese elemento se encuentre por debajo de dicho nivel.(6)

El nivel crítico se define, para un nutriente dado y una parte de la planta, como la concentración a la cual la producción declina significativamente.

El nivel crítico se determina mejor a travez del uso de soluciones nutritivas que permiten la adición de nutrientes de forma cuantitativa. En estas experiencias el nivel de los nutrientes no investigados se mantienen en concentraciones suficientes para que no causen interferencias.

Una vez que el nivel crítico se ha averiguado conviene comprobarlo con cultivos creciendo en el campo. Es sorprendente comprobar la coincidencia en líneas generales entre el nivel crítico determinado con soluciones nutritivas y el determinado en experiencias de campo.  
(11)

Ya que el suelo es un sistema físico, químico, biológico-dinámico y complicado y por esta razón, los criterios de análisis, medida e interpretación no deben ser aplicados igual a todas las situaciones específicas.

A causa de las características dinámicas del suelo, cuando se le agrega algún material o elemento, éste estará sujeto a cambios físicos químicos y biológicos debido al cambio en las reacciones que se llevan a cabo en su seno. Por esta razón, es de esperar que su disponibilidad para la planta varíe debido no solo al elemento agregado sino también a los elementos que ya se encontraban presentes. Por conveniencia de expresión, este cambio o reactividad de los elementos es llamado en esta metodología "sorción".

Ya que la sorción afecta la disponibilidad de los elementos para las plantas, es necesario disponer de medios para determinar la capacidad de sorción de los suelos, para los principales elementos nutritivos.

Estos estudios se llevan a cabo añadiendo al suelo, en solución, distintas cantidades y niveles de elementos. La cantidad de solución agregada es suficiente para saturar completamente la muestra de suelo y dejar un ligero exceso cubriéndola. Esto producirá una condición anaeróbica en la muestra durante algunas horas. El recipiente que contiene la muestra se deja destapado hasta que ésta se seque, lo que usualmente toma alrededor de cuatro días. Este sistema permite que los elementos reaccionen con el suelo bajo una condición de humedad hasta la sequedad, lo que reduce en un corto período de tiempo las reacciones que se llevan a cabo cuando esto sucede a nivel de campo.

Se construyen gráficas para cada elemento y en uno de los ejes se marca la cantidad de elemento extraído y en el otro, la cantidad de elemento agregado. La cantidad de elemento agregado es igual a la concentración de las soluciones utilizadas en el trabajo de sorción.



Estas curvas de sorción se utilizan para determinar la cantidad de elementos a agregar en los estudios de invernadero.

El estudio de invernadero es, realmente, un reconocimiento preliminar del estado de fertilidad del suelo por lo que un mínimo de 3 repeticiones son adecuadas para este fin.(6)

Diversos trabajos han demostrado que la producción de masa vegetal esta en función del volumen del suelo y del número de plantas por vaso.(7)

El volumen de suelo requerido por maceta ha sido estudiado en rangos que varían desde 50 ml hasta 2 lt. Un volumen de 150 ml es adecuado para la prueba del elemento faltante. La población de plantas debe ser suficientemente grande como para poner al suelo en un estado de sobrecarga de suministro de los distintos elementos. Un número adecuado para 150 ml de suelo es de 5 a 6 plantas por vaso.(6)

Plantas como sorgo, arroz, trigo, girasol, maíz, rábanos o tomates, han sido utilizadas como plantas indicadoras en esta técnica, pero el sorgo parece ser uno de los mejores, siendo sensitiva a la mayoría de las deficiencias, crece rápido, tiene semillas pequeñas y crece en un amplio rango de condiciones climáticas.

Cuando se usa un volumen pequeño de suelo, como 150 ml, en estudios de invernadero normalmente se dificulta el mantener adecuado sistema de irrigación, por lo que se utiliza el riego por capilaridad.

El sorgo generalmente adquiere el máximo crecimiento, bajo estas condiciones, a las 4 o 5 semanas dependiendo de la temperatura y horas luz. Las plantas deben ser cosechadas tan pronto como las mejores plantas hayan detenido su crecimiento.(6)

En este tipo de estudios se recomienda utilizar los rendimientos relativos y no los absolutos, debido a que no obstante que los datos

experimentales que se comparan, provienen de un área relativamente - uniforme, siempre existen diferencias.

El rendimiento relativo o porcentaje del rendimiento máximo expresa la severidad de la deficiencia, es decir, indica que porcentaje del rendimiento máximo posible con adición del nutriente sería posible producir sin adición del mismo.(4)

## MATERIALES Y METODOS

El presente trabajo se realizó en el invernadero y laboratorio de suelos de la Facultad de Agronomía de la Universidad Autónoma de Nuevo León, utilizándose para el mismo muestras de suelo de diferentes localidades del Estado de Nuevo León, situado geográficamente entre los paralelos  $23^{\circ}10'$  y  $27^{\circ}47'30''$  de latitud Norte y entre los  $98^{\circ}24'38''$  y  $101^{\circ}12'09''$  de longitud Oeste del Meridiano de Greenwich.

A continuación se presentan las consideraciones realizadas para iniciar el experimento:

### 1.- Selección de los puntos a muestrear.

La selección de los puntos a muestrear se llevó a cabo utilizando el archivo del Laboratorio de Suelos de la Facultad de Agronomía de la UANL, el cual cuenta con más de 3 000 análisis de suelos de diferentes localidades distribuidas en todo el Estado de Nuevo León.

Para fines prácticos el estado se dividió en tres zonas: norte, centro y sur, de las cuales se seleccionaron suelos con diferentes grados de fertilidad: pobre, medio y rico. La clasificación que se consideró se presenta en el cuadro 1.

De cada zona y tipo de suelo se seleccionaron como mínimo dos muestras, para asegurar el gradiente de fertilidad.

Las muestras se tomaron de tal manera que fueran representativas del área y profundidad a la cual era necesaria la información, en este caso 30 cm.

Se tomó un volumen aproximado de 16 litros de suelo para cada muestra y fue pasada a través de un tamiz de 2 mm., para la técnica de diagnosis.

Cuadro 1. Clasificación de los diferentes grados de fertilidad según el Laboratorio de Suelos de la FAUANL.

GRADO DE FERTILIDAD	MATERIA ORGANICA (%)	FOSFORO (ppm)	POTASIO (Kg/Ha)
POBRE	0.10 - 1.8	0.03 - 5.0	2 - 210
MEDIO	1.81 - 3.0	5.10 - 10.0	211 - 350
RICO	+ 3.1	+ 10.1	+ 351

Las localidades muestreadas y que previamente se dividieron en base a la clasificación antes mencionada, fueron las siguientes:

GRADO DE FERTILIDAD	ZONA NORTE	ZONA CENTRO	ZONA SUR
POBRE	Francisco Villa Sta. Ma. la Floreña Gja. Nueva Ramoncita	Caja Pinta Santo Domingo	Positos Puentes Raíces
MEDIO	Dulces Nombres Santa Rosa	Vista hermosa	La Ascención San Rafael
RICO	Nuevo Repueblo Cieneguitas	Lirios Las Flores	Salero Sandia

De cada una de las localidades muestreadas se tomó una submuestra representativa, que fué utilizada para el análisis preliminar y estudios de sorción.

## 2.- Análisis preliminar de las muestras de suelo.

Los análisis realizados se muestran en el cuadro 2.

Las lecturas de absorvancia para fósforo y potasio fueron obtenidas mediante un fotocolorímetro; usando para fósforo una longitud de onda de 820 nm. y para potasio 650 nm.

Cuadro 2. Determinaciones realizadas y metodología empleada para el análisis preliminar de las muestras de suelo.

DETERMINACION	METODOLOGIA
pH	Potenciómetro con una relación 1 : 2
Materia Orgánica (%)	Walkley Black
CaCO <sub>3</sub> (%)	Titulación con hidróxido de sodio
Fósforo (ppm)	Olsen modificado (EDTA)
Potasio (Kg/Ha)	Peech and English

La determinación de pH se realizó para observar la disponibilidad de los nutrientes a distintos pH y además detectar la posible presencia de sales solubles.

La obtención del porcentaje de carbonatos de calcio se hizo con la finalidad de interpretar la posible insolubilización de algunos nutrientes.

Al realizarse el análisis preliminar de las muestras de todas las localidades se observó que las concentraciones de fósforo excedían en gran proporción los valores de la clasificación original, por lo cual se procedió a elaborar una nueva clasificación para P. Para M.O y K se tomó la misma clasificación. La nueva clasificación se presenta en el cuadro 3.

Cuadro 3. Clasificación empleada para la selección de las localidades a estudiar.

GRADO DE FERTILIDAD	MATERIA ORGANICA (%)	FOSFORO (ppm)	POTASIO (Kg/Ha)
POBRE	0.10 - 1.8	0 - 40	2 - 210
MEDIO	1.81 - 3.0	41 - 80	211 - 350
RICO	+ 3.1	+ 81	+ 351

Una vez efectuado el análisis preliminar de las muestras se proce

dió a seleccionar una localidad para cada grado de fertilidad y para cada zona. Para la selección de localidades se buscó que coincidieran para cada grado de fertilidad, en el mayor número de características.

Siendo las localidades elegidas las siguientes:

ZONA	LOCALIDAD	GRADO DE FERTILIDAD
NORTE	Santa Rosa, Apodaca	Pobre
	Dulces Nombres, Pesquería	Medio
	Nueva Ramoncita, C. de Flores	Rico
CENTRO	Vistahermosa, Montemorelos	Pobre
	Caja Pinta, Linares	Medio
	Lirios, Allende	Rico
SUR	Sandia, Aramberri	Pobre
	Salero, Galeana	Medio
	Puentes, Aramberri	Rico

La ubicación geográfica en el Estado de Nuevo León de las localidades seleccionadas de acuerdo a su grado de fertilidad se muestran en la figura 1.

### 3.- Estudios de sorción y selección de tratamientos.

Estos estudios se llevaron a cabo añadiendo a una muestra de suelo, una solución con distintos niveles de elementos. El recipiente que contiene la muestra se dejó destapado hasta que esta se secó, lo que tardó alrededor de cuatro días.

Se preparó una solución B (ver Apendice), la cual contenía una determinada concentración de elementos a probar; se preparó una serie de cinco tratamientos de sorción, como se indica en el cuadro 4, por dilución de las cantidades indicadas en la solución B a 100ml.

Con el objeto de estimar las curvas de sorción con más precisión se realizaron dos repeticiones para cada tratamiento.

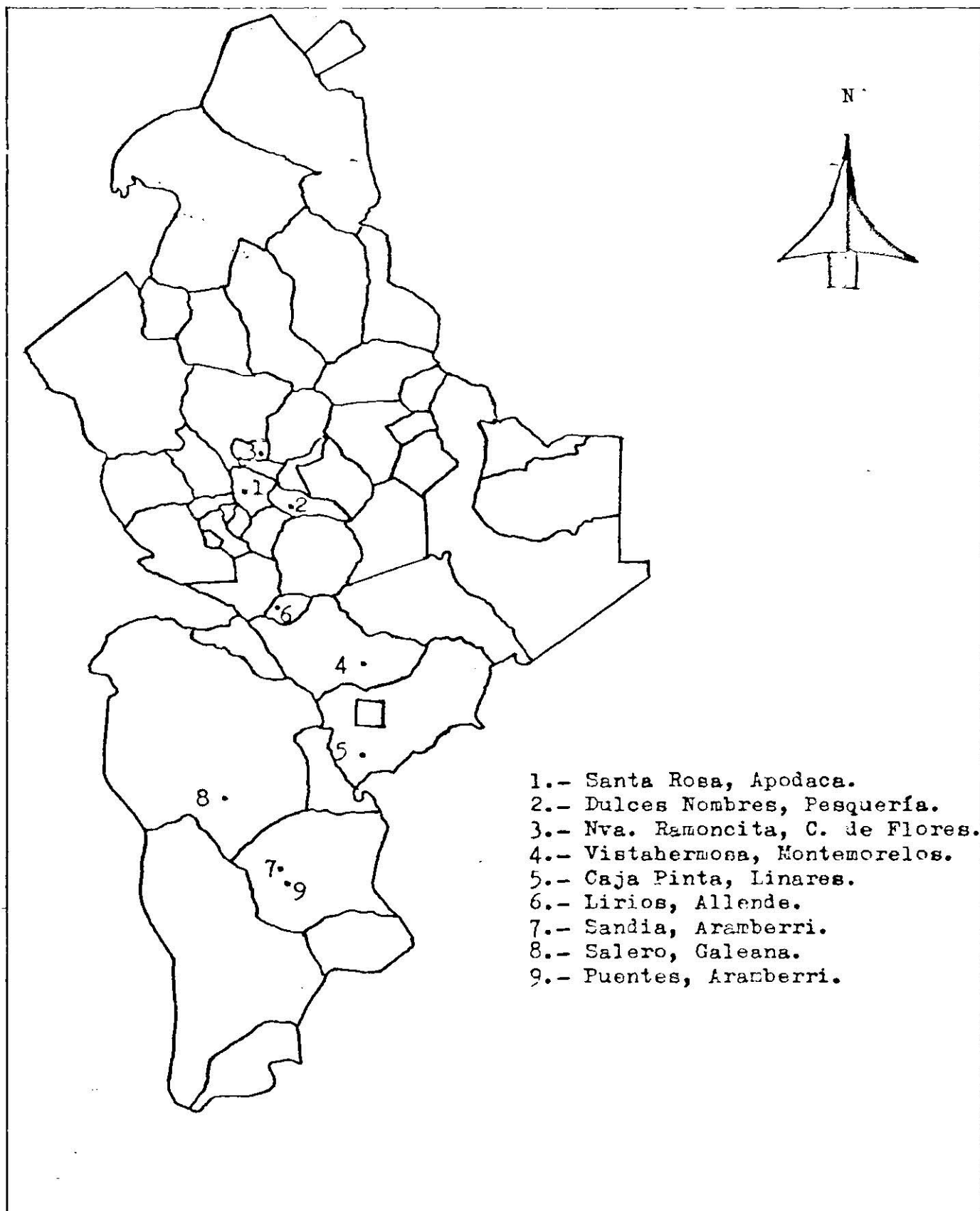


Figura 1. Ubicación de las localidades seleccionadas.

El estudio se llevó a cabo en frascos de reactivo de 125 ml.; se depositaron 2.5 gr. de la muestra de suelo en cada recipiente y se agregaron 2.5 ml. de un tratamiento de sorción, hasta completar los 5 tratamientos y además un testigo al cual se le agregó 2.5 ml. de agua desionizada; realizándose posteriormente una segunda repetición de todos los tratamientos en cada tipo de suelo.

Cuadro 4. Concentraciones utilizadas en los estudios de sorción para los diferentes elementos a probar.

Tratamiento de "sorción" No.	ml. de solución B diluidos a 100 ml.	Concentraciones del elem. en las solns. de "sorción"				
		P	Cu	Mn	Zn	K
		mg/lt				
1	5	35	2	5	4	4.3
2	10	70	4	10	8	8.6
3	20	140	8	20	16	17.6
4	40	280	16	40	32	35.2
5	80	560	32	80	64	70.4

Una vez que las muestras se secaron, se agregaron 25 ml. de solución extractora de Olsen Modificado y el carbón activado suficiente para obtener un filtrado cristalino; se agitó durante 10 minutos y se filtró; a estos extractos se les determinó la concentración de Cu, Mn, Zn y K mediante absorción atómica y P por el método colorimétrico (Azul de Molibdeno).

Obtenidas las concentraciones extraídas de los tratamientos de sorción de cada suelo, se construyeron gráficas para cada elemento; en el eje de las Y se representa la cantidad del elemento extraído y en el eje de las X la cantidad del elemento agregado. La cantidad del elemento agregado es igual a la concentración de las soluciones utilizadas en el trabajo de sorción. Estas curvas se utilizaron para determinar la cantidad de elementos a agregar en el invernadero y además para obtener la capacidad de fijación relativa (CFR), la cual fue determina



da de la siguiente forma:

$$CFR = ( 1 - B_1 ) 100$$

en donde: CFR = Capacidad de fijación relativa.

$B_1$  = Pendiente de la curva de regresión de sorción.

Estos resultados fueron utilizados para la interpretación de los resultados obtenidos en el invernadero.

En este estudio de sorción no se incluyeron el Fe y el N; el Fe por que por medio de esta técnica es difícil determinar la CFR, por las reacciones de oxido-reducción que sufre el elemento al estar en contacto con el suelo; y el N debido a que sus formas nítricas y amoniacales son sumamente móviles.

Se probaron 4 niveles para cada uno de los elementos, siendo estos ausencia, baja, media y alta dosificación; la cantidad a agregar fué obtenida mediante la concentración original del suelo en las curvas de sorción. Estos niveles fueron probados para cada zona y tipo de suelo.

Para encontrar la concentración de cada nivel se tomaron como base los niveles críticos propuestos en la Metodología de Díaz-Romeau y Hunter que son los siguientes:

P = 12.0 mg. de P/lt de suelo  
 K = 7.8 mg. de K/lt de suelo  
 Mn = 5.0 mg. de Mn/lt de suelo  
 Cu = 1.0 mg. de Cu/lt de suelo  
 Zn = 3.0 mg. de Zn/lt de suelo

Para el caso del Fe y N no se presentan niveles críticos específicos, sino cantidades a aplicar según el contenido original de estos elementos en el suelo. Tomandose para el Fe el siguiente criterio, si

la cantidad extraída de la muestra original es menor a 10 mg. de Fe/lt de suelo, se deberán agregar 20 mg. de Fe/lt de suelo; para el caso del N el criterio tomado fué el de que casi todos los suelos necesitan N además del que tienen, por lo cual esté elemento se agrega en una proporción de 50 mg. de N/lt de suelo.

Para encontrar cada una de las concentraciones (niveles) de los elementos a probar, se consideró el nivel crítico como la concentración media. La concentración baja y alta se obtuvieron de restar y sumar el valor medio del nivel crítico.

Debido a que las concentraciones originales del suelo estaban por encima de los niveles propuestos y el objetivo de este trabajo era probar varios niveles de aplicación, se procedió a aumentar los niveles críticos; tratando de conservar el equilibrio entre los iones. Para esto el nivel bajo se multiplicó por 3; el nivel medio por 6 y el nivel alto por 9; con excepción del Fe que se aumentó obteniendo la relación Fe con los demás micronutrientes, para respetar el equilibrio antes mencionado. En el caso del N se tomó la concentración propuesta por Díaz-Romeau y Hunter que es de 50 ppm., tomándose este como el nivel medio, los niveles bajo y alto se obtuvieron de la misma forma que los demás elementos.

Resultando los niveles a probar de la siguiente forma:

ELEMENTO	NIVELES (ppm)			
	Ausencia	Bajo	Medio	Alto
N	0	25.00	50.00	75.00
P	0	18.00	72.00	162.00
K	0	11.73	46.92	105.57
Fe	0	31.50	126.00	283.50
Cu	0	1.50	6.00	13.50
Mn	0	7.50	30.00	67.50
Zn	0	4.50	18.00	40.50

Una vez definidos estos niveles, se determinaron los tratamientos de tal forma que para cada elemento se respetaba la concentración a probar y los demás elementos estuvieron presentes a un nivel medio.

Estos tratamientos se probaron para cada tipo de suelo en las tres zonas. Cada tipo de suelo requería de diferentes concentraciones de cada elemento a determinado nivel; la aplicación se hizo para el suelo que requería mayor concentración del elemento en cada nivel. La concentración aplicada se presenta en el cuadro 5.

Cuadro 5. Concentraciones aplicadas del elemento puro en ppm.

ELEMENTO	ZONA	NIVELES			
		Ausencia	Bajo	Medio	Alto
N	NORTE	-	25.00	50.00	75.00
	CENTRO	-	25.00	50.00	75.00
	SUR	-	25.00	50.00	75.00
P	NORTE	-	-	-	50.72
	CENTRO	-	-	19.88	109.88
	SUR	-	4.40	58.40	60.50
K	NORTE	-	-	31.53	90.18
	CENTRO	-	-	29.72	88.37
	SUR	-	-	8.14	66.79
Fe	NORTE	-	31.50	126.00	283.50
	CENTRO	-	31.50	126.00	283.50
	SUR	-	31.50	126.00	283.50
Cu	NORTE	-	-	2.81	10.31
	CENTRO	-	-	1.88	9.38
	SUR	-	-	1.19	8.69
Mn	NORTE	-	2.41	24.91	62.41
	CENTRO	-	4.82	27.32	64.82
	SUR	-	3.96	26.46	63.96
Zn	NORTE	-	0.83	14.33	36.83
	CENTRO	-	0.08	13.58	36.08
	SUR	-	1.44	14.94	37.44

- = No se aplico el elemento.

Además de estos tratamientos se probaron un tratamiento óptimo y un testigo absoluto para cada suelo. El óptimo se obtuvo siguiendo el

criterio de Díaz-Romeau y Hunter, el cual menciona que, para formar el tratamiento óptimo es necesario aumentar tres veces el nivel crítico - para cada elemento; aplicados en forma conjunta para cada suelo. El testigo absoluto no se le aplicó ninguno de los elementos estudiados, - solamente se mantuvo el cultivo con agua desionizada. La concentración en ppm. de los tratamientos óptimos fueron las siguientes:

ELEMENTO	N	P	K	Fe	Cu	Mn	Zn
NIVEL	150	216	140.76	3 78	18	90	54

4.- Demostración mediante técnicas de invernadero, del rango en que varios elementos limitan el crecimiento vegetativo.

Los tratamientos se probaron en los suelos seleccionados, los cuales fueron implantados en vasos de frígolite de un volumen de 200 ml., utilizando 150 ml. de suelo.

Se utilizó el riego por capilaridad, usándose como tubo capilar - un material hecho de tela compactada, colocada en el fondo del vaso.

Los recipientes para las soluciones eran de plástico, con una profundidad de 15 cm. y con la suficiente área para colocar sobre ellos 9 vasos. Los vasos eran sostenidos sobre una malla de acero inoxidable, - que estaba ensamblada sobre el recipiente que contenía la solución nutritiva. Cada recipiente contenía un elemento y un nivel determinado.

El diseño de tratamientos utilizado fué un diseño factorial mixto 3 x 4 x 7 más un óptimo y un testigo para cada suelo; en donde 3 era - el tipo de suelo, 4 los niveles del elemento y 7 el número de elementos a probar. Cada tratamiento con tres repeticiones, (ver figura 2). El análisis estadístico se llevó a cabo en un diseño experimental completamente al azar, en forma individual para cada zona.

El modelo estadístico utilizado fué el siguiente:

## CONCENTRACION DEL ELEMENTO

	Ausencia	Baja	Media	Alta	
N	P I, II, III	P I, II, III	P I, II, III	P I, II, III	E L C A M D E A N Z O N A D E P E R L O B E S T A R D E N O
	M I, II, III	M I, II, III	M I, II, III	M I, II, III	
	R I, II, III	R I, II, III	R I, II, III	R I, II, III	
P	P I, II, III	P I, II, III	P I, II, III	P I, II, III	
	M I, II, III	M I, II, III	M I, II, III	M I, II, III	
	R I, II, III	R I, II, III	R I, II, III	R I, II, III	
K	P I, II, III	P I, II, III	P I, II, III	P I, II, III	
	M I, II, III	M I, II, III	M I, II, III	M I, II, III	
	R I, II, III	R I, II, III	R I, II, III	R I, II, III	
Fe	P I, II, III	P I, II, III	P I, II, III	P I, II, III	
	M I, II, III	M I, II, III	M I, II, III	M I, II, III	
	R I, II, III	R I, II, III	R I, II, III	R I, II, III	
Cu	P I, II, III	P I, II, III	P I, II, III	P I, II, III	
	M I, II, III	M I, II, III	M I, II, III	M I, II, III	
	R I, II, III	R I, II, III	R I, II, III	R I, II, III	
Mn	P I, II, III	P I, II, III	P I, II, III	P I, II, III	
	M I, II, III	M I, II, III	M I, II, III	M I, II, III	
	R I, II, III	R I, II, III	R I, II, III	R I, II, III	
Zn	P I, II, III	P I, II, III	P I, II, III	P I, II, III	
	M I, II, III	M I, II, III	M I, II, III	M I, II, III	
	R I, II, III	R I, II, III	R I, II, III	R I, II, III	
Testigo	P I, II, III M I, II, III R I, II, III	Optimo	P I, II, III M I, II, III R I, II, III		

P = Suelo Pobre      M = Suelo Medio      R = Suelo Rico

I, II, III = Repeticiones por tipo de suelo.

Figura 2. Croquis del experimento para cada zona de estudio.

$$Y_{ij} = U + T_i + E_{ij}$$

En donde:

$Y_{ij}$  = Es la variable bajo estudio.

U = Es la media general.

$T_i$  = Son los tratamientos, donde i es el efecto del i-esimo tmto.

$E_{ij}$  = Es el error experimental asociado con la ij-esima observación.

Las fuentes (reactivos) de los elementos en estudio, fueron de la mejor pureza química, ya que para establecer las diferencias nutricionales es necesario trabajar con fertilizantes químicamente puros, con el objeto de obtener las respuestas en rendimiento del nutriente efectivamente agregado y no de las impurezas que contenga.

Las fuentes para la preparación de las soluciones nutritivas fueron las siguientes:

ELEMENTO	FUENTE	CONCENTRACION (%)
N	$\text{NH}_4\text{NO}_3$	34.99
P	$\text{H}_3\text{PO}_4$	31.60
K	KCl	52.44
Fe	$\text{FeSO}_4 \cdot 7 \text{H}_2\text{O}$	20.08
Cu	CuCl	64.18
Mn	$\text{MnCl}_2 \cdot 4 \text{H}_2\text{O}$	27.75
Zn	$\text{ZnCl}_2$	47.96

Las cantidades de compuestos requeridos para la preparación de las soluciones nutritivas se presentan en el cuadro 6.

El cultivo utilizado en éste experimento fué el sorgo (Sorghum bicolor L.), usandose semilla LES-99 R de la FAUANL, se eligió ésta planta por ser muy sensitiva a la mayoría de las deficiencias probadas, crece rápido y adecuadamente en un amplio rango de condiciones climáticas y tiene semillas pequeñas; fué utilizada como planta indica

dora.

Cuadro 6. Cantidades aplicadas del compuesto (gr/3 lt de agua).

ELEMENTO	FUENTE	ZONA	NIVELES			
			Aus.	Bajo	Medio	Alto
N	$\text{NH}_4\text{NO}_3$	NORTE	-	0.2142	0.4284	0.6429
		CENTRO	-	0.2142	0.4284	0.6429
		SUR	-	0.2142	0.4284	0.6429
P	$\text{H}_3\text{PO}_4$	NORTE	-	-	-	0.4815
		CENTRO	-	-	0.1887	1.0431
		SUR	-	0.0417	0.5344	1.4088
K	KCl	NORTE	-	-	0.1804	0.5159
		CENTRO	-	-	0.1700	0.5055
		SUR	-	-	0.0465	0.3821
Fe	$\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$	NORTE	-	0.4704	1.8822	4.2354
		CENTRO	-	0.4704	1.8822	4.2354
		SUR	-	0.4704	1.8822	4.2354
Cu	CuCl	NORTE	-	-	0.0129	0.0480
		CENTRO	-	-	0.0087	0.0438
		SUR	-	-	0.0055	0.0406
Mn	$\text{MnCl}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$	NORTE	-	0.0258	0.2691	0.6747
		CENTRO	-	0.0521	0.2953	0.7007
		SUR	-	0.0428	0.2866	0.6914
Zn	ZnCl <sub>2</sub>	NORTE	-	0.0051	0.0896	0.2301
		CENTRO	-	0.0005	0.0849	0.2256
		SUR	-	0.0090	0.0934	0.2341

-- = No se aplico el elemento.

Las semillas se sembraron el 28 de Febrero de 1985 en charolas metálicas, utilizando como medio de propagación perlita. Una vez que estas germinaron se procedió a transplantar 5 plantas por vaso que eran las requeridas para este experimento. El establecimiento del trabajo se llevó a cabo 11 días después de haber efectuado la siembra.

Durante el desarrollo del cultivo se llevaron a cabo diversas actividades las cuales fueron las siguientes:

Se procuró durante el desarrollo del cultivo que a los recipientes no les faltara solución nutritiva para que el suministro de nutri-

entes fuera constante y evitar la compactación del suelo en los vasos.

Los recipientes se aleatorizaban cada semana con la finalidad de reducir el error experimental, debido a que las condiciones dentro del invernadero no eran homogéneas.

Se presentó ataque de pulgón y ácaros, realizándose para su control una aplicación de Tamarón a una dosis de 1.5 lt./Ha., ésta aplicación se hizo el 1° de Abril de 1985. El ataque de éstos no fué significativo.

Las plantas se cosecharon a 1 cm. por encima de la superficie del suelo a los 40 días después del trasplante. Las observaciones tomadas de la cosecha fueron: altura de planta, diámetro de tallo, rendimiento en materia verde y rendimiento en materia seca. Las plantas fueron secadas en una estufa a una temperatura de 70° C., obteniéndose así el peso de la materia seca.



## RESULTADOS Y DISCUSION

Los resultados de este trabajo fueron analizados en forma separada para cada zona.

Cada zona fué sometida a tres diferentes análisis, donde los tratamientos fueron estudiados dentro de un diseño completamente al azar (sin considerar su estructura factorial), con el objetivo de observar diferencias significativas entre los tratamientos, determinar los mejores para cada tipo de suelo, así como observar el comportamiento y respuesta de los tratamientos óptimo y testigo. Posteriormente como un arreglo factorial mixto con el objetivo de observar las interacciones existentes entre los factores bajo estudio y su significancia. Finalmente se efectuaron análisis de regresión múltiple de los elementos con niveles, para estimar la importancia de los elementos en cada tipo de suelo.

En general para todas las variables en estudio, tales como: diámetro de tallo, altura de planta, materia verde y materia seca, los tratamientos del suelo rico son los que obtuvieron los valores más altos; los tratamientos del suelo medio presentaron valores regulares y por último los tratamientos del suelo pobre presentaron los valores más bajos. A continuación se presenta la discusión de los resultados para cada zona:

### 1. Zona norte

#### 1.1. Diseño completamente al azar (sin estructura factorial):

En este diseño de acuerdo al ANVA (cuadro 7), se encontró diferencia altamente significativa para los tratamientos en cada variable, por lo que se realizaron comparaciones de medias a través de Tukey, estas comparaciones se presentan en los cuadros 8, 9, 10 y 11.

Los resultados de cada tratamiento se presentan con su simbología y la dosis aplicada para ese elemento específicamente, las dosificaciones de los elementos restantes se pueden observar en el cuadro 12.

1.1.1. Localidad Nva. Ramoncita, Ciénega de Flores: Para esta localid ad correspondiente al suelo rico los mejores tratamientos para la variable diámetro de tallo fueron: potasio alto (36) con 2.97 mm y 89.07 ppm; fierro medio (45) con 2.80 mm y 126 ppm; fierro alto (48) con 2.79 mm y 283.5 ppm; y el tratamiento óptimo (87) con 2.77 mm. El testigo (90) con 1.48 mm que fué el menor valor para este suelo.

En la variable altura de planta sobresalieron cobre medio (57) con 45.44 cm y 2.81 ppm; manganeso alto (72) con 42.48 cm y 62.41 ppm; manganeso ausencia (63) con 40.61 cm y 0 ppm; fierro medio (45) con 40.10 cm y 126 ppm; potasio alto (36) con 38.78 cm y 89.07 ppm; y el óptimo (87) con 38.74 cm. El testigo (90) con 22.34 cm fué el de menor altura.

En lo que respecta a materia verde los mejores tratamientos fueron cobre medio (57) con 9.10 gr y 2.81 ppm; potasio alto (36) con 8.96 gr y 89.07 ppm; manganeso alto (72) con 8.43 gr y 62.41 ppm; fierro medio (45) con 8.86 gr y 126 ppm; fierro alto (48) con 8.46 gr y 283.5 ppm; y el tratamiento óptimo (87) con 8.40 gr. El testigo (90) con un rendimiento de 1.83 gr resultó ser el más bajo para este suelo después de nitrógeno ausencia (03) con 1.80 gr.

Los mejores tratamientos para la variable rendimiento en materia-seca fueron potasio alto (36) con 1.79 gr y 89.07 ppm; medio de cobre (57) con 1.76 gr y 2.81 ppm; fierro medio (45) con 1.72 gr y 126 ppm; fierro alto (48) con 1.71 gr y 283.5 ppm; y el óptimo (87) con 1.64 gr. El testigo (90) con 0.50 gr y nitrógeno ausencia (03) con 0.45 gr fueron los tratamientos de menor rendimiento.

En forma general para el suelo rico de la localid ad Nva. Ramoncita los tratamientos que más sobresalieron para las cuatro variables en estudio fueron el potasio alto (36) con 89.07 ppm; fierro medio (45) con 126 ppm; fierro alto (48) con 283.5 ppm; cobre medio (57) con 2.81 ppm manganeso alto (72) con 62.41 ppm; manganeso ausencia (63) con 0 ppm;--

y el óptimo (87).

El suelo de Nva. Ramoncita originalmente no contenía fierro ya -- que las condiciones del suelo son propicias para el bajo contenido de este elemento, esto es, un pH alcalino, alto contenido de  $\text{CaCO}_3$ ; debido a estas condiciones al hacer aplicaciones de este elemento la respuesta se puede reflejar en el rendimiento del cultivo, causa probable de la buena respuesta al aplicar el nivel medio con 126 ppm y el alto con 283.5 ppm de fierro.

La buena respuesta del potasio para el suelo de Nva. Ramoncita pudo deberse a que aunque el contenido original de este elemento en el suelo es alto, sin embargo, la tendencia de este elemento fue que al aumentar la dosis aumentaba el rendimiento de las variables. El nivel alto de potasio aplicado fue de 89.07 ppm y presentó buena respuesta -- debido posiblemente a que su asimilación es mejor por arriba de pH 6.0 y el suelo de esta localidad presenta un pH de 7.8 . Se ha reportado que un exceso de potasio en el suelo puede inhibir la concentración de otros nutrientes como N, P, Cu, Mn, Zn, etc, pero sin embargo al nivel aplicado tal parece que no provocó un exceso y al contrario pudo inhibir el efecto nocivo del fósforo sobre el zinc.

Tanto el cobre como el manganeso, que también presentaron buena -- respuesta, se ven limitados en su asimilación con pH alto, suelos altos en materia orgánica y el suelo de Nva. Ramoncita presentó condiciones similares con pH = 7.8 y 2.03 % de materia orgánica que aunado con el alto contenido de  $\text{CaCO}_3$  con 24.6 %, hace que la concentración de estos elementos en el suelo además de ser baja se encuentren en gran parte en forma inasimilable por lo que aplicaciones de estos elementos -- pueden determinar altos rendimientos. El hecho de que la respuesta, -- para el caso del cobre, haya sido al nivel medio con 2.81 ppm puede deberse a que al nivel alto con 10.31 ppm sea un exceso y/o interactúe -- con el zinc o fierro provocando una deficiencia según se ha reportado en diversos estudios realizados por Millikan (1953) y Spencer (1966).

Para el caso del manganeso que presentó casi la misma respuesta al nivel alto con 62.41 ppm que con ausencia, esto tal vez sucedió por que el manganeso al no estar presente puede ser substituido por otros cationes divalentes como el Zn, Fe o Cu y por lo tanto si uno de estos se encuentra en mayor proporción existe mayor probabilidad de que sea absorbido, esto es factible ya que para el tratamiento nivel ausencia de manganeso contenía Zn, Fe y Cu a un nivel medio (ver Cuadro 12)

1.1.2. Localidad Dulces Nombres, Pesquería: Para esta localidad correspondiente al suelo de fertilidad media los mejores tratamientos para la variable diámetro de tallo fueron manganeso alto (71) con 2.49 mm y 62.41 ppm; potasio bajo (29) con 2.48 mm y 0 ppm; y el óptimo con 2.41 mm. Los menores tratamientos para este suelo fueron el nitrógeno ausencia (02) con 1.28 mm y el testigo (89) con 1.50 mm.

En el caso de la variable altura de planta los mejores tratamientos fueron el potasio medio (32) con 39.88 cm y 31.53 ppm; manganeso alto (71) con 38.98 cm y 62.41 ppm; potasio bajo (29) con 36.97 cm y 0 ppm; cobre medio (56) con 36.81 cm y 2.81 ppm; fierro medio (44) con 36.44 cm y 126 ppm; y el tratamiento óptimo (86) con 36.39 cm. El testigo (89) obtuvo la menor altura con 20.86 cm después de nitrógeno ausencia (02) con 17.37 cm.

Para el rendimiento en materia verde los mejores tratamientos fueron el nivel medio de fierro (44) con 6.83 gr y 126 ppm; cobre medio (56) con 6.70 gr y 2.81 ppm; potasio medio (32) con 6.66 gr y 31.53 ppm; fósforo alto (23) con 6.33 gr y 50.72 ppm; medio de manganeso (68) con 6.30 gr y 24.91 ppm; manganeso alto (71) con 6.23 gr y 62.41 ppm. El tratamiento óptimo (86) estuvo fuera del grupo de medias con mejor rendimiento con 3.03 gr. El testigo (89) resultó con el menor rendimiento con 1.76 gr junto con nitrógeno ausencia (02) con 1.30 gr.

Los tratamientos más sobresalientes para la variable rendimiento en materia seca fueron fósforo alto (23) con 1.07 gr y 50.72 ppm; fierro medio (44) con 1.07 gr y 126 ppm; y el potasio medio (32) con 1.05

gr y 31.53 ppm. El tratamiento óptimo (86) no resultó entre los mejores con un rendimiento de 0.51 gr. Los tratamientos con rendimiento más bajo fueron el nivel bajo de fósforo (17) con 0.43 gr y 0 ppm; el testigo (89) con 0.42 gr; y el nivel bajo de manganeso (65) con 0.35 gr y 2.41 ppm; nitrógeno ausencia (02) con 0.32 gr.

Para el suelo de Dulces Nombres los tratamientos que más influyeron en el rendimiento de las cuatro variables fueron el nivel medio de cobre (56) con 2.81 ppm; potasio bajo (29) con 0 ppm; potasio medio (32) con 31.53 ppm; manganeso alto (71) con 62.41 ppm; medio de fierro (44) con 126 ppm; y fósforo alto (32) con 50.72 ppm.

Tanto para el tratamiento nivel medio de cobre como el alto de manganeso y el medio de fierro, estos elementos para el suelo de Dulces Nombres, correspondiente al suelo medio, se encuentran bajo las mismas condiciones de indisponibilidad (pH elevado, alto contenido de M.O., alto contenido de  $\text{CaCO}_3$  y CFR alto) que para el suelo de Nva. Ramoncita, por lo que la explicación de su buena respuesta a los niveles mencionados puede ser la misma. En el caso del fierro que obtuvo buena respuesta solo al nivel medio con 126 ppm a diferencia del suelo de Nva. Ramoncita que respondió a niveles alto y medio, esto pudo deberse a que aún siendo la concentración de fierro nativo cero, al aplicar el nivel alto con 283.5 ppm para el suelo de Dulces Nombres se provoca un exceso tal vez por que este elemento interactue con otros elementos como Cu, Zn o Mn dejándolos en formas inasimilables por la planta.

La respuesta del nivel medio de potasio específicamente, fué tal vez como ya se mencionó anteriormente, excesos de este elemento provocan la inhibición de otros nutrientes siendo esta la posible razón que al nivel alto de potasio con 89.07 ppm la respuesta haya sido menor -- que al nivel medio con 31.53 ppm.

Para el caso del fósforo que obtuvo buena respuesta al nivel alto cabe decir que la concentración original para Dulces Nombres fué la más baja de los 3 suelos estudiados con 111 ppm, esto tal vez por que presentaba una CFR de 87 % por lo que el suelo fija grandes cantidades

de fósforo principalmente por el alto contenido de  $\text{CaCO}_3$  con 23 %, fijándose el elemento en las partículas de carbonato cálcico, aunando a esto el pH del suelo es de 8.0 siendo que la máxima disponibilidad de este elemento se presenta a un pH de 6.5 a 7.5 disminuyendo por encima de estos valores; en estas condiciones es recomendable para mantener el nivel de actividad del fosfato en solución del suelo añadir grandes cantidades de fertilizantes fosfatados a tales suelos, por lo que el tratamiento alto de fósforo con 50.7 ppm aplicadas, determino una adecuada respuesta a la fertilización de ese elemento.

1.1.3. Localidad Santa Rosa, Apodaca: Para la variable diámetro de tallo los mejores tratamientos para este suelo fueron: manganeso — ausencia (61) con 1.71 mm y 0 ppm; zinc ausencia (73) con 1.58 mm y 0 ppm; manganeso alto (70) con 1.58 mm y 62.41 ppm; potasio medio (31) — con 1.58 mm y 31.53 ppm. El tratamiento óptimo (85) con 1.15 mm junto con el testigo (88) con 1.26 mm resultaron ser de los más bajos.

Para la variable altura de planta los tratamientos más relevantes fueron: el fierro bajo (40) con 23.01 cm y 31.5 ppm; manganeso alto — (70) con 21.52 cm y 62.41 ppm; nitrógeno bajo (4) con 21.42 cm y 25 — ppm; manganeso ausencia (61) con 21.03 cm y 0 ppm; y zinc alto (82) — con 20.74 cm y 36.83 ppm. El tratamiento óptimo (85) fué de los más — bajos con 16.30 cm al igual que el testigo (88) con 14.84 cm.

En rendimiento de materia verde los tratamientos mas altos fueron manganeso alto (70) con 2.13 gr y 62.41 ppm; fierro bajo (40) con 2.00 gr y 31.5 ppm; además el zinc alto (82) con 1.90 gr y 36.83 ppm. El — testigo (88) con 1.10 gr como el óptimo (85) con 1.00 gr resultaron — ser de los tratamientos más bajos.

Los mejores tratamientos para la variable rendimiento en materia seca fueron: zinc alto (82) con 0.40 gr y 36.83 ppm; potasio bajo (28) con 0.40 gr y 0 ppm; nitrógeno bajo (4) con 0.39 gr y 25 ppm; manganeso alto (70) con 0.39 gr y 62.41 ppm; y fierro bajo (40) con 0.38 gr y 31.4 ppm. Nuevamente el óptimo (85) con 0.27 gr y el testigo (88) con

0.25 gr resultaron entre los más bajos.

En forma general se muestra que para el suelo de la localidad Santa Rosa, los tratamientos que más sobresalieron para las cuatro variables fueron fierro bajo (40) con 31.5 ppm; manganeso alto (70) con 62.41 ppm; y zinc alto (82) con 36.83 ppm.

El manganeso y el zinc para el suelo de Santa Rosa presentaron la más baja concentración original, debido a que los suelos presentan pH alto, CFR alta y alto contenido de  $\text{CaCO}_3$ , debido a estas condiciones - al hacer aplicaciones de estos elementos en el suelo puede presentarse buena respuesta como en el caso del nivel alto de manganeso (70) con 62.41 ppm y el alto de zinc (82) con 36.83 ppm.

La respuesta del fierro pudo deberse a que el suelo originalmente no contenía fierro, es posible debido a esto su buena respuesta al nivel bajo (40) con 31.5 ppm aplicadas, la respuesta menor a niveles más altos de este elemento es por que probablemente provocó deficiencias - de zinc, cobre o manganeso.

1.2. Arreglo factorial: Se utilizó un arreglo factorial mixto - 3 x 4 x 7, en donde 3 son los tipos de suelo, 4 los niveles de cada elemento y 7 los elementos estudiados. Se realizó el ANVA (cuadro 13) con el objetivo de observar la significancia de cada fuente de variación así como las interacciones de estas para cada una de las variables estudiadas.

A continuación se presentan los factores individuales y las interacciones que resultaron significativas de acuerdo al ANVA.

1.2.1. Nivel-elemento: Para las variables diámetro de tallo y altura de planta resultó significativa esta interacción, por lo que se realizaron comparaciones de medias por medio de Tukey las cuales se presentan en los cuadros 14 y 15 respectivamente.

En base a las comparaciones de medias hechas para la interacción-nivel-elemento se observa que los elementos que mostraron diferencias estadísticas entre sus niveles para diámetro de tallo como altura de planta fueron el nitrógeno y el manganeso. Para la altura de planta el cobre resultó también con diferencia en sus niveles además de los elementos ya mencionados.

El mejor nivel de nitrógeno independientemente del tipo de suelo, fué el nivel medio con 50 ppm aplicadas, siendo igual estadísticamente al bajo y alto respectivamente. Se puede observar que al aumentar del nivel medio con 50 ppm al nivel alto con 75 ppm se redujo el diámetro de 2.09 mm a 1.75 mm y la altura de 30.37 cm a 24.46 cm, lo que hace suponer que los suelos responden en menor proporción a niveles altos de nitrógeno, por consiguiente no conviene hacer aplicación de este elemento al nivel alto. Cabe mencionar que tanto el nivel alto como el ausencia de nitrógeno mostraron el menor rendimiento en forma general para todas las combinaciones nivel-elemento. Una posible razón del por que tanto para la variable diámetro de tallo como altura de planta no hubo respuesta a niveles altos de nitrógeno en los 3 suelos, puede ser por que se ha encontrado que nutrientes que incrementan la velocidad de crecimiento, en este caso el nitrógeno, al estar presente a niveles altos puede inducir deficiencias de zinc, esto pudo suceder ya que el zinc mostró buenos rendimientos al nivel alto tanto para diámetro de tallo como altura de planta.

Para el manganeso los mejores niveles fueron el alto con un diámetro de 2.52 mm y altura de 34.32 cm además de la ausencia con 2.21 mm y altura de 31.66 cm. El nivel alto de manganeso con 62.41 ppm aplicadas resultó el mejor para todas las combinaciones nivel elemento. De la misma forma que para diámetro de tallo para la altura de planta se presentó casi la misma respuesta al nivel ausencia que a el nivel alto de manganeso, posiblemente por que el manganeso pudo ser substituido por otros cationes divalentes si uno de estos se encuentra en mayor proporción, lo cual pudo suceder en este caso, este fenómeno también se puede presentar para el zinc cobre o fierro siendo más común en --



manganeso.

Para el caso del cobre que también mostró diferencia estadística entre sus niveles pero solo para altura de planta, el mejor nivel resultó ser el medio con 33.38 cm aunque igual estadísticamente al nivel alto con 28.36 cm y al ausencia con 27.16 cm, en cambio el nivel bajo presentó la menor altura con 25.65 cm siendo igual al nivel alto y ausencia. El que haya respondido mejor a el nivel medio con 2.81 ppm, se debe tal vez a que niveles altos de cobre pueden inducir deficiencias de fierro o zinc, lo que pudo suceder al aplicar el nivel alto con 10.31 ppm, sin embargo como ya se mencionó estos niveles son iguales estadísticamente.

1.2.2. Suelo: El factor suelo resultó significativo para la variable diámetro de tallo de acuerdo a las comparaciones de medias -- (cuadro 16) en donde se observan diferencias significativas en la respuesta del cultivo a los diferentes tipos de suelo, sin tomar en cuenta el nivel y elemento aplicado. El suelo rico correspondiente a la localidad Nva. Ramoncita fué el mayor con 2.40 mm, siguiendo el medio con 2.09 mm y el pobre con 1.45 mm o sea las localidades Dulces Nombres y Santa Rosa respectivamente.

1.2.3. Elemento: En el cuadro 17 se muestra la comparación de medias para el factor elemento a través de Tukey para la variable rendimiento en materia verde. Se observa que todos los elementos resultaron iguales estadísticamente en cuanto a rendimiento a excepción del nitrógeno que fue el de menor rendimiento, sin embargo no se puede asegurar que el nitrógeno no influya en el rendimiento en materia verde sino que dos de los niveles aplicados de nitrógeno, específicamente el alto y el ausencia mostraron los rendimientos más bajos por lo que al tomar el rendimiento promedio del nitrógeno, sin importar el nivel y el suelo este declina. Tomando en consideración lo anterior se observa que el nivel alto de nitrógeno causó posiblemente efectos tóxicos debido tal vez a una interacción de este elemento con algún micronutriente como el zinc provocando su deficiencia, y para la ausencia de

nitrógeno se muestra que el hecho de no estar presente este elemento - determinó bajos rendimientos no solo para materia verde sino para todas las variables.

1.2.4. Suelo-elemento: Para la variable altura de planta resultó significativa la interacción suelo-elemento, la cual se muestra en la comparación de medias en el cuadro 18, en donde se observa que independientemente del elemento y sin importar el nivel las mejores interacciones fueron las que involucraban suelos rico y medio, es decir -- Nva. Ramoncita y Dulces Nombres, a excepción de la interacción Nva. Ramoncita-nitrógeno y Dulces Nombres-nitrógeno, esto se debe a que para Nva. Ramoncita y Dulces Nombres el nivel alto y ausencia de nitrógeno presentaron los valores más bajos, por lo que promediando los cuatro niveles el valor medio para nitrógeno bajo para cada suelo. Las interacciones que involucraban el suelo pobre correspondiente a la localidad Santa Rosa fueron las de menor respuesta obteniendo los mejores resultados los macroelementos nitrógeno, fósforo y potasio en este orden y después los microelementos manganeso, zinc, fierro y cobre en este orden.

1.2.5. Suelo-nivel: Para las variables rendimiento en materia verde y materia seca resultó con significancia la interacción suelo-nivel mostrándose las comparaciones de medias en los cuadros 19 y 20 respectivamente, se observa que los mejores rendimientos corresponden al suelo de Nva. Ramoncita. La tendencia del suelo de Nva. Ramoncita es que al aumentar el nivel de cualquier elemento aumenta el rendimiento de las variables, presentando para materia verde y materia seca un rendimiento al nivel alto de 7.33 gr y de 1.46 gr, el nivel medio 6.47 gr y 1.27 gr, el nivel bajo 5.61 gr y 1.04 gr y por último la ausencia -- con 5.38 gr y 1.01 gr.

Para el suelo de Dulces Nombres el mejor nivel fué el medio con 5.84 gr y 0.97 gr, el alto con 5.28 gr y 0.81 gr, el bajo con 3.88 gr y 0.61 gr y la ausencia con 3.70 gr y 0.62 gr para materia verde y seca respectivamente, presentando estos 3 últimos niveles un rendimiento

fuera de los mejores estadísticamente. Para Dulces Nombres no se encontró una tendencia específica en la respuesta de sus niveles.

El suelo de la localidad Santa Rosa sus interacciones fueron las de menor rendimiento, sin embargo entre sus niveles no hubo diferencia estadística siendo el mejor el nivel alto con un rendimiento en materia verde y materia seca de 1.58 gr y 0.34 gr, el medio con 1.49 gr y 0.33 gr, el bajo con 1.49 gr y 0.33 gr y la ausencia con 1.38 gr y 0.32 gr observándose como en el suelo de Nva. Ramoncita que al aumentar el nivel aumentaron los rendimientos de las variables.

Para las variables rendimiento en materia verde y materia seca se observa que en los 3 suelos la presencia de cualquier elemento, ya sea al nivel bajo, medio o alto, se refleja en los rendimientos de las variables ya que el nivel ausencia fue el de menor rendimiento para cada suelo.

1.3. Regresiones múltiples: Se realizó el análisis de regresión de elemento con nivel, con la finalidad de obtener que elemento determina en mayor proporción el valor de las variables estudiadas, en cada suelo. Para lograr este objetivo se realizaron las regresiones múltiples por el procedimiento stepwise, el cual introduce las variables independientes en el modelo por orden de importancia.

Algunos modelos resultaron significativos o altamente significativos, pero todos con coeficientes de determinación ( $R^2$ ) muy bajos.

De una manera general para las cuatro variables estudiadas, se puede observar que en el suelo pobre, correspondiente a la localidad de Santa Rosa, los elementos que determinan en mayor proporción el valor de las variables son el fierro y el zinc. Para el suelo medio de la localidad Dulces Nombres los elementos que resultaron más importantes fueron el cobre y el fósforo. Para la localidad Nva. Ramoncita correspondiente al suelo rico los elementos que determinaron en mayor proporción el valor de las variables fueron el fierro y el nitrógeno.

En esta zona se puede observar que son más importantes los microelementos fierro y manganeso, principalmente el fierro ya que este elemento aparece como el más importante en los suelos pobre y rico, y de regular importancia en el suelo medio.

En los cuadros 21, 22 y 23 se presentan los modelos de regresión que resultaron significativos para cada tipo de suelo y para cada variable, con sus respectivos coeficientes de determinación.

## 2. Zona centro

### 2.1. Diseño completamente al azar (sin estructura factorial):

En este diseño de acuerdo al ANVA (ver cuadro 24) todas las variables resultaron altamente significativas, por lo que se realizaron comparaciones de medias de cada variable, estas comparaciones se presentan en los cuadros 25, 26, 27 y 28.

Los resultados de cada tratamiento se muestran con su simbología y la dosis aplicada para ese elemento específicamente, las dosificaciones de los elementos restantes se presentan en el cuadro 29.

2.1.1. Localidad Lirios, Allende: Para esta localidad correspondiente al suelo rico los mejores tratamientos para la variable diámetro de tallo fueron el óptimo (87) con 4.08 mm; nitrógeno alto (12) con 3.80 mm y 75 ppm; fósforo bajo (18) con 3.50 mm y 0 ppm; zinc bajo (78) con 3.50 mm y 0.08 ppm; potasio bajo (30) con 3.40 mm y 0 ppm. Aunque hay otros tratamientos estadísticamente iguales a los anteriores solamente se mencionan los tratamientos con las medias más altas. El testigo (90) con 1.73 mm fué de los más bajos para este suelo.

Para la variable altura de planta, no hay diferencia estadística entre los tratamientos a excepción del testigo (90) con 25.98 cm y el nitrógeno ausencia (3) con 27.40 cm y 0 ppm, los cuales son los más bajos para este suelo. Los tratamientos con medias más altas fueron el óptimo (87) con 65.45 cm; zinc ausencia (75) con 62.56 cm y 0 ppm; nitrógeno alto (12) con 60.86 cm y 75 ppm; manganeso alto (72) con 60.47

cm y 64.82 ppm; y potasio bajo (30) con 60.10 cm y 0 ppm.

En la variable rendimiento de materia verde, los mejores tratamientos fueron el óptimo (87) con 25.90 gr; nitrógeno alto (12) con 20.20 gr y 75 ppm; manganeso alto (72) con 17.86 gr y 64.82 ppm; zinc-medio (81) con 17.83 gr y 36.08 ppm; y cobre alto (60) con 17.20 gr y 9.38 ppm. El testigo (90) con 2.60 gr obtuvo el valor más bajo.

Para la variable rendimiento de materia seca, los tratamientos más sobresalientes fueron el óptimo (87) con 5.73 gr; nitrógeno alto (12) con 4.62 gr y 75 ppm; manganeso alto (72) con 4.19 gr y 64.82 ppm zinc medio (81) con 3.85 gr y 36.08 ppm; y zinc bajo (78) con 3.70 gr y 0.08 ppm. El testigo (90) con 0.71 gr fué el tratamiento más bajo para este suelo junto con el nitrógeno ausencia (3) con 0.70 gr y 0 ppm.

Teóricamente los suelos con un % total de  $\text{CaCO}_3$  superior al 10 % presentan problemas de insolubilización de nutrientes, los suelos de la zona centro excedían por mucho este valor, a excepción del suelo rico (Lirios) el cual contenía menos del 4 % de  $\text{CaCO}_3$  total, causa probable de que el suelo rico haya obtenido los valores más altos para todas las variables.

En general los mejores tratamientos para el suelo rico, fueron el óptimo (87); nitrógeno alto (12) con 75 ppm; manganeso alto (72) con 64.82 ppm; zinc bajo (78) con 0.08 ppm; zinc ausencia (75) con 0 ppm; cobre alto (60) con 9.38 ppm; fósforo bajo (18) con 0 ppm; y potasio bajo (30) y potasio ausencia (27) ambos con 0 ppm.

El tratamiento óptimo (87) fué el mejor tratamiento para todas las variables, posiblemente por que fué el que tenía la concentración más alta de todos los nutrientes probados.

En este suelo, el nitrógeno aumentó el valor de las variables a medida que se aumentaba el nivel, en este caso la curva de crecimiento

es como la describe Mitscherlich (1909).

Para fósforo el mejor nivel fué el bajo. Aunque este suelo tiene una CFR bastante alta (97 %), el contenido original de este suelo era bastante elevado por lo cual al aplicar cantidades grandes de fósforo este tal vez induce deficiencias de otros nutrientes. La absorción de fósforo es más efectiva a pH alcalino, hasta un pH de 8.0 la absorción de fósforo no tiene ningún problema por lo cual, en este caso este factor no es limitante.

En potasio los mejores tratamientos correspondían a los niveles bajo y ausencia, estos dos tratamientos eran iguales ya que no se les aplicó potasio como en este suelo la concentración original de potasio era bastante alta, este suelo suministraba suficiente potasio; pero a niveles más altos como cita Smith y Smith (1977) los excesos de potasio pueden provocar una disminución de N, P, Mg, Ca, Na, Cu, Mn y B.

Para el caso del hierro no se encontró una respuesta significativa, independientemente que el análisis preliminar indica que este suelo no contiene hierro disponible, también pudo influir el pH elevado y el alto contenido de  $\text{CaCO}_3$ ; así como las interacciones que pudieron existir entre los elementos aplicados y los no aplicados pero esenciales para las plantas. Otro factor importante fué la dificultad de mantener el hierro disuelto en la solución nutritiva ya que la mayoría de las veces se precipitaba, esto representó quizás una disminución en la concentración de hierro en la solución nutritiva.

El mejor nivel para el cobre fue el alto con 9.38 ppm, los demás niveles resultaron prácticamente iguales, es decir el suelo rico respondió a niveles altos de cobre, no así a los demás niveles. Por regla general la retención de cobre en el suelo aumenta con el incremento en el contenido de materia orgánica y este suelo contenía un % de materia orgánica elevado; es por esto tal vez que el suelo rico responde al nivel alto de cobre.

En nivel alto de manganeso con 64.82 ppm, fué uno de los mejores-tratamientos existiendo gran diferencia en las medias de este trata- miento comparado con los otros niveles de manganeso, los cuales en general eran iguales entre si. La absorción de manganeso disminuye a medida que aumenta el pH, a un pH superior a 7.5 la absorción de este elemento es muy baja, pudo ser que el alto contenido inicial de manganeso en este suelo y la aplicación del nivel alto generaron una respuesta favorable a la aplicación de manganeso.

El zinc bajo y ausencia con 0.08 y 0 ppm respectivamente fueron de los tratamientos más sobresalientes para este suelo. Probablemente concentraciones más altas de este elemento provocan deficiencias de cobre y fierro. Gilbey, Greathead y Cartrell (1970) consideran muy peligroso para ciertos cultivos aplicar cantidades de zinc mayores a las recomendadas porque esto inducirá deficiencias de cobre.

2.1.2. Localidad Caja Pinta, Linares: Para esta localidad correspondiente a el suelo medio los mejores tratamientos para la variable diámetro de tallo fueron el manganeso medio (68) con 2.44 mm y 27.32 ppm, potasio ausencia (26) con 2.33 mm y 0 ppm; fósforo bajo (17) con 2.29 mm y 0 ppm; nitrógeno bajo (5) con 2.29 mm y 25 ppm; cobre medio (56) con 2.24 mm y 1.88 ppm. El testigo (89) con 1.43 mm y el óptimo (86) con 1.64 mm fueron estadísticamente iguales y son de los más bajos para el suelo medio.

Para la variable altura de planta, los tratamientos más sobresalientes fueron manganeso ausencia (62) con 39.08 cm y 0 ppm; manganeso medio (68) con 39.40 cm y 27.32 ppm; potasio ausencia (26) con 39.11 cm y 0 ppm; cobre medio (56) con 37.62 cm y 1.88 ppm; y nitrógeno bajo (5) con 37.30 cm y 25 ppm. El óptimo (86) con 21.14 cm y el testigo (89) con 18.23 cm son de los tratamientos más bajos para este suelo y estadísticamente iguales.

En lo que se refiere a rendimiento en materia verde los mejores tratamientos fueron manganeso medio (68) con 6.10 gr y 27.32 ppm; pota

sio ausencia (26) con 5.96 gr y 0 ppm; nitrógeno bajo (5) con 5.40 gr y 25 ppm; zinc bajo (77) con 4.80 gr y 0.08 ppm; y fierro ausencia --- (38) con 4.76 gr y 0 ppm. El óptimo (86) con 2.36 gr y el testigo - - (89) con 1.33 gr, son estadísticamente iguales y son de los más bajos tratamientos para este suelo.

Para la variable rendimiento en materia seca los tratamientos más sobresalientes fueron manganeso medio (68) con 1.07 gr y 27.32 ppm; nitrógeno bajo (5) con 1.01 gr y 25 ppm; potasio ausencia (26) con 0.99-gr y 0 ppm; zinc alto (83) con 0.09 gr y 36.08 ppm; y cobre medio (56) con 0.87 gr y 1.88 ppm. El testigo (89) con 0.39 gr y el óptimo (86)- con 0.50 gr, son estadísticamente iguales y de los tratamientos más bajos para el suelo medio.

Los estudios indican que el nivel absoluto de un microelemento en el medio que rodea las raíces puede ser que no sea el factor limitante más importante, en relación al crecimiento de las plantas. Más importantes son las cantidades de los elementos con relación uno respecto al otro. Porque, de esta relación pueden generarse diversos fenómenos físicos y químicos; como son las substituciones e interacciones entre nutrientes, que pueden afectar la respuesta a la aplicación de algunos nutrientes.

En el suelo medio se pueden observar desordenes nutricionales, ya que la aplicación de algunos nutrientes como N, Cu, Fe y Mn no tiene una respuesta lógica; presentandose que el óptimo (86) y el testigo - (89) son estadísticamente iguales y sus medias son de las más bajas para este suelo, posiblemente los niveles elevados de todos los elementos causen toxicidad en este suelo. Sin embargo dentro de este suelo se encontró respuesta a algunos tratamientos como nitrógeno bajo (5) con 25 ppm; potasio ausencia (26) con 0 ppm; manganeso medio (68) con 27.32 ppm; cobre medio (56) con 1.88 ppm; zinc alto (83) con 36.08 ppm fierro ausencia (38) con 0 ppm; y fósforo bajo (17) con 0 ppm.

En el suelo medio, el mejor nivel para nitrógeno fue el bajo, es-



tudios indican que los nutrientes que incrementan la velocidad de crecimiento inducen la deficiencia de zinc, esto posiblemente sea cierto, ya que el nivel alto de zinc es uno de los mejores tratamientos para este suelo. Tal vez a niveles más altos de nitrógeno se acentúan las deficiencias de zinc con la consiguiente reducción en el valor de las variables.

La respuesta favorable que presenta este suelo a los tratamientos potasio ausencia y fósforo bajo, es quizás debida a las mismas razones presentadas para el suelo rico, es decir que a niveles altos de estos elementos se provocan deficiencias de otros nutrientes como N, P, Mg, Na, Ca, Cu, Mn, B, Zn y Fe.

Otros de los tratamientos que respondieron en el suelo medio, fué el manganeso medio aunque el contenido original de manganeso en este suelo era bajo (2.68 ppm) la CFR para este era bajo en comparación con las otras localidades (46 %), tal vez por esto a este nivel existía el suficiente manganeso disponible para contrarrestar el efecto del pH alcalino, a un nivel más alto posiblemente causó deficiencias de zinc como cita Onki (1975).

Para el fierro los mejores niveles fueron el ausencia y el bajo respectivamente, para este suelo quizás el fierro a niveles altos cause deficiencias de zinc, aunque también que el fierro sea substituido por otro elemento divalente en las primeras etapas de desarrollo del cultivo.

El mejor nivel para cobre fué el medio, para este suelo posiblemente niveles más altos de cobre inducen deficiencias de otros nutrientes. Spender (1966) mostró que a niveles altos de cobre aplicado al suelo reducía el contenido de fierro en ciertas plantas.

2.1.3. Localidad Vista hermosa, Montemorelos: En esta localidad correspondiente al suelo pobre los mejores tratamientos para la variable diámetro de tallo fueron potasio ausencia (25) con 1.50 mm y 0 ppm

cobre alto (58) con 1.47 mm y 9.38 ppm; fósforo ausencia (13) con 1.41 mm y 0 ppm; nitrógeno ausencia (1) con 1.37 mm y 0 ppm; cobre bajo (52) con 1.36 mm, y 0 ppm. El óptimo (85) con 0.78 mm y el testigo (88) con 1.06 mm obtuvieron las medias más bajas.

Para la variable altura de planta, los tratamientos más sobresalientes fueron potasio ausencia (25) con 21.78 cm y 0 ppm; cobre bajo (52) con 19.27 cm y 0 ppm; zinc ausencia (73) con 18.98 cm y 0 ppm; potasio alto (34) con 18.08 cm y 88.37 ppm; y manganeso alto (70) con 17.87 cm y 64.82 ppm. El testigo (88) con 15.96 cm tiene una media más alta que el óptimo (85) con 10.19 cm, en esta variable el testigo esta dentro de los tratamientos regulares para este suelo y el óptimo es de los últimos.

En la variable rendimiento en materia verde, la comparación de medias indica que todos los tratamientos son estadísticamente iguales destacando el nitrógeno bajo (4) con 2.36 gr y 25 ppm; potasio ausencia (25) con 1.73 gr y 0 ppm; fierro bajo (40) con 1.20 gr y 31.5 ppm; y potasio bajo (28) con 1.16 gr y 0 ppm. El testigo (88) con 1.00 gr es relativamente mejor que el óptimo (85) con 0.50 gr ya que esta fue el más bajo para esta variable.

Para la variable rendimiento en materia seca, todos los tratamientos son estadísticamente iguales, aunque destacan con las medias más altas zinc ausencia (73) con 0.39 gr y 0 ppm; potasio ausencia (25) con 0.39 gr y 0 ppm; fósforo ausencia (13) con 0.30 gr y 0 ppm; y cobre bajo (52) con 0.29 gr y 0 ppm. El testigo (88) con 0.27 gr obtuvo una media más alto que el óptimo (85) con 0.20 gr que siguió siendo de los tratamientos más bajos.

El suelo pobre presenta una indiferencia muy grande a la aplicación de nutrientes. Además de presentar las medias más bajas de todo el experimento, en general estadísticamente las medias de los tratamientos de este suelo son iguales.

Se presentaron desequilibrios nutricionales ya que el testigo tiene medias más altas que el óptimo para todas las variables. Independientemente de esto, se puede observar que los mejores tratamientos para este suelo coinciden, en parte con los descritos para el suelo rico y medio. De esta manera el potasio ausencia (25) y el fósforo ausencia (25) y el fósforo ausencia (13); obtuvieron los valores más altos y todos los demás tratamientos tienen una distribución irregular.

2.2. Arreglo factorial: En el arreglo factorial se analizaron las mismas variables que en el DCA las cuales se sometieron a un análisis de varianza (cuadro 30) en el que la interacción elemento-nivel-suelo resultó altamente significativa, las comparaciones de medias se presentan en los cuadros 31, 32, 33 y 34.

El resultado es significativa la interacción elemento-nivel-suelo; el comportamiento de las medias de los tratamientos es similar al del diseño completamente al azar, con la única diferencia de que en el factorial se excluyen el óptimo y el testigo por no ser combinaciones de este arreglo. Por esta razón, la discusión del arreglo factorial es similar a la del DCA.

2.3. Regresiones múltiples: Se realizó el análisis de regresión de elemento con nivel, con la finalidad de obtener el elemento que determina en mayor proporción el valor de las variables estudiadas en cada suelo. Para lograr este objetivo se realizaron las regresiones múltiples por el procedimiento stepwise, el cual introduce las variables independientes en el modelo por orden de importancia.

Algunos modelos resultaron significativos o altamente significativos, pero todos con coeficientes de determinación ( $R^2$ ) muy bajos, con excepción del modelo de la variable rendimiento de materia seca del suelo rico, el cual además de resultar significativo, tiene un coeficiente de determinación alto. Aunque en el modelo propuesto, seis de los elementos probados resultaron significativos, solamente se seleccionó el primer elemento, que fue el nitrógeno, ya que los otros ele-

mentos que siguen en orden de importancia contribuyen muy poco para incrementar el coeficiente de determinación. Esto es desde el punto de vista estadístico, pero la respuesta a la aplicación de nitrógeno esta influenciada por la aplicación de los demás elementos.

El modelo encontrado es el siguiente:

$$Y_i = 1.343670 + 0.03876755 N$$

En donde:

$Y_i$  = Rendimiento en materia seca (gr)

$N$  = Cantidad de nitrógeno a aplicar (ppm)

En los cuadros 35, 36 y 37 se presentan los modelos de regresión que resultaron significativos para cada tipo de suelo y para cada variable, con sus respectivos coeficientes de determinación.

De una manera general para las cuatro variables estudiadas, se puede observar que en el suelo pobre correspondiente a la localidad Vistahermosa los elementos más importantes fueron el manganeso y el nitrógeno. Para el suelo medio correspondiente a la localidad Caja Pintada los elementos más importantes resultaron ser el zinc, potasio y manganeso. Para la localidad Lirios correspondiente al suelo rico los elementos que determinaron en mayor proporción el valor de las variables fueron el nitrógeno, manganeso y fierro. En esta zona se puede observar que son más importantes los microelementos manganeso y zinc, para los tres suelos. Y para el suelo rico el nitrógeno.

### 3. Zona sur

#### 3.1. Diseño completamente al azar (sin estructura factorial):

Los tratamientos resultaron altamente significativos en cada variable de acuerdo al ANVA (cuadro 38), por lo que se realizaron comparaciones

de medias entre los tratamientos por medio de Tukey, estas comparaciones se presentan en los cuadros 39, 40, 41 y 42.

Los resultados de cada tratamiento se dan con su simbología y la dosis aplicada para ese elemento específicamente, las dosificaciones de los elementos restantes se pueden observar en el cuadro 43.

3.1.1. Localidad Puentes, Aramberri: Los mejores tratamientos para esta localidad correspondiente al suelo rico en la variable diámetro de tallo fueron potasio ausencia (27) con 3.39 mm y 0 ppm; manganeso bajo (66) con 3.36 mm y 3.96 ppm; cobre alto (60) con 3.28 mm y 8.69 ppm; cobre bajo (54) con 3.25 mm y 0 ppm; zinc ausencia (75) con 3.19 mm y 0 ppm. El tratamiento óptimo (87) con 3.01 mm, se localiza entre los tratamientos que obtuvieron una respuesta media. El testigo (90) con 2.11 mm, fue el tratamiento que obtuvo la media más baja.

Para la variable altura de planta los mejores tratamientos fueron manganeso bajo (66) con 61.20 cm y 3.96 ppm; zinc medio (81) con 53.08 cm y 14.94 ppm; potasio medio (33) con 52.64 cm y 8.14 ppm; cobre medio (57) con 52.55 cm y 1.19 ppm; fósforo alto (24) con 51.06 cm y 148.4 ppm. El nivel óptimo (87) con 45.01 cm se localiza entre los tratamientos que obtuvieron una buena respuesta pero el testigo (90) con 28.83 cm obtuvo la media más baja.

Los tratamientos más sobresalientes para la variable materia verde fueron manganeso bajo (66) con 13.80 gr y 3.36 ppm; cobre medio (57) con 12.67 gr y 1.19 ppm; potasio medio (33) con 12.12 gr y 8.14 ppm; zinc medio (81) con 12.03 gr y 14.94 ppm; potasio bajo (30) con 11.23 gr y 0 ppm. El tratamiento óptimo (87) con 10.13 gr, se ubica entre los mejores tratamientos, mientras que el testigo (90) con 7.30 gr, se sitúa dentro de los tratamientos más bajos.

Los tratamientos que obtuvieron las medias más altas para la variable materia seca fueron cobre bajo (54) con 2.24 gr y 0 ppm; cobre medio (57) con 2.16 gr y 1.19 ppm; óptimo (87) con 2.16 gr; potasio

medio (33) con 2.14 gr y 8.14 ppm; y potasio bajo (30) con 2.13 gr y 0 ppm. El testigo (90) con 0.64 gr fué el que obtuvo el valor más bajo de todos los tratamientos de este suelo.

En forma general, los tratamientos que presentaron mejor respuesta en esta localidad, considerando todas las variables en estudio fueron manganeso bajo (66) con 3.96 ppm; cobre medio (57) con 1.19 ppm; potasio medio (33) con 8.14 ppm; y cobre bajo (54) con 0 ppm.

Estudios realizados por Onki (1975), señalan que a una mayor aplicación de manganeso, el contenido de zinc en los tallos de sorgo disminuyó en forma considerable, razón por la cual se considera que a niveles altos de manganeso el rendimiento de las variables haya sido afectado, presentandose el manganeso a un nivel bajo como uno de los mejores tratamientos en este suelo y no así a un nivel alto, los resultados que obtuvieron Somers y Shive (1942), indican que el manganeso y fierro están íntimamente relacionados en sus funciones metabólicas, con la efectividad de una determinada por la presencia de otro; causa por la cual, probablemente el manganeso presentó esta respuesta al nivel bajo. Aunado con esto cabe mencionar que el nivel que obtuvo mejor respuesta para fierro fué el nivel bajo. Como el manganeso y el fierro son más disponibles bajo condiciones ácidas y el suelo rico presenta un pH de 7.85, posiblemente por esta razón la asimilación de estos elementos fué afectada, respondiendo mejor los niveles bajos de estos elementos para este suelo.

Los niveles medio y bajo para cobre, fueron los que obtuvieron los mejores rendimientos, posiblemente a niveles de cobre se inducen deficiencias de otros elementos, por lo que la respuesta de las variables a estos niveles disminuye considerablemente. Spencer (1966) observó que niveles altos de cobre aplicados al suelo reducían el contenido de fierro en ciertas plantas. Aunque la CFR para el cobre era relativamente alta (69 %) y la asimilación de este es mayor bajo condiciones ácidas, posiblemente estos factores no hayan afectado la disponibilidad del cobre.

Como la concentración de potasio en este suelo era muy grande y la CFR (57 %) fue considerablemente baja este suelo presentaba suficiente cantidad de potasio disponible, por lo que posiblemente a esto se deba la respuesta al nivel medio. Aunado a esto, cabe mencionar que la disponibilidad del potasio es mayor en suelos alcalinos. Un exceso de potasio en el suelo puede ocasionar la deficiencia de zinc y disminuir la concentración de carbohidratos, N, P, Mg, Na, Cu, Mn, y B, probablemente disminuyó el rendimiento y se presentó el nivel medio de potasio como uno de los mejores tratamientos en este suelo.

3.1.2. Localidad Salero, Galeana: Los mejores tratamientos para esta localidad correspondiente al suelo medio en la variable diámetro de tallo fueron cobre alto (59) con 3.13 mm y 8.69 ppm; fierro alto (47) con 2.95 mm y 283.5 ppm; zinc ausencia (74) con 2.79 mm y 0 ppm; potasio ausencia (26) con 2.77 mm y 0 ppm; cobre bajo (53) con 2.68 mm y 0 ppm. El tratamiento óptimo (86) con 2.31 mm se localiza entre los tratamientos que obtuvieron una respuesta regular. El testigo (89) con 2.07 mm fue uno de los tratamientos que presentó valores más bajos.

Las medias más altas para la variable altura de planta correspondieron a los siguientes tratamientos fierro alto (47) con 43.00 cm y 283.5 ppm; cobre alto (59) con 43.53 cm y 8.69 ppm; nitrógeno medio (08) con 41.72 cm y 50 ppm; manganeso ausencia (62) con 39.81 cm y 0 ppm; y zinc bajo (77) con 38.93 cm y 1.44 ppm. El tratamiento óptimo (86) con 31.25 cm presentó una respuesta media y el testigo (89) con 26.84 cm se encuentra entre los tratamientos más bajos.

En la variable materia verde se presentaron los siguientes tratamientos como los mejores fierro alto (47) con 10.57 gr y 283.5 ppm; cobre alto (59) con 8.37 gr y 3.69 ppm; nitrógeno medio (8) con 8.37 gr y 50 ppm; zinc bajo (77) con 6.67 gr y 1.44 ppm; y fierro ausencia (38) con 6.67 gr y 0 ppm. Tanto el tratamiento óptimo con 4.63 gr como el testigo (89) con 4.43 gr se localizaron entre los tratamientos más bajos.

Los tratamientos que presentaron las medias más altas para la variable materia seca fueron fierro alto (47) con 1.67 gr y 283.5 ppm; cobre alto (59) con 1.63 gr y 8.69 ppm; manganeso alto (71) con 1.27-gr y 63.96 ppm; zinc bajo (77) con 1.24 gr y 1.44 ppm; nitrógeno medio (8) con 1.18 gr y 50 ppm. El tratamiento óptimo (86) con 0.96 gr se encuentra entre los tratamientos que obtuvieron medias regulares y el testigo (89) con 0.89 gr se presentó dentro de los tratamientos más bajos.

Considerando todas las variables los tratamientos que más sobresalieron en esta localidad fueron fierro alto (47) con 283.5 ppm; cobre alto (59) con 8.69 ppm; nitrógeno medio (8) con 50 ppm; y zinc bajo (77) con 1.44 ppm.

En ninguno de los suelos de la zona sur se encontró fierro en forma disponible, usando el procedimiento de extracción de Olsen modificado. Obteniéndose el nivel alto de este elemento como uno de los mejores tratamientos para este suelo; quizás se debió a que las cantidades aplicadas de fierro en este nivel hayan sido asimilables en gran proporción para poder obtener esta respuesta.

La respuesta del cobre para el suelo medio fué para el nivel alto, posiblemente porque el % de materia orgánica (2.82) y el CFR (36.93 %) son relativamente más bajos que los suelos rico y pobre, presentándose una buena cantidad de este elemento en forma disponible para obtener una respuesta de este tipo. Generalmente en suelos con alto contenido de materia orgánica aumenta la retención de cobre. Aunque el cobre es más asimilable bajo condiciones ácidas probablemente este factor no haya afectado su disponibilidad.

Para el zinc el mejor tratamiento en este suelo fue el zinc bajo Gilbey et al. (1970) afirman que cantidades de zinc mayores a las recomendadas, inducen la deficiencia de cobre en ciertos cultivos. Probablemente a niveles altos de zinc provoca deficiencias de fierro y de cobre, por lo que el rendimiento de las variables no fue tan sobre



saliente como en el nivel bajo. La disponibilidad del zinc es mayor en suelos ácidos que en alcalinos.

El nivel medio de nitrógeno fué el que más sobresalió para este suelo. Ha sido estudiado que los nutrientes que incrementan la velocidad de crecimiento pueden inducir una deficiencia de zinc. Ozzane (1955) menciona que un incremento en el suplemento de nitrógeno causa que el zinc sea retenido en las raíces como un complejo zinc-proteína. Este suelo presenta un pH de 7.7, presentandose probablemente una buena disponibilidad de este elemento, respondiendo mejor el nivel medio de nitrógeno.

3.1.3. Localidad Sandia, Aramberri: Los tratamientos que obtuvieron los valores más altos en esta localidad correspondiente al suelo pobre para la variable diámetro de tallo fueron fósforo medio (19) con 2.29 mm y 58.4 ppm; cobre bajo (52) con 2.26 mm y 0 ppm; cobre alto (58) con 2.15 y 8.69 ppm; cobre medio (55) con 2.07 mm y 1.19 ppm y potasio ausencia (25) con 1.97 mm y 0 ppm. El óptimo (85) con 1.68 mm y el testigo (88) con 1.75 mm se presentaron entre los tratamientos más bajos.

Los tratamientos que más sobresalieron para la variable altura de planta fueron cobre medio (55) con 34.17 cm y 1.19 ppm; manganeso alto (70) con 31.13 cm y 63.96 ppm; cobre ausencia (49) con 30.45 cm y 0 ppm; fósforo alto (22) con 29.44 cm y 148.4 ppm; y potasio medio (31) con 28.82 cm y 8.14 ppm. El tratamiento óptimo (85) con 22.04 cm y el testigo (88) con 18.85 cm se encontraron dentro de los tratamientos más bajos, siendo el óptimo el que obtuvo el más bajo valor para este suelo.

Los mejores tratamientos para la variable materia verde fueron cobre medio (55) con 3.90 gr y 1.19 ppm; manganeso alto (70) con 3.30 gr y 63.96 ppm; fósforo medio (19) con 3.30 gr y 58.40 ppm; cobre bajo (52) con 3.10 gr y 0 ppm; y potasio medio (31) con 3.07 gr y 8.14 ppm. El tratamiento óptimo (85) con 1.43 gr y el testigo (88) con ..

1.60 gr, se presentaron entre los más bajos tratamientos.

Los tratamientos que obtuvieron las medias más altas para la variable materia seca fueron manganeso alto (70) con 0.75 gr y 63.96 ppm; cobre medio (55) con 0.73 gr y 1.19 ppm; cobre bajo (52) con 0.64 gr y 0 ppm; fósforo medio (19) con 0.64 gr y 58.4 ppm; y potasio medio (31) con 0.64 gr y 8.14 ppm. El tratamiento óptimo (85) con 0.40 gr se presentó dentro de los tratamientos más bajos, y el testigo (88) con 0.52 gr se encontró entre los tratamientos con respuesta media para este suelo.

Los tratamientos que obtuvieron los mejores rendimientos para este suelo considerando todas las variables en estudio fueron cobre medio (55) con 1.19 ppm; manganeso alto (70) con 63.96 ppm; fósforo medio (20) con 58.4 ppm; y cobre bajo (52) con 0 ppm.

La respuesta del cobre para este suelo fue a los niveles medio y bajo. Tal vez la disponibilidad del cobre estuvo influenciada por ciertas interacciones que pudieron existir entre los elementos aplicados y los no aplicados, pero esenciales para el crecimiento de las plantas; también un pH elevado (7.7) y el contenido alto de  $\text{CaCO}_3$  (24.25 %) que presenta este suelo.

El manganeso alto obtuvo uno de los mejores rendimientos para el suelo pobre. La absorción de manganeso disminuye a medida que aumenta el pH, a un pH superior a 7.5 la absorción de este elemento es muy baja, puede ser que el contenido inicial de manganeso en este suelo y la aplicación del nivel alto generaron una respuesta favorable a la aplicación de este elemento.

La mejor respuesta del fósforo para este suelo fué el nivel medio. Resultados obtenidos mencionan que las plantas superiores no absorben más que la mitad o un tercio del ácido fosfórico asimilable. Biddulph (1953) afirma que a cantidades excesivas de fósforo se inhibe el movimiento de fierro en la planta, esto debido a la formación

de fosfatos de fierro, los cuales pueden precipitarse externamente en la raíz. Estudios presentados por Farnette, et al. (1936) muestran - que existe una interacción entre el fósforo y el zinc, el cual causa una deficiencia de zinc inducida por altos niveles de fósforo disponible, provocando una alteración en el desarrollo de la planta. Estas pueden ser algunas razones por las que el fósforo respondió mejor al nivel medio.

3.2. Arreglo factorial: Los tratamientos fueron estudiados dentro de un arreglo factorial mixto  $3 \times 4 \times 7$ , en donde 3 representa - los tipos de suelo, 4 los niveles de los elementos y 7 los elementos estudiados. Se realizó el ANVA (cuadro 44) con el objetivo de observar la significancia de cada fuente de variación así como las interacciones de estas para cada una de las variables.

A continuación se presentan los factores individuales y las interacciones que resultaron significativas de acuerdo al ANVA.

3.2.1. Elemento-nivel: La interacción elemento-nivel resultó - significativa para la variable materia verde y para las variables diámetro de tallo y materia seca resultó altamente significativa, por lo que se realizaron comparaciones de medias por medio de Tukey las cuales se presentan en los cuadros 45, 46 y 47 respectivamente.

En la variable diámetro de tallo los niveles de nitrógeno y manganeso son estadísticamente iguales, por los que es indiferente aplicar cualquiera de los cuatro niveles de estos elementos.

Para el fósforo, fierro y cobre los niveles alto, medio y bajo, - presentaron medias estadísticamente iguales, pero estos niveles son - diferentes al nivel ausencia por lo que existe cierta diferencia al - aplicar estos niveles en los suelos bajo estudio.

Los niveles medio y ausencia de potasio y zinc son iguales esta-

dísticamente pero diferentes a los niveles alto y bajo, los cuales -- presentaron las medias más bajas.

Los niveles de fósforo, potasio, fierro, manganeso y zinc en la variable materia verde fueron estadísticamente iguales, por lo que es indiferente aplicar cualquier nivel.

Para el nitrógeno y el cobre los niveles bajo, medio y alto resultaron estadísticamente iguales, pero diferentes al nivel ausencia el cual presentó la media más baja.

En la variable materia seca los niveles de fósforo, fierro, manganeso y zinc fueron iguales estadísticamente, por lo que es indiferente aplicar cualquiera de los cuatro niveles en los suelos de estacion. Los niveles que obtuvieron las medias más altas de estos elementos fueron el nivel bajo de fósforo con 1.04 gr, fierro alto con 1.20 gr, manganeso alto con 1.35 gr y zinc medio con 1.21 gr.

Los niveles medio, bajo y alto para nitrógeno y cobre obtuvieron los más altos rendimientos, siendo sus medias estadísticamente iguales. Presentando el nivel medio de nitrógeno con 1.10 gr y el nivel alto de cobre con 1.28 gr las medias más altas.

3.2.2. Suelo: Este factor resultó altamente significativo para la variable diámetro de tallo, de acuerdo a las comparaciones de medias (Ver cuadro 48), presentando una alta diferencia estadística, entre el suelo rico (Puentes), suelo medio (Salero) y suelo pobre (Sandia). El suelo rico obtuvo el más alto promedio con 2.83 mm, seguido por el suelo medio con un valor medio de 2.38 mm y finalmente el suelo pobre con 1.79 mm.

3.2.3. Nivel: El factor nivel resultó significativo en la variable altura de planta (ver cuadro 49) siendo los niveles bajo, medio y alto estadísticamente iguales, pero difieren del nivel ausencia el cual obtuvo la media más baja. El nivel bajo fue el que mostró el

más alto valor promedio.

3.2.4. Suelo-elemento: Para las variables altura de planta y materia verde esta interacción resultó significativa, siendo altamente significativa para la variable materia seca, las comparaciones de medias de estas interacciones se presentan en los cuadros 50, 51 y 52 respectivamente.

Los elementos que obtuvieron las medias más altas en la localidad Puentes, para la variable altura de planta en orden de importancia fueron manganeso con 49.76 cm, zinc con 49.09 cm y potasio con 48.56 cm. Siendo el nitrógeno el que obtuvo la media más baja de todos con 39.77 cm.

En la variable materia verde los mejores elementos para este suelo fueron manganeso con 10.59 gr, potasio con 10.42 gr y zinc con 10.27 gr. Presentando el nitrógeno la media más baja con 6.82 gr.

Los elementos más sobresalientes para la variable materia seca fueron potasio con 1.84 gr, zinc con 1.79 gr y manganeso con 1.77 gr. El elemento que obtuvo la media más baja fué el manganeso con 1.19 gr.

De forma general para las variables altura de planta, materia verde y materia seca todos los elementos presentaron medias iguales estadísticamente, a excepción del nitrógeno. Los elementos más relevantes para estas variables en la localidad Puentes fueron manganeso, zinc y potasio.

Para la localidad Salero correspondiente a el suelo medio, los elementos que mejores rendimientos presentaron para la variable altura de planta fueron manganeso con 37.47 cm, fierro con 37.08 cm y zinc con 36.61 cm. El fósforo presentó la media más baja con 29.24 cm.

En la variable materia verde los elementos que obtuvieron medias más altas fueron fierro con 7.10 gr, zinc con 6.07 gr y manganeso con 6.02 gr. Presentando el fósforo la más baja media con 4.34 gr.

Los mejores elementos para la variable materia seca fueron fierro con 1.14 gr, manganeso con 1.11 gr y zinc con 1.08 gr. El elemento que obtuvo la media más baja fue el nitrógeno con 0.78 gr.

En general para estas variables todos los elementos son estadísticamente iguales, pero diferentes al fósforo. Los elementos más destacados para las variables altura de planta, materia verde y materia-seca, para este suelo fueron fierro, manganeso y zinc. El fósforo - fué el que menos sobresalió en este suelo y para estas variables.

Para el suelo pobre de la localidad Sandia, los elementos que - presentaron mejor respuesta para la variable altura de planta fueron-cobre con 28.45 cm, manganeso con 27.25 cm y fósforo con 25.81 cm, El elemento que presentó la media más baja fué el zinc con 22.01 cm.

En la variable materia verde los mejores elementos para este suelo fueron cobre con 3.15 gr, manganeso con 2.73 gr y fósforo con 2.58 gr. El zinc presentó el valor más bajo con 1.96 gr.

Los mejores elementos en la variable materia seca fueron cobre - con 0.63 gr, manganeso con 0.56 gr y fósforo con 0.51 gr. El zinc obtuvo la media más baja con 0.41 gr.

Para las variables altura de planta, materia verde y materia seca, en general los elementos que más sobresalieron fueron cobre, manganeso y fósforo. El zinc fué el menos relevante para este suelo. - Todos los elementos son iguales estadísticamente pero diferentes al - zinc.

En general para los tres suelos estudiados, el elemento más relevante fué el manganeso. En el suelo rico y medio el zinc fué el que-

presentó el mayor rendimiento siendo este elemento el que obtuvo la menor respuesta para el suelo pobre. Los elementos que menos sobresalieron para estos suelos fueron nitrógeno para el suelo rico, fósforo para el suelo medio y zinc para el suelo pobre. Estos resultados muestran que son los micronutrientes los que determinan el rendimiento del cultivo, en mayor proporción que los macronutrientes.

3.2.5. Suelo-nivel: Para la variable materia verde la interacción suelo-nivel resultó significativa, siendo altamente significativa para la variable materia seca, los resultados de estas interacciones se presentan en los cuadros 53 y 54 respectivamente.

Los niveles que presentaron los valores más altos para el suelo rico correspondiente a la localidad Puentes en la variable materia verde fueron el nivel medio con 10.63 gr, nivel bajo con 10.13 gr. El nivel ausencia con 7.37 gr fué el que presentó la media más baja.

En la variable materia seca los niveles más sobresalientes para este suelo fueron el nivel bajo con 1.84 gr y el nivel medio con 1.80 gr. El nivel ausencia obtuvo el valor más bajo con 1.31 gr.

En general para estos dos variables, el mejor nivel en el suelo rico fué el nivel bajo.

En la localidad Salero correspondiente a el suelo medio, los niveles más sobresalientes para la variable materia verde fueron el nivel alto con 6.09 gr y el nivel medio con 5.81 gr. El nivel ausencia obtuvo la media más baja con 5.04 gr.

Los niveles que presentaron las medias más altas para la variable materia seca fueron el nivel alto con 1.14 gr y el nivel bajo con 1.02 gr. La media más baja fué para el nivel ausencia con 0.90 gr.

El mejor nivel para el suelo medio considerando las variables materia verde y materia seca fue el nivel alto.

En la localidad Sandia correspondiente al suelo pobre, los niveles más relevantes para la variable materia verde fueron el nivel medio con 2.69 gr y el nivel bajo con 2.47. El nivel ausencia presentó la media más baja con 2.23 gr.

En la variable materia seca los niveles más sobresalientes para este suelo fueron el nivel medio con 0.52 gr y el nivel bajo con 0.51. La media más baja la obtuvo el nivel ausencia con 0.48 gr.

El mejor nivel considerando las variables materia verde y materia seca en el suelo pobre, fué el nivel medio.

De estos resultados se observa que dentro de cada suelo el nivel ausencia obtuvo la media más baja, por lo que existe la necesidad de realizar aplicaciones de los elementos en estudio, en cualquiera de los tres tipos de suelo.

El mejor nivel para el suelo rico fué el nivel bajo, para el suelo medio el nivel alto y para el suelo pobre el nivel medio.

3.3. Regresiones múltiples: Se realizó el análisis de regresión de elemento con nivel, con la finalidad de obtener que elemento determina en mayor proporción el valor de las variables estudiadas, en cada suelo. Para lograr este objetivo se realizaron las regresiones múltiples por el procedimiento stepwise, el cual introduce las variables independientes en el modelo por orden de importancia.

Algunos modelos resultaron significativos o altamente significativos, pero todos con coeficientes de determinación ( $R^2$ ) muy bajos.

De una manera general para las cuatro variables estudiadas, se puede observar que en el suelo pobre, correspondiente a la localidad de Sandia, los elementos que determinan en mayor proporción el valor de las variables son el cobre y el manganeso. Para el suelo medio de la localidad Salero los elementos que resultaron más importantes fue-



ron el cobre y el zinc. Para la localidad Puentes correspondiente al suelo rico los elementos que determinaron en mayor proporción el valor de las variables fueron el nitrógeno y el potasio.

En esta zona se puede observar que son más importantes los microelementos cobre, zinc y manganeso; principalmente el cobre ya que este elemento aparece como el más importante en los suelos pobre y medio y de regular importancia en el suelo rico.

En los cuadros 55, 56 y 57 se presentan los modelos de regresión que resultaron significativos para cada tipo de suelo y para cada variable con sus respectivos coeficientes de determinación.

## CONCLUSIONES

De los resultados obtenidos en este experimento se puede concluir lo siguiente.

1. Los tratamientos mostraron diferencia estadística altamente significativa en el diseño completamente al azar y en el arreglo factorial, presentando esta respuesta para las tres zonas en todas las variables bajo estudio.
2. Los tratamientos de cada zona para todas las variables, de forma general quedaron divididos en tres diferentes grados de respuesta a la aplicación de nutrientes, los que mostraron la mejor respuesta fueron los suelos ricos, con una respuesta regular los suelos medios y finalmente con una respuesta muy baja los suelos pobres.
3. En la zona norte basandose en el diseño completamente al azar los tratamientos más sobresalientes para las cuatro variables en el suelo rico correspondiente a la localidad Nva. Ramoncita fueron: potasio alto con 89.07 ppm, fierro medio con 126 ppm, fierro alto con 283.5 ppm, cobre medio con 2.81 ppm, manganeso alto con 62.41 ppm y manganeso ausencia con 0 ppm. Para el suelo medio correspondiente a la localidad Dulces Mambres los mejores tratamientos fueron: cobre medio con 2.81 ppm, potasio bajo con 0 ppm, potasio medio con 31.53 ppm, manganeso alto con 62.41 ppm, fierro medio medio con 126 ppm y fósforo alto con 50.72 ppm. En el suelo pobre correspondiente a la localidad Sta. Rosa los tratamientos más relevantes fueron: fierro bajo con 31.5 ppm, manganeso alto con 62.41 ppm y zinc alto con 36.83 ppm.
4. Para la zona norte en la localidad Nva. Ramoncita, el óptimo resultó entre los mejores tratamientos, sin llegar a ser el mejor para este suelo y los más bajos tratamientos resultaron el testigo y el nitrógeno ausencia. En las localidades de Sta. Rosa y -

Dulces Nombres los tratamientos óptimo y testigo resultaron estadísticamente iguales y además de los tratamientos más bajos.

5. Los factores e interacciones que resultaron significativas en el arreglo factorial en la zona norte fueron: nivel-elemento para las variables diámetro de tallo y altura de planta; suelo en la variable diámetro de tallo; elemento en la variable rendimiento en materia verde; suelo-elemento para las variables rendimiento en materia verde y rendimiento de materia seca; y suelo-nivel para las variables rendimiento en materia verde y rendimiento en materia seca.
6. La interacción nivel-elemento en la zona norte resultó significativa, mostrando diferencia estadística entre sus niveles el nitrógeno y el manganeso, tanto para diámetro de tallo como altura de planta, y el cobre solo para altura de planta. El nitrógeno respondió mejor al nivel medio, no es conveniente aplicar el nivel alto con 75 ppm ya que reduce el valor de la variable. El mejor nivel de nitrógeno para diámetro de tallo y altura de planta fue el nivel medio con 50 ppm. El mejor rendimiento de manganeso se manifestó al nivel alto con 62.41 ppm aplicadas, siendo este el mayor de todas las combinaciones nivel-elemento. Para el cobre su mejor nivel fue el medio con 2.81 ppm, aunque resultó igual estadísticamente al alto y ausencia.
7. La interacción suelo-elemento en la zona norte resultó significativa para la variable altura de planta, observándose que independientemente del elemento y sin importar el nivel las mejores interacciones fueron las que involucraban suelos ricos y medios o sea de Nva. Ramoncita y Dulces Nombres a excepción de las interacciones Nva. Ramoncita-nitrógeno y Dulces Nombres-nitrógeno. El suelo de Santa Rosa obtuvo la menor respuesta obteniendo los mejores resultados los macroelementos N, P y K siguiendo los microelementos Mn, Zn, Fe y Cu.

8. Para las variables materia verde y materia seca en la zona norte\_ resultó con significancia la interacción suelo-nivel, en donde - los mejores rendimientos correspondieron al suelo de Nva. Ramonci\_ ta, siguiendole Dulces Nombres con rendimientos regulares y Santa Rosa con los más bajos rendimientos. Para el suelo de Nva. Ramon\_ cita y Santa Rosa al aumentar el nivel aumenta el rendimiento de\_ la variable. Tanto para materia verde como materia seca en los - tres suelos estudiados, la sola presencia de cualquier elemento - se refleja en el aumento de los rendimientos de ambas variables.
9. En base al diseño completamente al azar los tratamientos más so-- bresalientes para las cuatro variables, en la localidad Lirios co\_ rrespondiente al suelo rico de la zona centro fueron; el óptimo;\_ nitrógeno alto con 75 ppm; manganeso alto con 64.82 ppm; zinc ba\_ jo con 0.08 ppm; zinc ausencia con 0 ppm; y cobre alto con 4.38 - ppm. Para el suelo medio correspondiente a la localidad Caja Pin\_ ta los tratamientos más relevantes fueron: nitrógeno bajo con 25\_ ppm; potasio ausencia con 0 ppm; manganeso medio con 27.32 ppm; - cobre medio con 1.88 ppm; y zinc alto con 36.08 ppm. En el suelo pobre correspondiente a la localidad Vistahermosa se presentó una indiferencia muy alta a la aplicación de nutrientes; en general - para las cuatro variables únicamente destacan el potasio ausencia con 0 ppm; zinc ausencia con 0 ppm; y fósforo ausencia 0 ppm.
10. En la localidad Lirios de la zona centro, el óptimo resultó ser - el mejor tratamiento para este suelo y los más bajos resultaron - el testigo y el nitrógeno ausencia. En Caja Pinta el óptimo y el testigo resultaron estadísticamente iguales en algunas variables\_ y además son de los tratamientos más bajos para este suelo. Para la localidad Vistahermosa en general, estadísticamente todos los\_ tratamientos resultaron iguales, y el testigo obtuvo medias más - altas en todas las variables en comparación con el óptimo que fué de los más bajos.
11. En la zona centro la aplicación de potasio mostró una respuesta -

negativa en el valor de las variables, en cambio la no aplicación de potasio resultó de los mejores tratamientos para estos suelos. Esto mismo ocurrió con el fósforo para las localidades de Lirios\_ y Caja Pinta correspondientes al suelo rico y medio respectivamente, donde los mejores tratamientos de fósforo para estos suelos - fué la no aplicación de este elemento, al igual que en el potasio, el aplicar fósforo disminuía el valor de las variables.

12. En el análisis del arreglo factorial para la zona centro, resultó altamente significativa la interacción elemento-nivel-suelo que - incluye todos los factores en estudio.
13. En la zona centro, para la localidad Lirios, el análisis de regresión múltiple indica que la producción de materia seca está determinada principalmente por la aplicación de nitrógeno y los demás\_ elementos contribuyen muy poco para aumentar el valor de la variable.
14. En la zona sur los tratamientos que mostraron mayores rendimientos en la localidad Puentes, fueron: el manganeso bajo con 3.96 - ppm; cobre medio con 1.19 ppm; potasio medio con 8.14 ppm; y cobre bajo con 0 ppm. En la localidad Salero, se presentaron el fierro alto con 283 ppm; cobre alto con 8.69 ppm; nitrógeno medio con 50 ppm; y zinc bajo con 1.44 ppm. Para la localidad Sandia - los mejores tratamientos fueron: cobre medio con 1.19 ppm; manganeso alto con 63.96 ppm; fósforo medio con 58.4 ppm; y cobre bajo con 0 ppm.
15. El tratamiento óptimo en la localidad Puentes de la zona sur, mostró más altos rendimientos en comparación con el testigo, el cual obtuvo los rendimientos más bajos junto con el nitrógeno ausencia. En la localidad salero el óptimo obtuvo rendimientos regulares y\_ el testigo los más bajos rendimientos. En la localidad Sandia el óptimo mostró rendimientos más bajos que el testigo.

16. Los factores e interacciones que resultaron significativas en el arreglo factorial en la zona sur fueron: nivel en la variable altura de planta; suelo en la variable diámetro de tallo; elemento-nivel para las variables diámetro de tallo, materia verde y materia seca; suelo-elemento para las variables altura de planta, materia verde y materia seca; y suelo-nivel para las variables materia verde y materia seca.
17. En general para las variables altura de planta, materia verde y materia seca en la localidad Puentes de la zona sur, todos los elementos presentaron valores iguales estadísticamente a excepción del nitrógeno que obtuvo los valores más bajos. En la localidad Salero y para estas variables, todos los elementos son estadísticamente iguales pero diferentes al fósforo que fué el menor. Todos los elementos mostraron valores estadísticamente iguales en la localidad Sandia, a excepción del zinc que obtuvo el menor valor.
18. En la zona sur el elemento más relevante para las tres localidades estudiadas fué el manganeso. En las localidades Puentes y Salero, el zinc fué el elemento que mayor rendimiento mostró; siendo este el de menor respuesta para la localidad Sandia. Los elementos que menos sobresalieron fueron: nitrógeno para la localidad Puentes, fósforo para Salero y zinc para Sandia.
19. Para la zona sur dentro de cada suelo el nivel ausencia mostró el valor más bajo para todos los elementos. Por lo que existe la necesidad de hacer aplicaciones de estos elementos en cualquiera de los tres suelos de esta zona para obtener mejores rendimientos.
20. De los niveles estudiados de todos los elementos, el mejor nivel para la localidad Puentes de la zona sur fué el nivel bajo, para la localidad Salero el mejor nivel fué el alto y para la localidad Sandia el nivel medio fué el mejor.

## RECOMENDACIONES

1. Realizar una calibración y correlación de metodologías de extracción de nutrientes, tanto de suelo como foliares, para encontrar la metodología más adecuada para cada tipo de suelo.
2. Repetir el experimento con los mismos suelos, excluyendo el potasio, ya que los resultados demuestran que este elemento no es un factor limitante en estos suelos, pudiendo ser substituido por otro u otros como el azufre y boro para así reducir los factores limitantes en estos suelos.
3. Utilizar los mismos reactivos en los estudios de sorción y en la preparación de las soluciones nutritivas, por que al utilizar reactivos diferentes la capacidad de fijación relativa, el pH y el %  $\text{CaCO}_3$ , pueden variar entre el estudio de sorción y el estudio de invernadero.
4. Trabajar cada suelo por separado con el objetivo de que todos los suelos tengan el mismo nivel crítico considerado en la planeación de los niveles a probar.
5. Evitar el uso de cloruros en la preparación de las soluciones nutritivas, por que el uso excesivo de cloruros puede favorecer la solubilidad de otros elementos y con esto causar síntomas de toxicidad, anulando el posible efecto de los tratamientos.
6. Efectuar los análisis foliares del presente experimento, para explicar de la mejor forma los efectos de los tratamientos.

## RESUMEN

Con la finalidad de fundamentar un programa de evaluación y mejoramiento de la fertilidad de los suelos en el estado de Nuevo León se realizó el presente trabajo, en la Facultad de Agronomía de la UANL, localizada en Marín, N.L.

Con fines de estudio, el estado se dividió en tres zonas: norte, centro y sur; para cada zona se seleccionaron tres suelos, cada uno con diferente grado de fertilidad: pobre, medio y rico.

Se estudiaron siete elementos que fueron: nitrógeno, fósforo, potasio, fierro, cobre, manganeso y zinc; probándose cuatro niveles para cada uno de los elementos, siendo estos ausencia, baja, media y alta dosificación. Una vez definidos estos niveles, se determinaron los tratamientos de tal forma que para cada elemento se respetó la concentración a probar y los demás elementos estuvieron presentes al nivel medio; además de estos tratamientos se probaron un óptimo y un testigo para cada tipo de suelo en las tres zonas.

El cultivo utilizado fué el sorgo (Sorghum bicolor L.), usándose semillas LES - 99R de la FAUANL. Esta planta fué utilizada como planta indicadora, ya que es muy sensitiva a la mayoría de las deficiencias probadas. Estas se sembraron y posteriormente se transplantaron a las macetas que contenían el suelo a probar.

Las plantas fueron cosechadas a los 40 días después del trasplante, tomándose las siguientes observaciones: diámetro de tallo, altura de planta, rendimiento en materia verde y rendimiento en materia seca; que fueron las variables estudiadas.

El análisis estadístico de este trabajo se realizó en forma separada para cada zona.

El diseño experimental utilizado fué un completamente al azar, -



con arreglo factorial mixto 3 x 4 x 7 con tres repeticiones; en donde 3 representa los tipos de suelos; 4 los niveles de los elementos y 7 los elementos probados, además del óptimo y el testigo para cada suelo.

Se analizó primeramente como un diseño completamente al azar para poder hacer inferencias acerca de los óptimos y testigos; después como un diseño factorial y finalmente se realizaron regresiones múltiples por el procedimiento stepwise, de elemento con nivel.

Los tratamientos mostraron diferencia estadística altamente significativa en el diseño completamente al azar y en el arreglo factorial, presentando esta respuesta para las tres zonas en todas las variables bajo estudio.

Los tratamientos de cada zona para todas las variables, de forma general quedaron divididos en tres diferentes grados de respuesta a la aplicación de nutrientes, los que mostraron mejor respuesta fueron los suelos ricos, con una respuesta regular los suelos medios y finalmente con una respuesta muy baja los suelos pobres.

En la zona norte en base al diseño completamente al azar (sin considerar el arreglo factorial) los tratamientos más sobresalientes para las cuatro variables en el suelo rico de la localidad Nva. Ramoncita fueron: potasio alto con 80.07 ppm, fierro medio con 126 ppm, fierro alto con 283.5 ppm, cobre medio con 2.81 ppm, manganeso alto con 62.41 ppm y manganeso ausencia con 0 ppm. Para el suelo medio correspondiente a la localidad Dulces Nombres los mejores tratamientos fueron: cobre medio con 2.81 ppm, potasio bajo con 0 ppm, potasio medio con 31.53 ppm, manganeso alto con 62.41 ppm, fierro medio con 126 ppm y fósforo alto con 50.72 ppm. En el suelo pobre correspondiente a la localidad Santa Rosa los tratamientos más relevantes fueron: fierro bajo con 31.5 ppm, manganeso alto con 62.41 ppm y zinc alto con 36.83 ppm.

En la zona centro en base al diseño completamente al azar ( sin considerar el arreglo factorial) los tratamientos más sobresalientes para las cuatro variables en el suelo rico correspondiente a la localidad Lirios fueron: el óptimo, nitrógeno alto con 75 ppm, manganeso alto con 64.82 ppm, zinc bajo con 0.08 ppm, zinc ausencia con 0 ppm, cobre alto con 9.38 ppm, fósforo bajo con 0 ppm, potasio bajo y potasio ausencia ambos con 0 ppm. Para la localidad Caja Pinta correspondiente al suelo medio los mejores tratamientos fueron: nitrógeno bajo con 25 ppm, potasio ausencia con 0 ppm, manganeso medio con 27.32 ppm, cobre medio con 1.88 ppm, zinc alto con 36.08 ppm, fierro ausencia con 0 ppm y fósforo bajo con 0 ppm. En el suelo pobre correspondiente a la localidad Vistahermosa se presentó una indiferencia muy grande a la aplicación de nutrientes, además de presentar las medias más bajas de esta zona, los tratamientos en general son estadísticamente iguales, solamente destacan el potasio ausencia con 0 ppm y fósforo ausencia con 0 ppm.

En la zona sur en base al diseño completamente al azar (sin considerar el arreglo factorial) los tratamientos más sobresalientes para las cuatro variables en el suelo rico correspondiente a la localidad Puentes fueron: manganeso bajo con 3.96 ppm, cobre medio con 1.19 ppm, potasio medio con 8.14 ppm y cobre bajo con 0 ppm. Para la localidad Salero correspondiente al suelo medio los mejores tratamientos fueron: fierro alto con 283.5 ppm, cobre alto con 8.69 ppm, nitrógeno medio con 50 ppm y zinc bajo con 1.44 ppm. En el suelo pobre correspondiente a la localidad Sandia los tratamientos más sobresalientes fueron: cobre medio con 1.19 ppm, manganeso alto con 63.96 ppm, fósforo medio con 58.4 ppm y cobre bajo con 0 ppm.

En el análisis de regresión en todos los suelos algunas variables resultaron significativas pero con coeficientes de determinación muy bajos, con excepción de la variable materia seca en el suelo rico de la zona centro en el cual se pudo observar que el nitrógeno es el elemento que influye más en la producción de materia seca.

A P E N D I C E

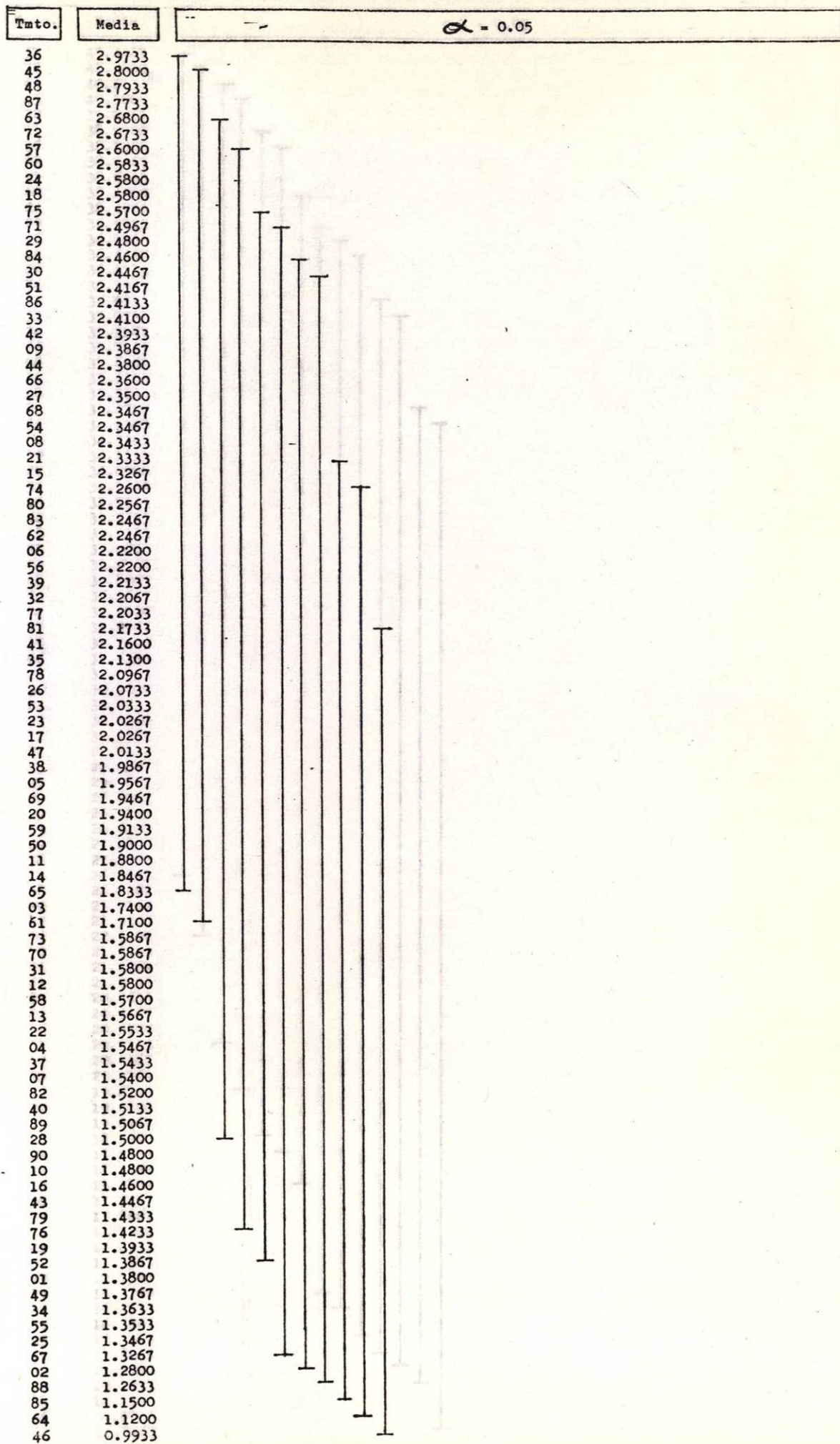
Cuadro 7. Resumen de los resultados de los análisis de varianza efectuados para las variables estudiadas en la zona norte, sin considerar el arreglo factorial de los tratamientos.

VARIABLE	TRATAMIENTOS	ERROR	MEDIA GENERAL	% C.V.
Diámetro de tallo	60.315 ++	20.118	1.97	16.118
Altura de planta	19,107.353 ++	5,932.854	28.04	20.473
Materia verde	1,521.471 ++	508.373	4.04	41.595
Materia seca	50.876 ++	21.249	0.75	45.801

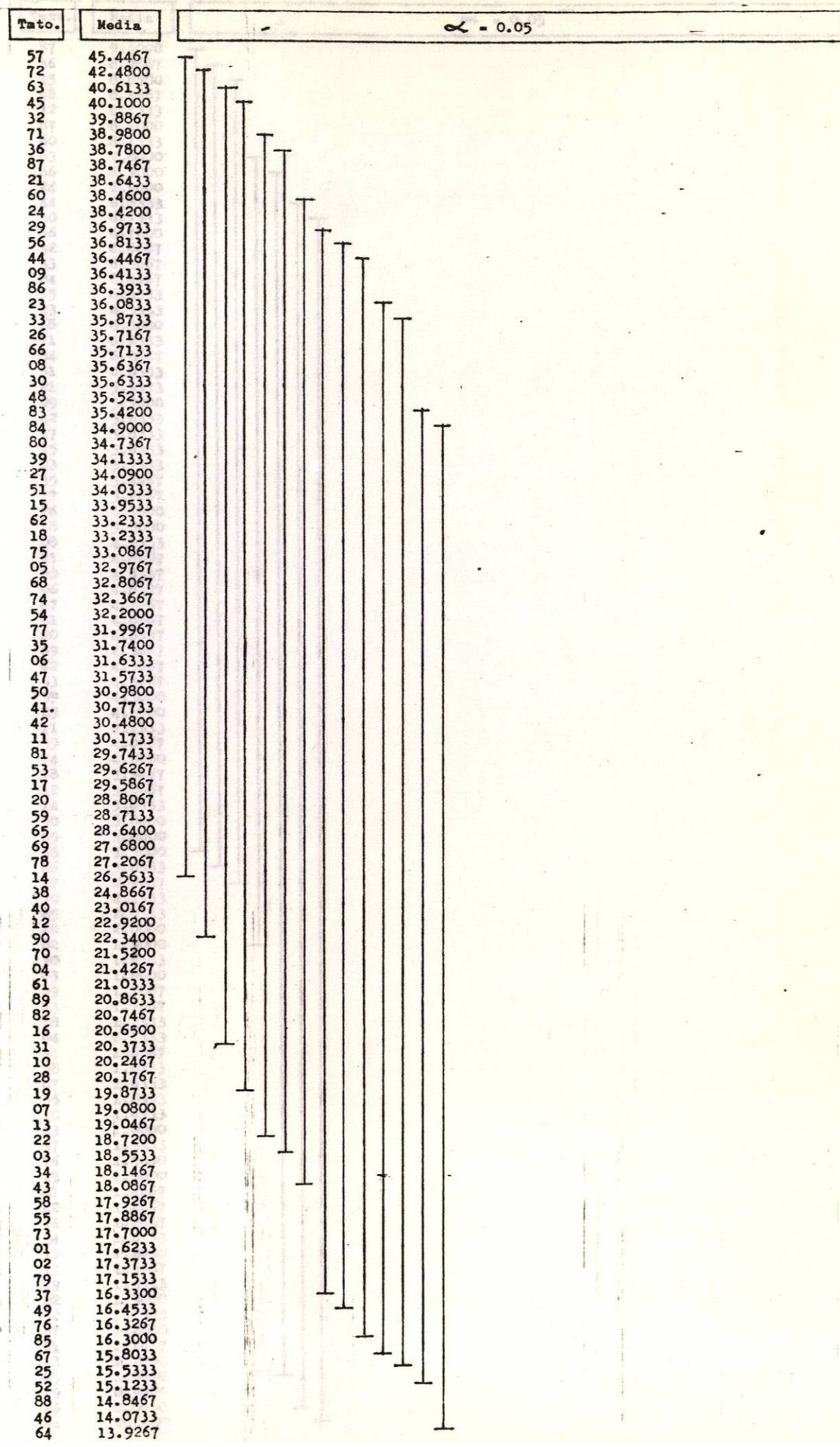
++ = Altamente significativo

C.V. = Coeficiente de variación

Cuadro 8. Resultados de la prueba de Tukey de la comparación de medias de los tratamientos sin considerar el arreglo factorial, para la variable diámetro de tallo, de la zona norte.



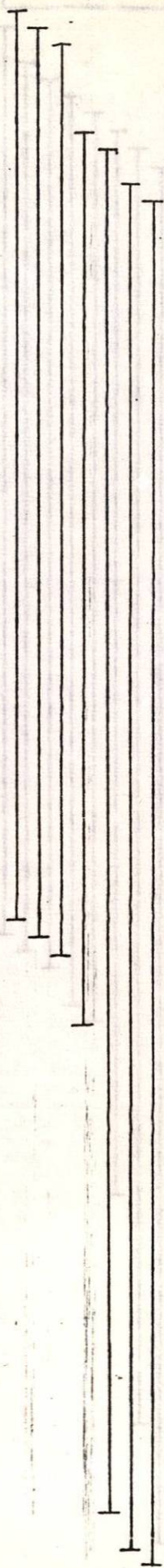
Cuadro 9. Resultados de la prueba de Tukey de la comparación de medias de los tratamientos sin considerar el arreglo factorial, para la variable altura de planta, de la zona norte.



tos sin considerar el arreglo factorial, para la variable materia verde, de la zona norte.

Tmto.	Media	$\alpha = 0.05$
-------	-------	-----------------

57	9.1000
36	8.9667
45	8.8600
48	8.4667
72	8.4333
87	8.4000
60	8.1333
63	7.8000
66	6.9000
24	6.9000
44	6.8333
30	6.7333
56	6.7000
32	6.6667
33	6.5667
84	6.4667
75	6.3333
23	6.3333
68	6.3000
71	6.2333
54	6.0667
51	6.0333
21	5.9333
09	5.9000
42	5.8333
27	5.8333
15	5.8333
83	5.7333
35	5.4667
77	5.2667
26	5.1000
18	5.0000
08	4.9333
81	4.8667
80	4.8337
06	4.8337
47	4.7667
41	4.6667
20	4.6337
69	4.3667
62	4.3667
53	4.3667
59	4.3000
29	4.3000
11	4.1333
39	4.0667
74	4.0000
78	3.9667
12	3.9667
14	3.8333
50	3.8000
05	3.6000
38	3.5000
86	3.0333
17	2.9667
70	2.1333
65	2.0333
40	2.0000
82	1.9000
90	1.8333
03	1.8000
89	1.7667
13	1.7667
28	1.7333
04	1.7333
31	1.6667
58	1.6333
07	1.6333
55	1.6333
10	1.6333
43	1.6000
37	1.5333
76	1.5000
25	1.5000
61	1.4667
22	1.4667
16	1.4667
34	1.4333
19	1.4000
73	1.3667
79	1.3333
02	1.3000
52	1.2333
67	1.2000
01	1.1667
88	1.1000
85	1.0000
49	0.9000
46	0.9000
64	0.8000



Cuadro 11. Resultados de la prueba de Tukey de la comparación de medias de los tratamientos sin considerar el arreglo factorial, para la variable materia seca, de la zona norte.

Tmto.	Media	$\alpha = 0.05$			
36	1.7900	31.53	126.0	2.81	24.91
57	1.7667	31.53	126.0	2.81	24.91
45	1.7200	31.53	126.0	2.81	24.91
48	1.7133	31.53	126.0	2.81	24.91
87	1.6400	31.53	126.0	2.81	24.91
72	1.6233	31.53	126.0	2.81	24.91
63	1.5867	31.53	126.0	2.81	24.91
60	1.5300	31.53	126.0	2.81	24.91
30	1.4600	31.53	126.0	2.81	24.91
09	1.4333	31.53	126.0	2.81	24.91
24	1.3767	31.53	126.0	2.81	24.91
84	1.3667	31.53	126.0	2.81	24.91
15	1.3033	31.53	126.0	2.81	24.91
68	1.2667	31.53	126.0	2.81	24.91
21	1.2267	31.53	126.0	2.81	24.91
66	1.2233	31.53	126.0	2.81	24.91
33	1.1833	31.53	126.0	2.81	24.91
75	1.1033	31.53	126.0	2.81	24.91
23	1.0733	31.53	126.0	2.81	24.91
44	1.0700	31.53	126.0	2.81	24.91
32	1.0500	31.53	126.0	2.81	24.91
51	1.0367	31.53	126.0	2.81	24.91
56	1.0100	31.53	126.0	2.81	24.91
54	0.9800	31.53	126.0	2.81	24.91
27	0.9800	31.53	126.0	2.81	24.91
06	0.9800	31.53	126.0	2.81	24.91
81	0.9467	31.53	126.0	2.81	24.91
71	0.9467	31.53	126.0	2.81	24.91
42	0.9337	31.53	126.0	2.81	24.91
83	0.8933	31.53	126.0	2.81	24.91
08	0.8833	31.53	126.0	2.81	24.91
18	0.8767	31.53	126.0	2.81	24.91
78	0.8633	31.53	126.0	2.81	24.91
12	0.8200	31.53	126.0	2.81	24.91
80	0.8133	31.53	126.0	2.81	24.91
35	0.7967	31.53	126.0	2.81	24.91
77	0.7933	31.53	126.0	2.81	24.91
53	0.7867	31.53	126.0	2.81	24.91
47	0.7500	31.53	126.0	2.81	24.91
20	0.7333	31.53	126.0	2.81	24.91
62	0.7100	31.53	126.0	2.81	24.91
26	0.6967	31.53	126.0	2.81	24.91
41	0.6963	31.53	126.0	2.81	24.91
38	0.6833	31.53	126.0	2.81	24.91
74	0.6800	31.53	126.0	2.81	24.91
69	0.6600	31.53	126.0	2.81	24.91
14	0.6500	31.53	126.0	2.81	24.91
39	0.6367	31.53	126.0	2.81	24.91
59	0.6300	31.53	126.0	2.81	24.91
59	0.6200	31.53	126.0	2.81	24.91
50	0.6167	31.53	126.0	2.81	24.91
11	0.6060	31.53	126.0	2.81	24.91
05	0.5867	31.53	126.0	2.81	24.91
86	0.5167	31.53	126.0	2.81	24.91
90	0.5000	31.53	126.0	2.81	24.91
03	0.4500	31.53	126.0	2.81	24.91
17	0.4367	31.53	126.0	2.81	24.91
89	0.4200	31.53	126.0	2.81	24.91
82	0.4000	31.53	126.0	2.81	24.91
28	0.4000	31.53	126.0	2.81	24.91
04	0.3967	31.53	126.0	2.81	24.91
70	0.3933	31.53	126.0	2.81	24.91
40	0.3867	31.53	126.0	2.81	24.91
13	0.3833	31.53	126.0	2.81	24.91
58	0.3733	31.53	126.0	2.81	24.91
43	0.3733	31.53	126.0	2.81	24.91
73	0.3700	31.53	126.0	2.81	24.91
10	0.3700	31.53	126.0	2.81	24.91
55	0.3667	31.53	126.0	2.81	24.91
31	0.3600	31.53	126.0	2.81	24.91
65	0.3567	31.53	126.0	2.81	24.91
07	0.3533	31.53	126.0	2.81	24.91
37	0.3367	31.53	126.0	2.81	24.91
22	0.3333	31.53	126.0	2.81	24.91
16	0.3333	31.53	126.0	2.81	24.91
52	0.3267	31.53	126.0	2.81	24.91
25	0.3233	31.53	126.0	2.81	24.91
02	0.3233	31.53	126.0	2.81	24.91
01	0.3167	31.53	126.0	2.81	24.91
76	0.3133	31.53	126.0	2.81	24.91
34	0.3133	31.53	126.0	2.81	24.91
67	0.3033	31.53	126.0	2.81	24.91
19	0.2933	31.53	126.0	2.81	24.91
79	0.2900	31.53	126.0	2.81	24.91
61	0.2900	31.53	126.0	2.81	24.91
85	0.2733	31.53	126.0	2.81	24.91
88	0.2567	31.53	126.0	2.81	24.91
46	0.2500	31.53	126.0	2.81	24.91
49	0.2400	31.53	126.0	2.81	24.91
64	0.2167	31.53	126.0	2.81	24.91



Cuadro 12. Cantidades en ppm de elementos aplicados para los tratamientos de la Zona Norte.

No.	TRATAMIENTO	N	P	K	Fe	Cu	Mn	Zn
01	Nitrógeno ausencia pobre	-	-	31.53	126.0	2.81	24.91	14.33
02	Nitrógeno ausencia medio	-	-	31.53	126.0	2.81	24.91	14.33
03	Nitrógeno ausencia rico	-	-	31.53	126.0	2.81	24.91	14.33
04	Nitrógeno bajo pobre	25	-	31.53	126.0	2.81	24.91	14.33
05	Nitrógeno bajo medio	25	-	31.53	126.0	2.81	24.91	14.33
06	Nitrógeno bajo rico	25	-	31.53	126.0	2.81	24.91	14.33
07	Nitrógeno medio pobre	50	-	31.53	126.0	2.81	24.91	14.33
08	Nitrógeno medio medio	50	-	31.53	126.0	2.81	24.91	14.33
09	Nitrógeno medio rico	50	-	31.53	126.0	2.81	24.91	14.33
10	Nitrógeno alto pobre	75	-	31.53	126.0	2.81	24.91	14.33
11	Nitrógeno alto medio	75	-	31.53	126.0	2.81	24.91	14.33
12	Nitrógeno alto rico	75	-	31.53	126.0	2.81	24.91	14.33
13	Fósforo ausencia pobre	50	-	31.53	126.0	2.81	24.91	14.33
14	Fósforo ausencia medio	50	-	31.53	126.0	2.81	24.91	14.33
15	Fósforo ausencia rico	50	-	31.53	126.0	2.81	24.91	14.33
16	Fósforo bajo pobre	50	-	31.53	126.0	2.81	24.91	14.33
17	Fósforo bajo medio	50	-	31.53	126.0	2.81	24.91	14.33
18	Fósforo bajo rico	50	-	31.53	126.0	2.81	24.91	14.33
19	Fósforo medio pobre	50	-	31.53	126.0	2.81	24.91	14.33
20	Fósforo medio medio	50	-	31.53	126.0	2.81	24.91	14.33
21	Fósforo medio rico	50	-	31.53	126.0	2.81	24.91	14.33
22	Fósforo alto pobre	50	50.72	31.53	126.0	2.81	24.91	14.33
23	Fósforo alto medio	50	50.72	31.53	126.0	2.81	24.91	14.33
24	Fósforo alto rico	50	50.72	31.53	126.0	2.81	24.91	14.33
25	Potasio ausencia pobre	50	-	-	126.0	2.81	24.91	14.33
26	Potasio ausencia medio	50	-	-	126.0	2.81	24.91	14.33
27	Potasio ausencia rico	50	-	-	126.0	2.81	24.91	14.33
28	Potasio bajo pobre	50	-	-	126.0	2.81	24.91	14.33
29	Potasio bajo medio	50	-	-	126.0	2.81	24.91	14.33
30	Potasio bajo rico	50	-	-	126.0	2.81	24.91	14.33
31	Potasio medio pobre	50	-	31.53	126.0	2.81	24.91	14.33
32	Potasio medio medio	50	-	31.53	126.0	2.81	24.91	14.33
33	Potasio medio rico	50	-	31.53	126.0	2.81	24.91	14.33
34	Potasio alto pobre	50	-	89.07	126.0	2.81	24.91	14.33
35	Potasio alto medio	50	-	89.07	126.0	2.81	24.91	14.33
36	Potasio alto rico	50	-	89.07	126.0	2.81	24.91	14.33
37	Fierro ausencia pobre	50	-	31.53	-	2.81	24.91	14.33
38	Fierro ausencia medio	50	-	31.53	-	2.81	24.91	14.33
39	Fierro ausencia rico	50	-	31.53	-	2.81	24.91	14.33
40	Fierro bajo pobre	50	-	31.53	31.5	2.81	24.91	14.33
41	Fierro bajo medio	50	-	31.53	31.5	2.81	24.91	14.33
42	Fierro bajo rico	50	-	31.53	31.5	2.81	24.91	14.33
43	Fierro medio pobre	50	-	31.53	126.0	2.81	24.91	14.33
44	Fierro medio medio	50	-	31.53	126.0	2.81	24.91	14.33
45	Fierro medio rico	50	-	31.53	126.0	2.81	24.91	14.33
46	Fierro alto pobre	50	-	31.53	283.5	2.81	24.91	14.33
47	Fierro alto medio	50	-	31.53	283.5	2.81	24.91	14.33
48	Fierro alto rico	50	-	31.53	283.5	2.81	24.91	14.33
49	Cobre ausencia pobre	50	-	31.53	126.0	-	24.91	14.33
50	Cobre ausencia medio	50	-	31.53	126.0	-	24.91	14.33
51	Cobre ausencia rico	50	-	31.53	126.0	-	24.91	14.33
52	Cobre bajo pobre	50	-	31.53	126.0	-	24.91	14.33
53	Cobre bajo medio	50	-	31.53	126.0	-	24.91	14.33
54	Cobre bajo rico	50	-	31.53	126.0	-	24.91	14.33
55	Cobre medio pobre	50	-	31.53	126.0	2.81	24.91	14.33
56	Cobre medio medio	50	-	31.53	126.0	2.81	24.91	14.33
57	Cobre medio rico	50	-	31.53	126.0	2.81	24.91	14.33
58	Cobre alto pobre	50	-	31.53	126.0	10.31	24.91	14.33
59	Cobre alto medio	50	-	31.53	126.0	10.31	24.91	14.33
60	Cobre alto rico	50	-	31.53	126.0	10.31	24.91	14.33
61	Manganeso ausencia pobre	50	-	31.53	126.0	2.81	-	14.33
62	Manganeso ausencia medio	50	-	31.53	126.0	2.81	-	14.33
63	Manganeso ausencia rico	50	-	31.53	126.0	2.81	-	14.33
64	Manganeso bajo pobre	50	-	31.53	126.0	2.81	2.41	14.33
65	Manganeso bajo medio	50	-	31.53	126.0	2.81	2.41	14.33
66	Manganeso bajo rico	50	-	31.53	126.0	2.81	2.41	14.33
67	Manganeso medio pobre	50	-	31.53	126.0	2.81	24.91	14.33
68	Manganeso medio medio	50	-	31.53	126.0	2.81	24.91	14.33
69	Manganeso medio rico	50	-	31.53	126.0	2.81	24.91	14.33
70	Manganeso alto pobre	50	-	31.53	126.0	2.81	62.41	14.33
71	Manganeso alto medio	50	-	31.53	126.0	2.81	62.41	14.33
72	Manganeso alto rico	50	-	31.53	126.0	2.81	62.41	14.33
73	Zinc ausencia pobre	50	-	31.53	126.0	2.81	24.91	-
74	Zinc ausencia medio	50	-	31.53	126.0	2.81	24.91	-
75	Zinc ausencia rico	50	-	31.53	126.0	2.81	24.91	-
76	Zinc bajo pobre	50	-	31.53	126.0	2.81	24.91	0.83
77	Zinc bajo medio	50	-	31.53	126.0	2.81	24.91	0.83
78	Zinc bajo rico	50	-	31.53	126.0	2.81	24.91	0.83
79	Zinc medio pobre	50	-	31.53	126.0	2.81	24.91	14.33
80	Zinc medio medio	50	-	31.53	126.0	2.81	24.91	14.33
81	Zinc medio rico	50	-	31.53	126.0	2.81	24.91	14.33
82	Zinc alto pobre	50	-	31.53	126.0	2.81	24.91	36.83
83	Zinc alto medio	50	-	31.53	126.0	2.81	24.91	36.83
84	Zinc alto rico	50	-	31.53	126.0	2.81	24.91	36.83
85	Optimo pobre	150	216.0	140.76	378.0	18.00	90.00	54.00
86	Optimo medio	150	216.0	140.76	378.0	18.00	90.00	54.00
87	Optimo rico	150	216.00	140.76	378.0	18.00	90.00	54.00
88	Testigo pobre	-	-	-	-	-	-	-
89	Testigo medio	-	-	-	-	-	-	-
90	Testigo rico	-	-	-	-	-	-	-

Cuadro 13. Resumen de los resultados de los análisis de varianza efectuados para las variables estudiadas en la zona norte, considerando el arreglo factorial de los tratamientos, donde se muestran la suma de cuadrados del error y la suma de cuadrados de los efectos factoriales y su significancia.

VARIABLE	E	N	S	E-N	E-S	N-S	E-N-S	ERROR
Diámetro de tallo	1.591 +	0.525 N.S.	39.961 ++	4.356 ++	2.232 N.S.	1.262 N.S.	2.931 N.S.	18.324
Altura de planta	521.246 +	494.861 ++	12,523.113 ++	1,633.664 ++	920.051 ++	248.762 N.S.	1,012.301 N.S.	5,226.863
Materia verde	62.885 ++	76.414 ++	971.568 ++	75.680 N.S.	55.864 N.S.	42.991 +	90.448 N.S.	486.073
Materia seca	1.014 N.S.	2.751 ++	31.286 ++	2.921 N.S.	1.135 N.S.	1.912 +	5.345 N.S.	19.613

++ = Altamente significativo      + = Significativo      N.S. = No significativo  
 N = Nivel      E-N = Interacción elemento-nivel      E-N-S = Interacción elemen  
 S = Suelo      E-S = Interacción elemento-suelo      to-nivel-suelo  
 E = Elemento      N-S = Interacción nivel-suelo

Cuadro 14. Resultados de la prueba de Tukey para la comparación de medias de la interacción elemento-nivel para la variable diámetro de tallo en la zona norte.

ELEMENTO	NIVEL	MEDIA	$\alpha = 0.05$
Nitrógeno	Medio	2.09000	a
	Bajo	1.90778	a
	Alto	1.75778	a b
	Ausencia	1.46667	b
Fósforo	Alto	2.05333	a
	Bajo	2.02222	a
	Ausencia	1.91333	a
	Medio	1.86889	a
Potasio	Alto	2.15556	a
	Bajo	2.14222	a
	Medio	2.06556	a
	Ausencia	1.92333	a
Fierro	Medio	2.20889	a
	Bajo	2.02222	a
	Alto	1.93333	a
	Ausencia	1.91444	a
Cobre	Medio	2.05778	a
	Alto	2.02222	a
	Bajo	1.92222	a
	Ausencia	1.89778	a
Manganeso	Alto	2.52222	a
	Ausencia	2.21222	a b
	Medio	1.87333	b c
	Bajo	1.77111	c
Zinc	Ausencia	2.13889	a
	Alto	2.07556	a
	Medio	1.95444	a
	Bajo	1.90778	a

Tukey = 0.3999418

Cuadro 15. Resultados de la prueba de Tukey para la comparación de medias de la interacción elemento-nivel para la variable altura de planta en la zona norte.

ELEMENTO	NIVEL	MEDIA	$\alpha = 0.05$
Nitrógeno	Medio	30.37667	a
	Bajo	28.67889	a
	Alto	24.46000	a b
	Ausencia	17.85000	b
Fósforo	Alto	31.07444	a
	Medio	29.10778	a
	Bajo	27.82333	a
	Ausencia	26.53111	a
Potasio	Medio	32.04444	a
	Bajo	30.92778	a
	Alto	29.55556	a
	Ausencia	28.44667	a
Hierro	Medio	31.54444	a
	Bajo	28.09000	a
	Alto	27.05667	a
	Ausencia	25.24333	a
Cobre	Medio	33.38222	a
	Alto	28.36667	a b
	Ausencia	27.16556	a b
	Bajo	25.65000	b
Manganeso	Alto	34.32667	a
	Ausencia	31.66000	a b
	Bajo	26.09333	b
	Medio	25.43000	b
Zinc	Alto	30.35556	a
	Ausencia	27.71778	a
	Medio	27.21111	a
	Bajo	25.17667	a

Tukey = 6.7547622

Cuadro 16. Resultados de la prueba de Tukey para la comparación de medias del factor suelo para la variable diámetro de tallo en la zona norte.

SUELO	MEDIA	$\alpha = 0.05$
Rice	2.40595	a
Medio	2.09595	b
Pobre	1.45000	c

Tukey = 0.1194168

Cuadro 17. Resultados de la prueba de Tukey para la comparación de medias del factor elemento para la variable materia verde en la zona norte.

ELEMENTO	MEDIA	$\alpha = 0.05$
Potasio	4.66389	a
Cobre	4.49167	a
Fierro	4.39722	a
Manganeso	4.33611	a
Zinc	3.96389	a b
Fósforo	3.96111	a b
Nitrógeno	3.05278	b

Tukey = 1.0648056

Cuadro 18. Resultados de la prueba de Tukey para la comparación de -  
medias de la interacción suelo-elemento para la variable -  
altura de planta de la zona norte.

SUELO	ELEMENTO	MEDIA	$\alpha = 0.05$					
Rico	Cobre	37.54250	a					
Rico	Manganeso	36.64667	a	b				
Rico	Potasio	36.09417	a	b				
Medio	Potasio	36.07017	a	b				
Rico	Fósforo	36.06250	a	b				
Rico	Fierro	35.05917	a	b	c			
Medio	Zinc	33.63000	a	b	c			
Medio	Manganeso	33.41500	a	b	c			
Medio	Cobre	31.53333	a	b	c			
Rico	Zinc	31.23417	a	b	c			
Medio	Fierro	30.91500	a	b	c			
Medio	Fósforo	30.26750	a	b	c			
Medio	Nitrógeno	29.04000		b	c			
Rico	Nitrógeno	27.39000			c	d		
Pobre	Nitrógeno	19.59417				d	e	
Pobre	Fósforo	19.57250				d	e	
Pobre	Potasio	18.55750					e	
Pobre	Manganeso	18.07083					e	
Pobre	Zinc	17.98167					e	
Pobre	Fierro	17.97667					e	
Pobre	Cobre	16.84750					e	

Tukey = 8.0476957

Cuadro 19. Resumen de la prueba de Tukey para la comparación de medias de la interacción suelo-nivel para la variable materia verde en la zona norte.

SUELO	NIVEL	MEDIA	$\alpha = 0.05$			
Rico	Alto	7.33333	a			
Rico	Medio	6.47619	a	b		
Medio	Medio	5.84286	a	b		
Rico	Bajo	5.61905	a	b		
Rico	Ausencia	5.38571		b	c	
Medio	Alto	5.28095		b	c	
Medio	Bajo	3.88571			c	
Medio	Ausencia	3.70000			c	
Pobre	Alto	1.58571				d
Pobre	Medio	1.49524				d
Pobre	Bajo	1.49524				d
Pobre	Ausencia	1.38571				d

Tukey = 1.7156009

Cuadro 20. Resumen de la prueba de Tukey para la comparación de medias de la interacción suelo-nivel para la variable materia seca en la zona norte.

SUELO	NIVEL	MEDIA	$\alpha = 0.05$				
Rico	Alto	1.46000	a				
Rico	Medio	1.27667	a	b			
Rico	Bajo	1.04524		b	c		
Rico	Ausencia	1.01381		b	c		
Medio	Medio	0.97381		b	c		
Medio	Alto	0.81381			c	d	
Medio	Ausencia	0.62286				d	e
Medio	Bajo	0.61048				d	e
Pobre	Alto	0.34762					e
Pobre	Bajo	0.33905					e
Pobre	Medio	0.33429					e
Pobre	Ausencia	0.32286					e

Tukey = 0.346266

Cuadro 21. Resumen de las variables que resultaron significativas, en el análisis de regresión múltiple por el procedimiento stepwise, en el suelo pobre de la zona norte.

ELEMENTO	R <sup>2</sup>	BETA	F cal	SIGNIFICANCIA
Diámetro de tallo				
		1.482810		
Fe	0.10137	-0.00139488		
Cu	0.12828	-0.02919057		
Zn	0.21325	-0.01491959		
Mn	0.24398	0.00463917	2.945	+
Materia verde				
		1.477421		
Fe	0.16754	-0.00863847		
Mn	0.22468	0.00527140		
N	0.23207	0.00316613		
P	0.23643	-0.00113295	2.864	+

+ = Significativo

Cuadro 22. Resumen de las variables que resultaron significativas, en el análisis de regresión múltiple por el procedimiento stepwise, en el suelo medio de la zona norte.

ELEMENTO	R <sup>2</sup>	BETA	F cal	SIGNIFICANCIA
Altura de planta				
		25.91851		
N	0.45816	0.10232970		
K	0.48375	-0.08458406		
P	0.50230	0.03393336		
Mn	0.50816	0.05648967		
Cu	0.51452	0.29411800		
Fe	0.51642	0.00712950	6.229	+ +

+ + = Altamente significativo



Cuadro 23. Resumen de las variables que resultaron significativas, en el análisis de regresión múltiple por el procedimiento stepwise, en el suelo rico de la zona norte.

ELEMENTO	R <sup>2</sup>	BETA	F cal	SIGNIFICANCIA
Diámetro de tallo				
		1.882217		
K	0.50563	0.00377791		
Fe	0.52589	0.00128194		
N	0.52647	0.00111626		
Mn	0.52681	-0.00094449	10.298	+ +
Altura de planta				
		27.68101		
N	0.39254	0.07191091		
Zn	0.39417	0.04014976		
Cu	0.39487	0.10756520		
Mn	0.39563	-0.02317999		
P	0.39594	0.00565277	4.719	+ +
Materia verde				
		3.624628		
Fe	0.51975	0.00778666		
N	0.53614	0.01949030		
Mn	0.53849	-0.01618962		
K	0.54121	0.00859844		
Cu	0.54152	0.02660789		
Zn	0.54167	-0.00549956	6.849	+ +
Materia seca				
		0.7540239		
Fe	0.52283	0.00227704		
K	0.52664	0.00176301		
Mn	0.53107	-0.00409297		
Cu	0.53431	0.01238050		
N	0.53525	0.00150396		
P	0.53623	-0.00066051	6.745	+ +

+ + = Altamente significativo

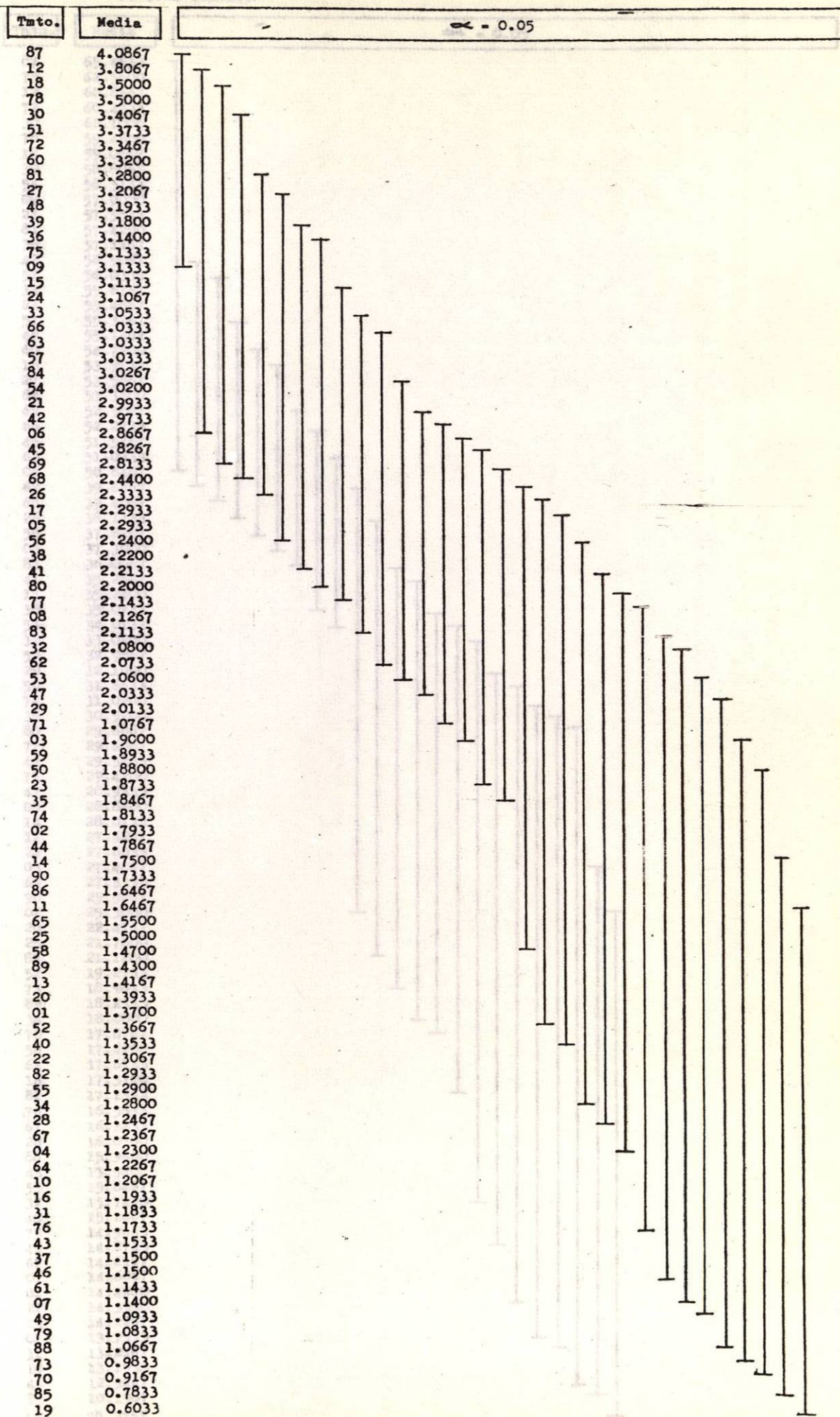
Cuadro 24. Resumen de los resultados de los análisis de varianza efectuados para las variables estudiadas en la zona centro, sin considerar el arreglo factorial de los tratamientos.

VARIABLE	TRATAMIENTOS	ERROR	MEDIA GENERAL	% C.V.
Diámetro de tallo	193.319 ++	13.460	2.09	13.103
Altura de planta	78,481.105 ++	4,283.331	33.74	14.457
Materia verde	11,017.239 ++	1,002.033	6.47	36.467
Materia seca	506.673 ++	46.590	1.35	37.697

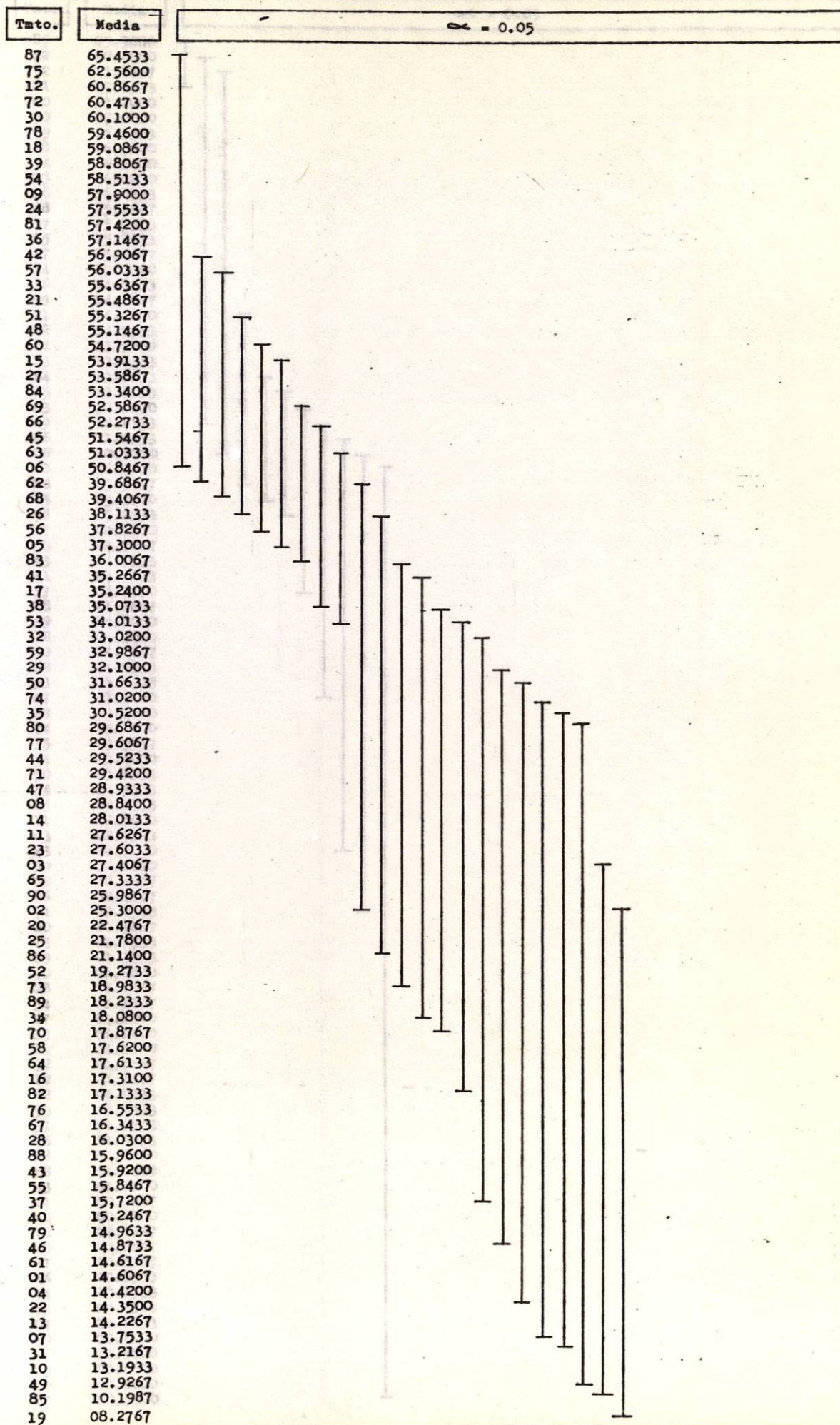
++ = Altamente significativo

C.V. = Coeficiente de variación

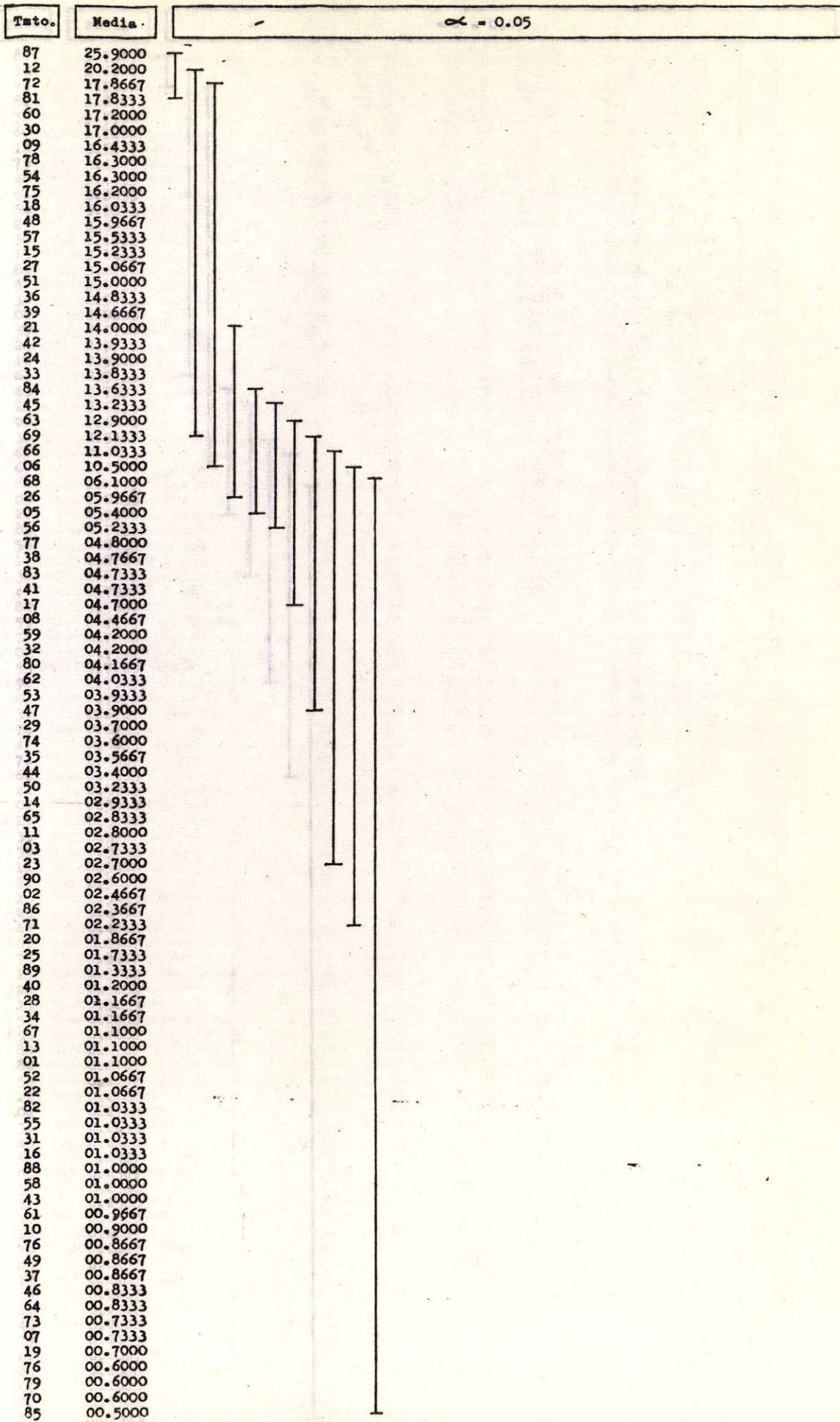
Cuadro 25. Resultados de la prueba de Tukey de la comparación de medias de los tratamientos sin considerar el arreglo factorial, para la variable diámetro de tallo, de la zona centro.



Cuadro 26. Resultados de la prueba de Tukey de la comparación de medias de los tratamientos sin considerar el arreglo factorial, para la variable altura de planta, de la zona centro.



tos sin considerar el arreglo factorial, para la variable materia verde, de la zona centro.



Cuadro 20. Resultados de la prueba de F de la comparación de medias de los tratamientos sin considerar el arreglo factorial, para la variable materia seca, de la zona centro.

Tmto.	Media				$\alpha = 0.05$			
87	5.7367							
12	4.6200							
72	4.1900							
81	3.8567							
78	3.7700							
60	3.7600							
18	3.5167							
75	3.4133							
48	3.4033							
51	3.3433							
54	3.3333							
27	3.3033							
30	3.1633							
15	3.1433							
84	3.0767							
36	3.0733							
36	2.9933							
09	2.9800							
39	2.9700							
24	2.9533							
42	2.9500							
63	2.9133							
45	2.7333							
21	2.6233							
06	2.6000							
33	2.5167							
66	2.4233							
69	2.4200							
68	1.0767							
05	1.0133							
26	0.9900							
83	0.9033							
56	0.8733							
17	0.8700							
38	0.8267							
41	0.7900							
80	0.7567							
59	0.7567							
77	0.7400							
08	0.7367							
53	0.7200							
90	0.7167							
03	0.7033							
32	0.6767							
74	0.6733							
47	0.6633							
71	0.6567							
62	0.6333							
44	0.5933							
02	0.5900							
29	0.5867							
35	0.5767							
50	0.5633							
11	0.5400							
86	0.5067							
14	0.5033							
23	0.4900							
65	0.4833							
89	0.3967							
73	0.3967							
25	0.3767							
20	0.3200							
13	0.3033							
52	0.2900							
55	0.2800							
88	0.2767							
82	0.2767							
58	0.2767							
22	0.2700							
04	0.2700							
34	0.2633							
40	0.2600							
67	0.2567							
01	0.2567							
37	0.2500							
31	0.2500							
10	0.2500							
28	0.2467							
76	0.2467							
43	0.2467							
70	0.2267							
49	0.2267							
16	0.2267							
46	0.2200							
79	0.2133							
61	0.2067							
85	0.2000							
64	0.2000							
07	0.1700							
19	0.1533							

Cuadro 29. Cantidades en ppm de elementos aplicados para los tratamientos de la Zona Centro.

No.	TRATAMIENTO	N	P	K	Fe	Cu	Mn	Zn
01	Nitrógeno ausencia pobre	-	19.88	29.72	126.0	1.88	27.32	13.58
02	Nitrógeno ausencia medio	-	19.88	29.72	126.0	1.88	27.32	13.58
03	Nitrógeno ausencia rico	-	19.88	29.72	126.0	1.88	27.32	13.58
04	Nitrógeno bajo pobre	25	19.88	29.72	126.0	1.88	27.32	13.58
05	Nitrógeno bajo medio	25	19.88	29.72	126.0	1.88	27.32	13.58
06	Nitrógeno bajo rico	25	19.88	29.72	126.0	1.88	27.32	13.58
07	Nitrógeno medio pobre	50	19.88	29.72	126.0	1.88	27.32	13.58
08	Nitrógeno medio medio	50	19.88	29.72	126.0	1.88	27.32	13.58
09	Nitrógeno medio rico	50	19.88	29.72	126.0	1.88	27.32	13.58
10	Nitrógeno alto pobre	75	19.88	29.72	126.0	1.88	27.32	13.58
11	Nitrógeno alto medio	75	19.88	29.72	126.0	1.88	27.32	13.58
12	Nitrógeno alto rico	75	19.88	29.72	126.0	1.88	27.32	13.58
13	Fósforo ausencia pobre	50	-	29.72	126.0	1.88	27.32	13.58
14	Fósforo ausencia medio	50	-	29.72	126.0	1.88	27.32	13.58
15	Fósforo ausencia rico	50	-	29.72	126.0	1.88	27.32	13.58
16	Fósforo bajo pobre	50	-	29.72	126.0	1.88	27.32	13.58
17	Fósforo bajo medio	50	-	29.72	126.0	1.88	27.32	13.58
18	Fósforo bajo rico	50	-	29.72	126.0	1.88	27.32	13.58
19	Fósforo medio pobre	50	19.88	29.72	126.0	1.88	27.32	13.58
20	Fósforo medio medio	50	19.88	29.72	126.0	1.88	27.32	13.58
21	Fósforo medio rico	50	19.88	29.72	126.0	1.88	27.32	13.58
22	Fósforo alto pobre	50	109.88	29.72	126.0	1.88	27.32	13.58
23	Fósforo alto medio	50	109.88	29.72	126.0	1.88	27.32	13.58
24	Fósforo alto rico	50	109.88	29.72	126.0	1.88	27.32	13.58
25	Potasio ausencia pobre	50	19.88	-	126.0	1.88	27.32	13.58
26	Potasio ausencia medio	50	19.88	-	126.0	1.88	27.32	13.58
27	Potasio ausencia rico	50	19.88	-	126.0	1.88	27.32	13.58
28	Potasio bajo pobre	50	19.88	-	126.0	1.88	27.32	13.58
29	Potasio bajo medio	50	19.88	-	126.0	1.88	27.32	13.58
30	Potasio bajo rico	50	19.88	-	126.0	1.88	27.32	13.58
31	Potasio medio pobre	50	19.88	29.72	126.0	1.88	27.32	13.58
32	Potasio medio medio	50	19.88	29.72	126.0	1.88	27.32	13.58
33	Potasio medio rico	50	19.88	29.72	126.0	1.88	27.32	13.58
34	Potasio alto pobre	50	19.88	88.37	126.0	1.88	27.32	13.58
35	Potasio alto medio	50	19.88	88.37	126.0	1.88	27.32	13.58
36	Potasio alto rico	50	19.88	88.37	126.0	1.88	27.32	13.58
37	Fierro ausencia pobre	50	19.88	29.72	-	1.88	27.32	13.58
38	Fierro ausencia medio	50	19.88	29.72	-	1.88	27.32	13.58
39	Fierro ausencia rico	50	19.88	29.72	-	1.88	27.32	13.58
40	Fierro bajo pobre	50	19.88	29.72	31.5	1.88	27.32	13.58
41	Fierro bajo medio	50	19.88	29.72	31.5	1.88	27.32	13.58
42	Fierro bajo rico	50	19.88	29.72	31.5	1.88	27.32	13.58
43	Fierro medio pobre	50	19.88	29.72	126.0	1.88	27.32	13.58
44	Fierro medio medio	50	19.88	29.72	126.0	1.88	27.32	13.58
45	Fierro medio rico	50	19.88	29.72	126.0	1.88	27.32	13.58
46	Fierro alto pobre	50	19.88	29.72	283.5	1.88	27.32	13.58
47	Fierro alto medio	50	19.88	29.72	283.5	1.88	27.32	13.58
48	Fierro alto rico	50	19.88	29.72	283.5	1.88	27.32	13.58
49	Cobre ausencia pobre	50	19.88	29.72	126.0	-	27.32	13.58
50	Cobre ausencia medio	50	19.88	29.72	126.0	-	27.32	13.58
51	Cobre ausencia rico	50	19.88	29.72	126.0	-	27.32	13.58
52	Cobre bajo pobre	50	19.88	29.72	126.0	-	27.32	13.58
53	Cobre bajo medio	50	19.88	29.72	126.0	-	27.32	13.58
54	Cobre bajo rico	50	19.88	29.72	126.0	-	27.32	13.58
55	Cobre medio pobre	50	19.88	29.72	126.0	1.88	27.32	13.58
56	Cobre medio medio	50	19.88	29.72	126.0	1.88	27.32	13.58
57	Cobre medio rico	50	19.88	29.72	126.0	1.88	27.32	13.58
58	Cobre alto pobre	50	19.88	29.72	126.0	9.38	27.32	13.58
59	Cobre alto medio	50	19.88	29.72	126.0	9.38	27.32	13.58
60	Cobre alto rico	50	19.88	29.72	126.0	9.38	27.32	13.58
61	Manganeso ausencia pobre	50	19.88	29.72	126.0	1.88	-	13.58
62	Manganeso ausencia medio	50	19.88	29.72	126.0	1.88	-	13.58
63	Manganeso ausencia rico	50	19.88	29.72	126.0	1.88	-	13.58
64	Manganeso bajo pobre	50	19.88	29.72	126.0	1.88	4.82	13.58
65	Manganeso bajo medio	50	19.88	29.72	126.0	1.88	4.82	13.58
66	Manganeso bajo rico	50	19.88	29.72	126.0	1.88	4.82	13.58
67	Manganeso medio pobre	50	19.88	29.72	126.0	1.88	27.32	13.58
68	Manganeso medio medio	50	19.88	29.72	126.0	1.88	27.32	13.58
69	Manganeso medio rico	50	19.88	29.72	126.0	1.88	27.32	13.58
70	Manganeso alto pobre	50	19.88	29.72	126.0	1.88	64.82	13.58
71	Manganeso alto medio	50	19.88	29.72	126.0	1.88	64.82	13.58
72	Manganeso alto rico	50	19.88	29.72	126.0	1.88	64.82	13.58
73	Zinc ausencia pobre	50	19.88	29.72	126.0	1.88	27.32	-
74	Zinc ausencia medio	50	19.88	29.72	126.0	1.88	27.32	-
75	Zinc ausencia rico	50	19.88	29.72	126.0	1.88	27.32	-
76	Zinc bajo pobre	50	19.88	29.72	126.0	1.88	27.32	0.08
77	Zinc bajo medio	50	19.88	29.72	126.0	1.88	27.32	0.08
78	Zinc bajo rico	50	19.88	29.72	126.0	1.88	27.32	0.08
79	Zinc medio pobre	50	19.88	29.72	126.0	1.88	27.32	13.58
80	Zinc medio medio	50	19.88	29.72	126.0	1.88	27.32	13.58
81	Zinc medio rico	50	19.88	29.72	126.0	1.88	27.32	13.58
82	Zinc alto pobre	50	19.88	29.72	126.0	1.88	27.32	36.08
83	Zinc alto medio	50	19.88	29.72	126.0	1.88	27.32	36.08
84	Zinc alto rico	50	19.88	29.72	126.0	1.88	27.32	36.08
85	Optimo pobre	150	216.00	140.76	378.0	18.00	90.00	54.00
86	Optimo medio	150	216.00	140.76	378.0	18.00	90.00	54.00
87	Optimo rico	150	216.00	140.76	378.0	18.00	90.00	54.00
88	Testigo pobre	-	-	-	-	-	-	-
89	Testigo medio	-	-	-	-	-	-	-
90	Testigo rico	-	-	-	-	-	-	-

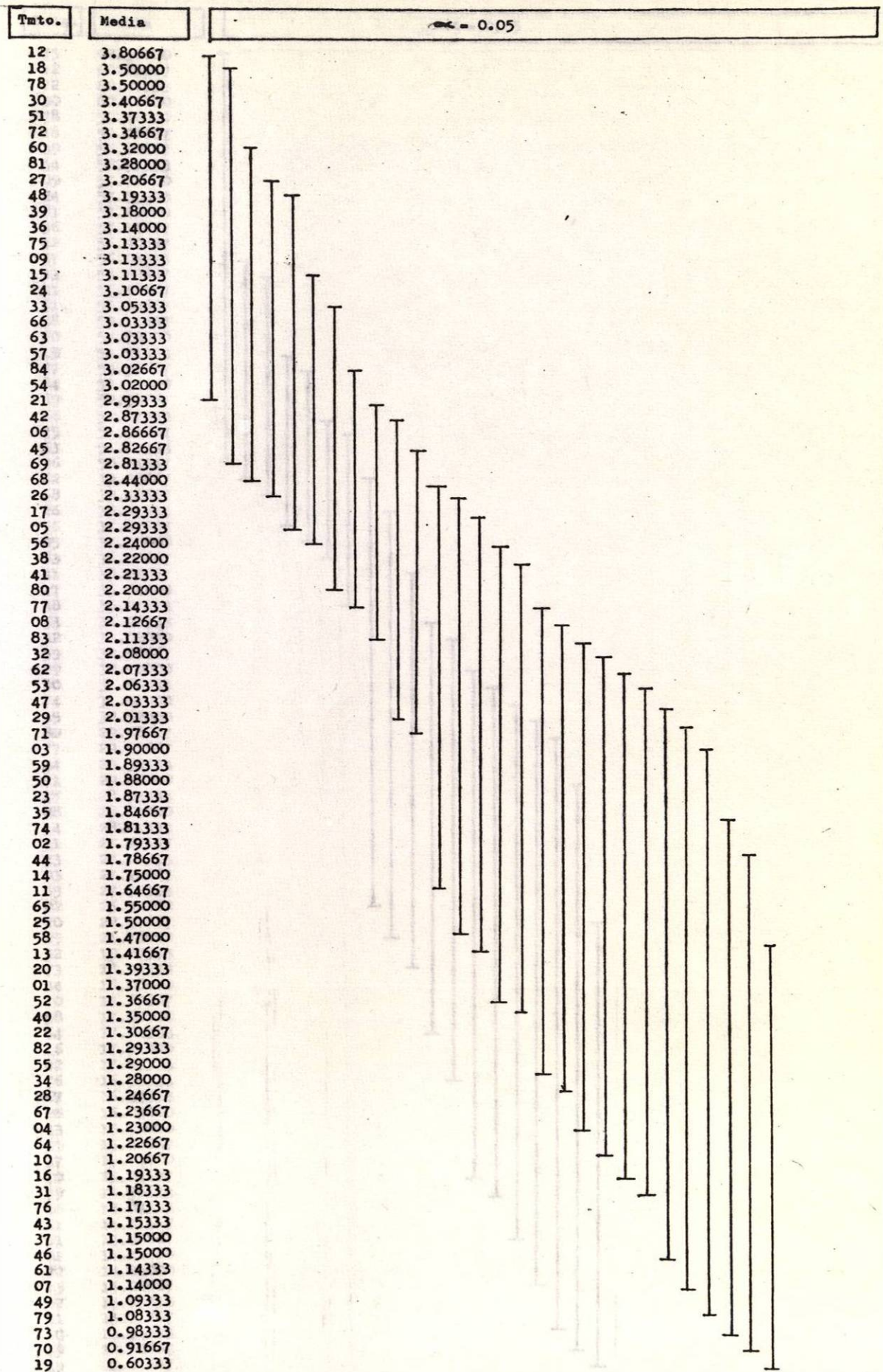
Cuadro 30. Resumen de los resultados de los análisis de varianza efectuados para las variables estudiadas en la zona centro, considerando el arreglo factorial de los tratamientos, donde se muestran la suma de cuadrados del error y la suma de cuadrados de los efectos factoriales y su significancia.

VARIABLE	E	N	S	E-N	E-S	N-S	E-N-S	ERROR
Díámetro de tallo	0.800 N.S.	0.594 +	154.454 ++	4.523 ++	1.127 N.S.	1.204 ++	8.035 ++	11.108
Altura de planta	678.446 ++	154.199 N.S.	66,110.423 ++	1,463.523 ++	428.699 N.S.	377.597 +	2,186.716 ++	3,871.924
Materia verde	52.826 N.S.	25.870 N.S.	8,608.161 ++	220.943 ++	86.181 N.S.	87.693 ++	430.669 ++	775.000
Materia seca	2.362 N.S.	2.101 +	393.082 ++	10.250 ++	3.254 N.S.	5.219 ++	19.188 ++	35.915

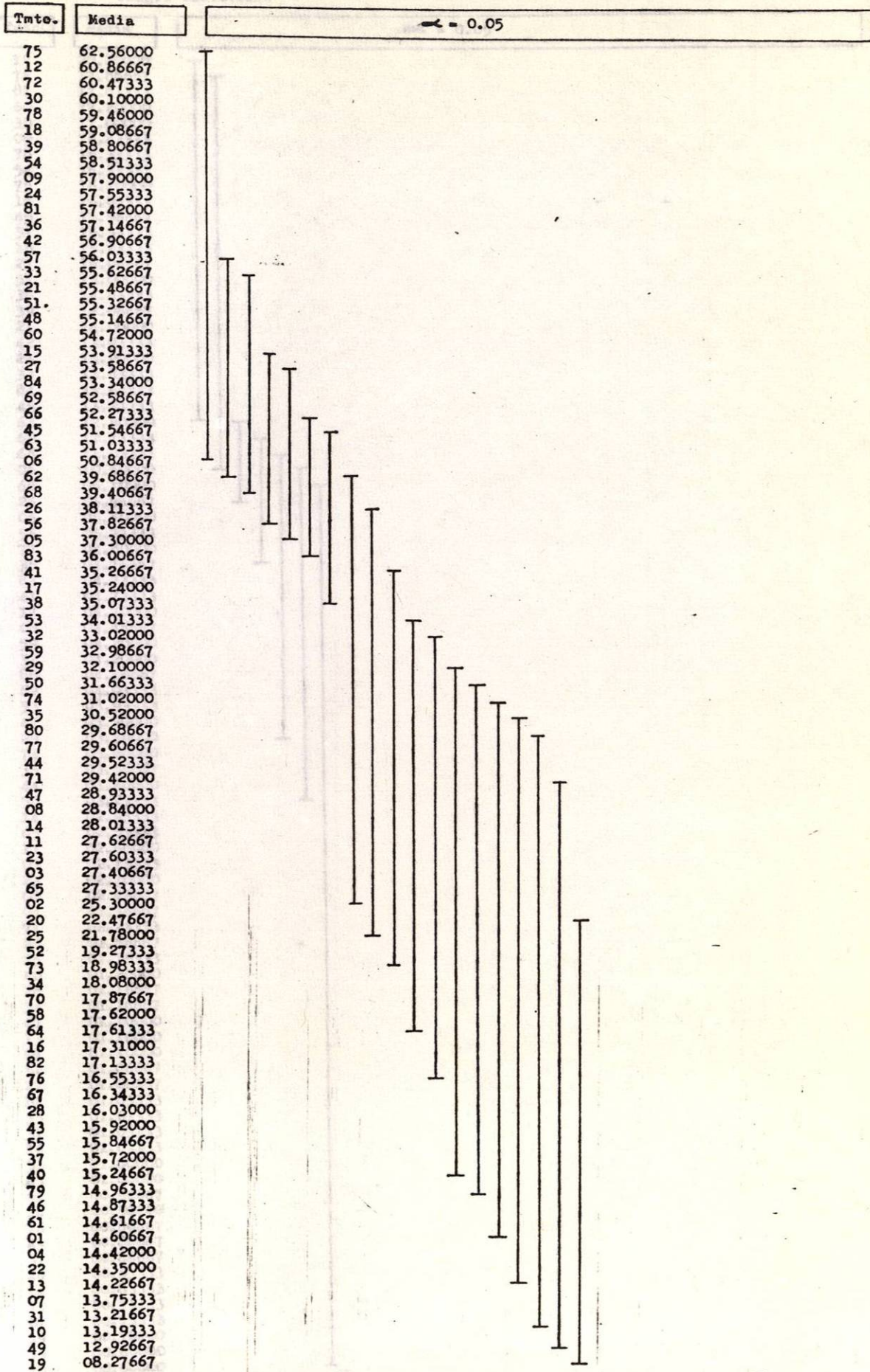
++ = Altamente significativo      + = Significativo      N.S. = No significativo  
 N = Nivel      E-N = Interacción elemento-nivel      E-N-S = Interacción elemen-  
 E = Enebe      E-S = Interacción elemento-suelo      to-nivel-suelo  
 E = Elemento      N-S = Interacción nivel-suelo



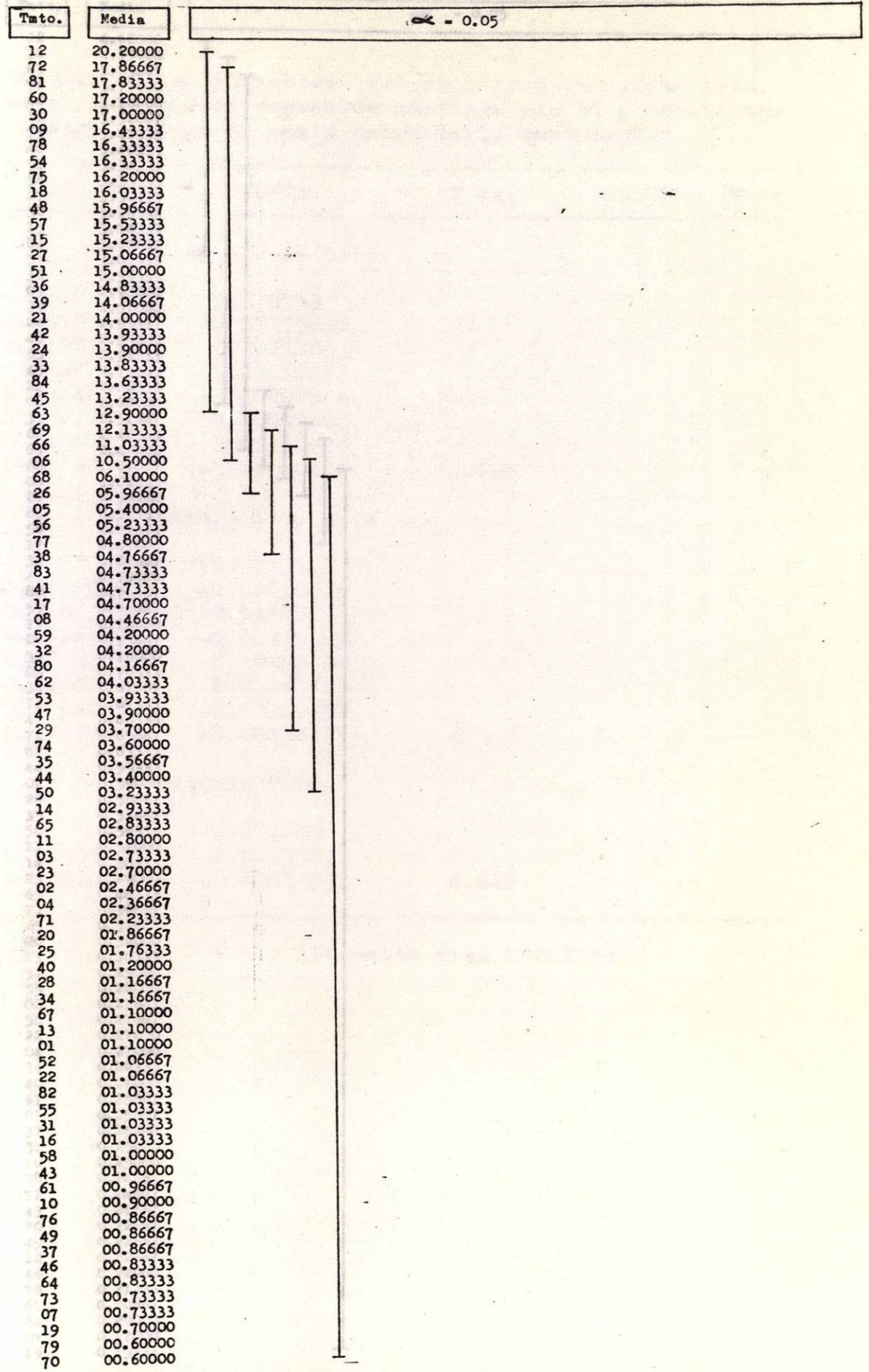
Cuadro 31. Resultados de la prueba de Tukey para la comparación de medias de la interacción elemento-nivel-suelo de la zona centro, para la variable diámetro de tallo, en el arreglo factorial



Cuadro 32. Resultados de la prueba de Tukey para la comparación de medias de la interacción elemento-nivel-suelo de la zona centro, para la variable altura de planta, en el arreglo factorial.



Cuadro 33. Resultados de la prueba de Tukey para la comparación de medias de la interacción elemento-nivel-guelo de la zona centro, para la variable materia verde, en el arreglo factorial.

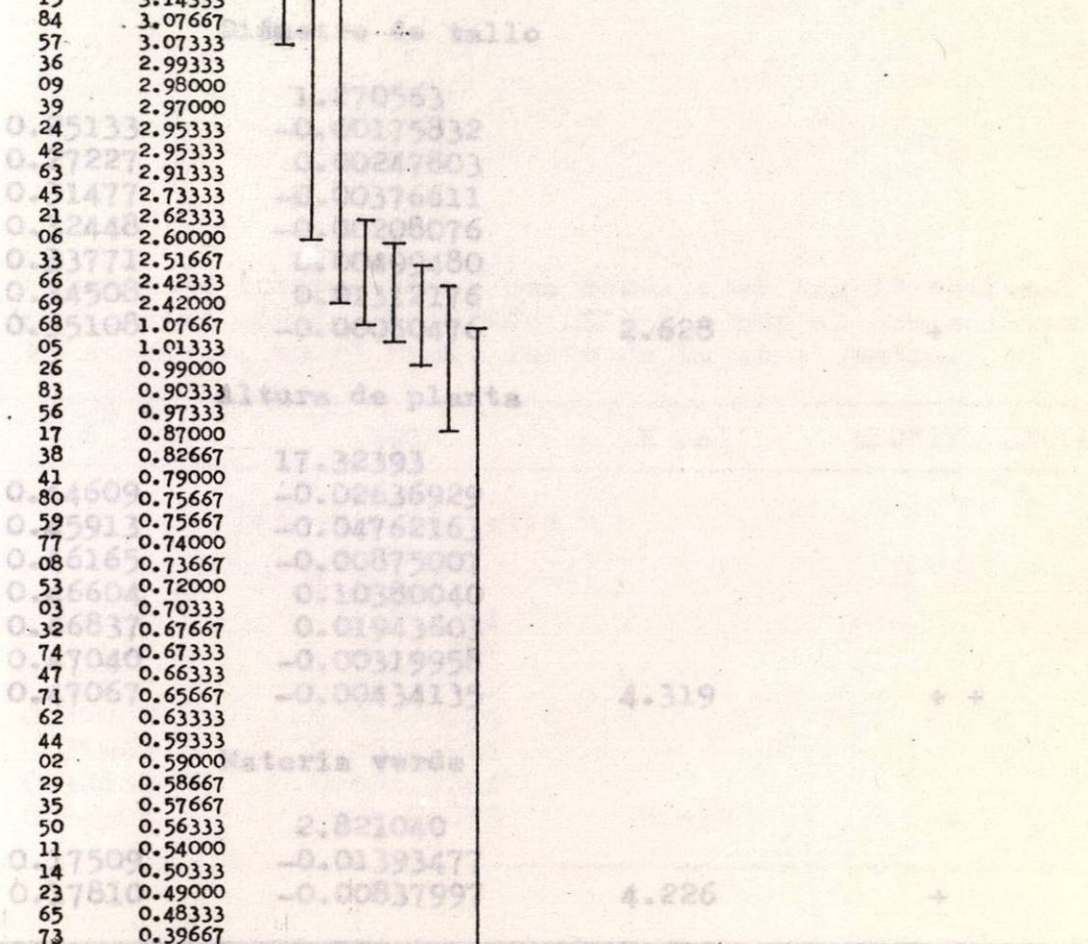


Cuadro 34. Resultados de la prueba de Tukey para la comparación de medias de la interacción elemento-nivel-suelo de la zona centro, para la variable materia seca, en el arreglo factorial.

Tmto.	Media	$\alpha = 0.05$
12	4.62000	
72	4.19000	
81	3.85667	
78	3.77000	
60	3.76000	
18	3.51667	
75	3.41333	
48	3.40333	
51	3.34333	
54	3.33333	
27	3.30333	
30	3.16333	
15	3.14333	
84	3.07667	
57	3.07333	
36	2.99333	
09	2.98000	
39	2.97000	
24	2.95333	
42	2.95333	
63	2.91333	
45	2.73333	
21	2.62333	
06	2.60000	
33	2.51667	
66	2.42333	
69	2.42000	
68	1.07667	
05	1.01333	
26	0.99000	
83	0.90333	
56	0.97333	
17	0.87000	
38	0.82667	
41	0.79000	
80	0.75667	
59	0.75667	
77	0.74000	
08	0.73667	
53	0.72000	
03	0.70333	
32	0.67667	
74	0.67333	
47	0.66333	
71	0.65667	
62	0.63333	
44	0.59333	
02	0.59000	
29	0.58667	
35	0.57667	
50	0.56333	
11	0.54000	
14	0.50333	
23	0.49000	
65	0.48333	
73	0.39667	
25	0.37667	
20	0.32000	
13	0.30333	
52	0.29000	
55	0.28000	
82	0.27667	
58	0.27667	
22	0.27000	
04	0.27000	
34	0.26333	
40	0.26000	
67	0.25667	
01	0.25667	
37	0.25000	
31	0.25000	
10	0.25000	
28	0.24667	
76	0.24667	
43	0.24667	
70	0.22667	
49	0.22667	
16	0.22667	
46	0.22000	
79	0.21333	
61	0.20667	
64	0.20000	
07	0.17000	
19	0.15333	

Resultados de la prueba de Tukey para la comparación de medias de la interacción elemento-nivel-suelo de la zona centro, para la variable materia seca, en el arreglo factorial.

F cal SIGNIFICANCIA



Altamente significativo

Cuadro 35. Resumen de las variables que resultaron significativas, en el análisis de regresión múltiple por el procedimiento stepwise, en el suelo pobre de la zona centro.

ELEMENTO	R <sup>2</sup>	BETA	F cal	SIGNIFICANCIA
Diámetro de tallo				
		1.270563		
Mn	0.25133	-0.00175832		
P	0.27227	0.00247803		
N	0.31477	-0.00376611		
K	0.32448	-0.00208076		
Zn	0.33771	0.00499480		
Cu	0.34508	0.01312176		
Fe	0.35108	-0.00050476	2.628	+
Altura de planta				
		17.32393		
K	0.44609	-0.02636929		
Zn	0.45913	-0.04762163		
P	0.46165	-0.00875007		
Cu	0.46604	0.10380040		
Mn	0.46837	0.01943603		
Fe	0.47040	-0.00319958		
N	0.47067	-0.00434135	4.319	++
Materia verde				
		2.821040		
N	0.17509	-0.01393477		
K	0.17810	-0.00837997	4.226	+

+ = Significativo

++ = Altamente significativo

Cuadro 36. Resumen de las variables que resultaron significativas, en el análisis de regresión múltiple por el procedimiento stepwise, en el suelo medio de la zona centro.

ELEMENTO	R <sup>2</sup>	BETA	F cal	SIGNIFICANCIA
Diámetro de tallo				
		1.807145		
Zn	0.06280	0.01250781		
K	0.06419	-0.00458777		
Cu	0.23878	0.07736775		
N	0.30008	-0.00478275		
Fe	0.31965	0.00121011		
P	0.32439	-0.00119764		
Mn	0.32502	0.00100219	2.339	+

+ = Significativo

Cuadro 37. Resumen de las variables que resultaron significativas, en el análisis de regresión múltiple por el procedimiento stepwise, en el suelo rico de la zona centro.

ELEMENTO	R <sup>2</sup>	BETA	F cal	SIGNIFICANCIA
Diámetro de tallo				
		2.342697		
Mn	0.61511	0.01148818		
Fe	0.63653	0.00217819		
N	0.64230	-0.00964783		
Cu	0.65521	0.03805956		
K	0.65850	0.00250125		
P	0.66067	0.00154217		
Zn	0.66143	0.00403537	9.489	++
Altura de planta				
		39.64021		
N	0.61167	0.36979410		
Zn	0.63271	-0.27757410		
Fe	0.63615	-0.01938663		
Mn	0.63974	0.10901130		
Cu	0.64209	-0.31708070		
K	0.64324	-0.03253248	10.518	++
Materia verde				
		8.970679		
N	0.19938	0.29926780		
P	0.32114	-0.25482620		
Mn	0.33663	0.14619540		
Fe	0.34061	0.01872962		
K	0.34345	0.02226700	3.051	+
Materia seca				
		1.343670		
N	0.88980	0.03876755		
Zn	0.89658	-0.02229531		
Mn	0.90340	0.01755374		
P	0.90778	-0.00421505		
K	0.90992	-0.00538073		
Fe	0.91009	0.00054399	59.048	++

+ = Significativo

++ = Altamente significativo

Cuadro 38. Resumen de los resultados de los análisis de varianza efectuados para las variables estudiadas en la zona sur, sin considerar el arreglo factorial de los tratamientos.

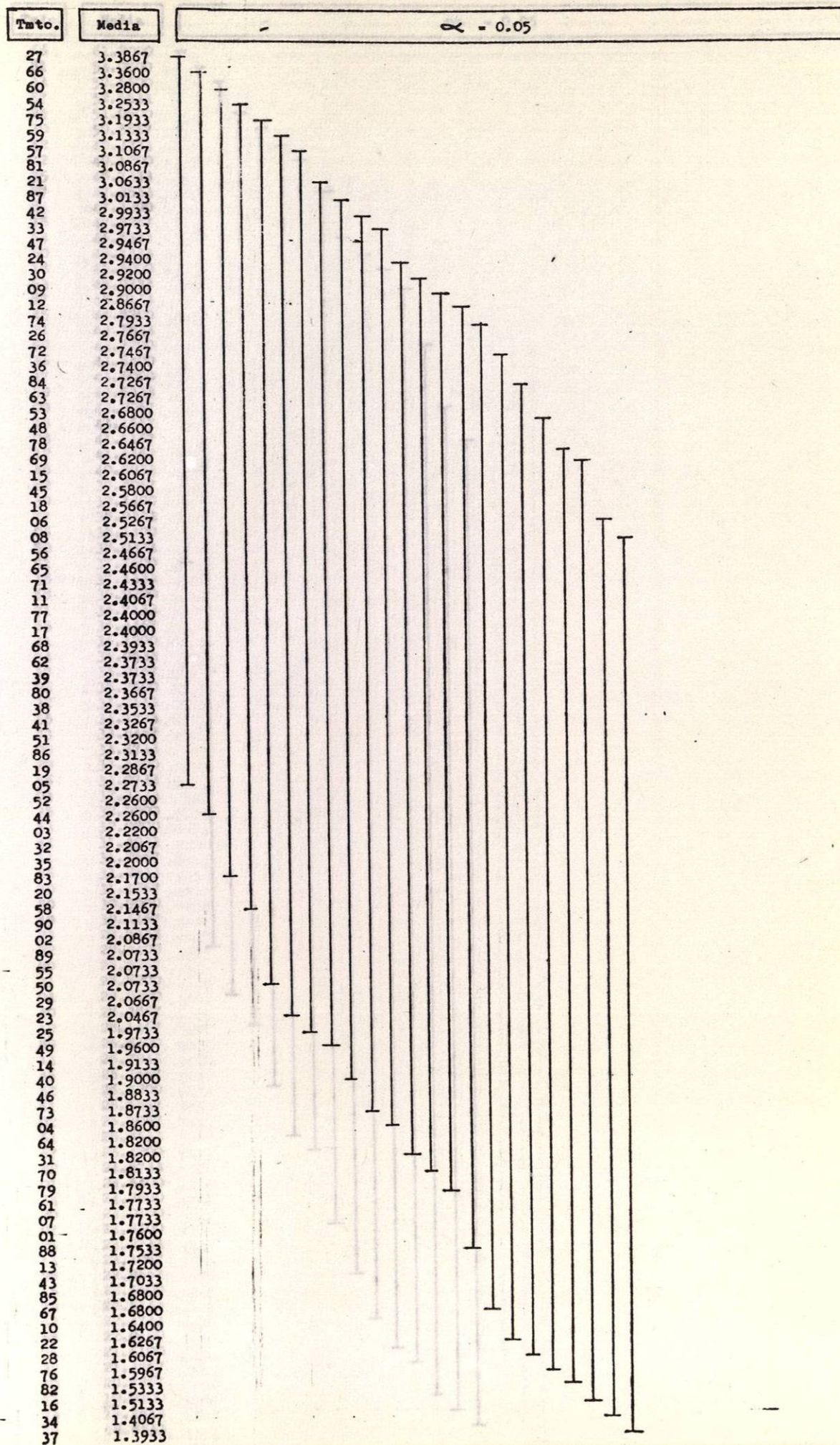
VARIABLE	TRATAMIENTOS	ERROR	MEDIA GENERAL	% C.V.
Diámetro de tallo	68.294 ++	17.950	2.32	11.630
Altura de planta	25,572.149 ++	8,171.190	34.84	19.338
Materia verde	2,824.961 ++	863.873	5.72	38.298
Materia seca	79.174 ++	18.708	1.04	31.008

++ = Altamente significativo

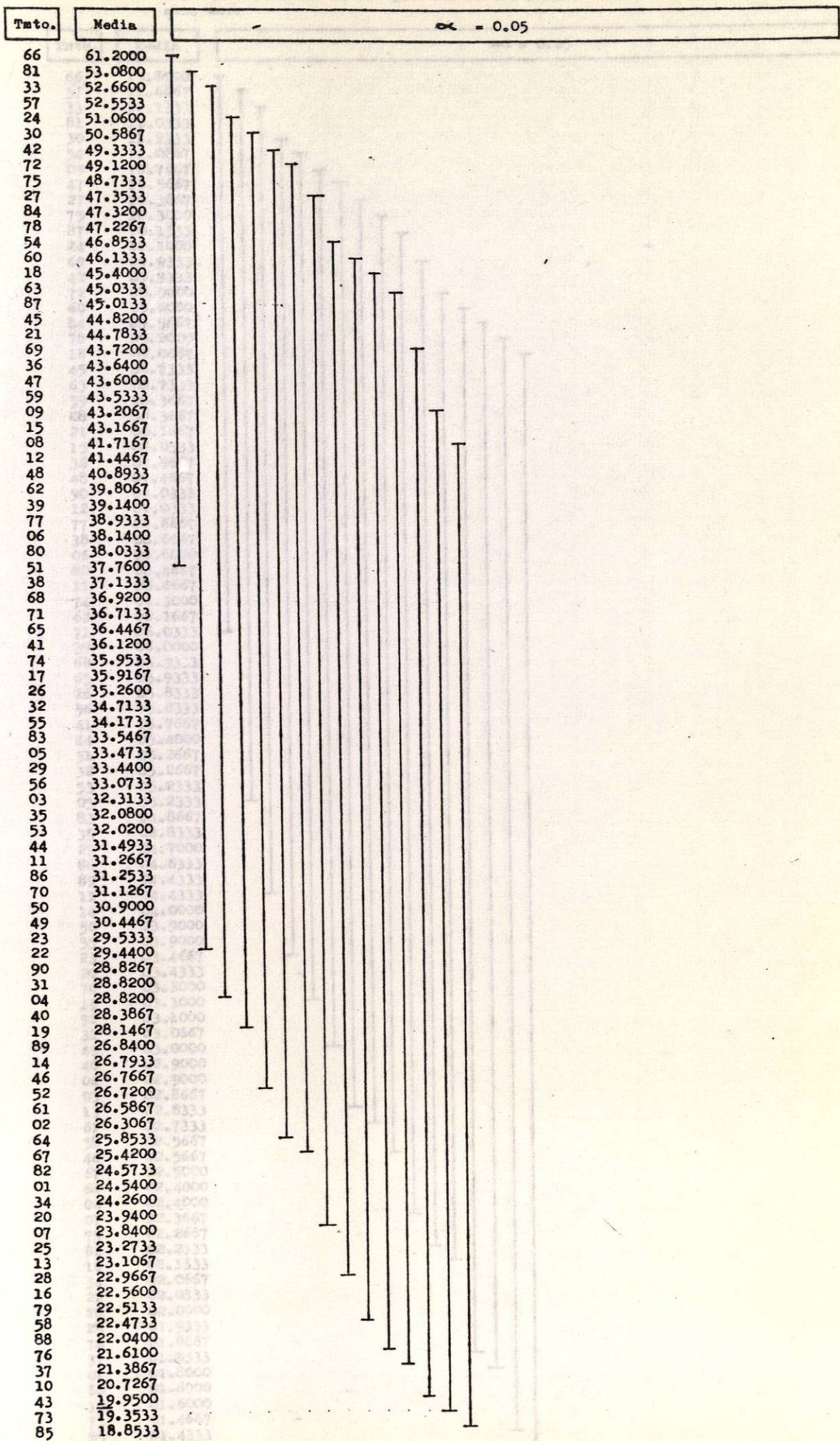
C.V. = Coeficiente de variación



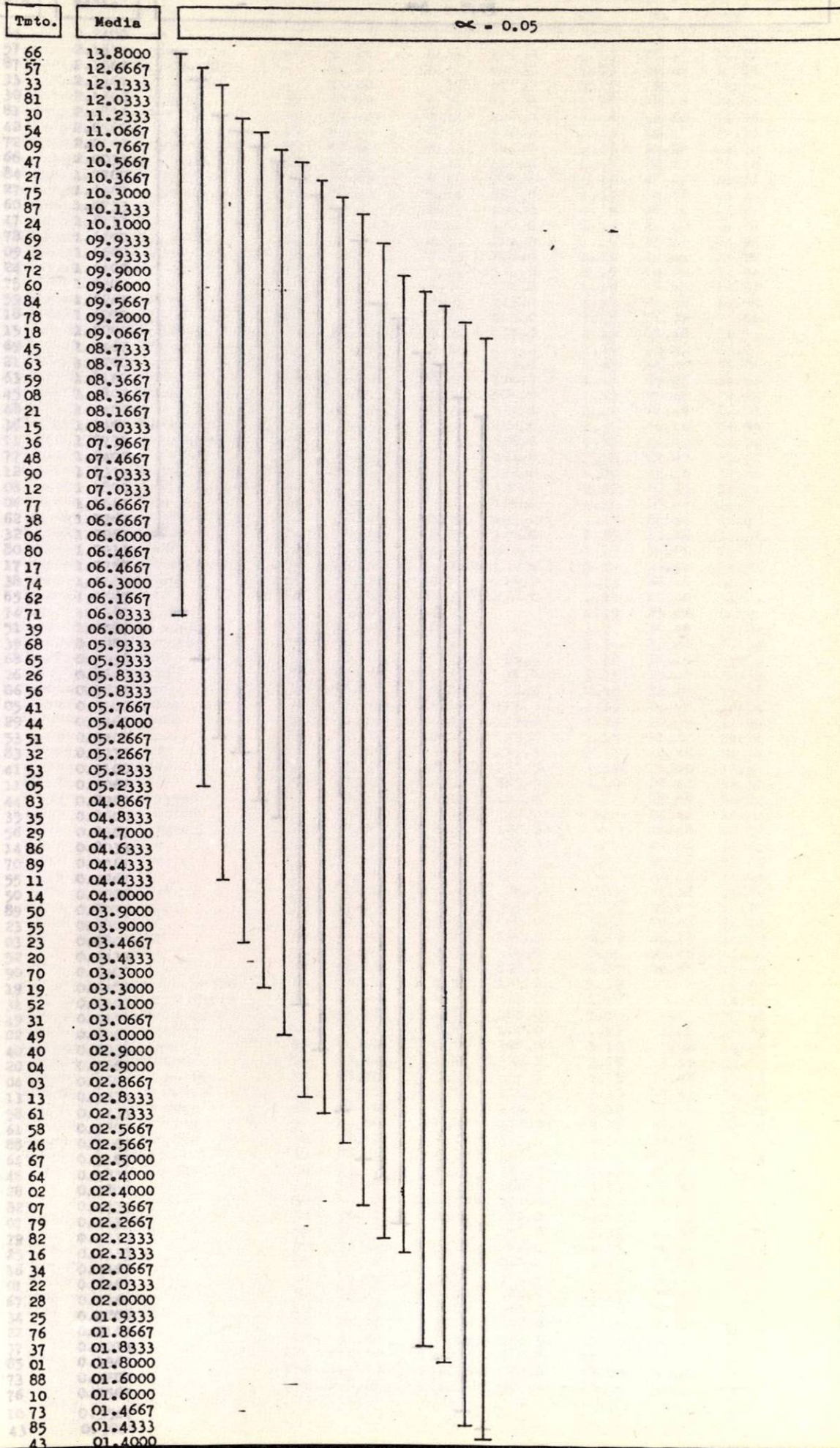
Cuadro 39. Resultados de la prueba de Tukey de la comparación de medias de los tratamientos sin considerar el arreglo factorial, para la variable diámetro de tallo, de la zona sur.



Cuadro 40. Resultados de la prueba de Tukey de la comparación de medias de los tratamientos sin considerar el arreglo factorial, para la variable altura de planta, de la zona sur.



Cuadro 41. Resultados de la prueba de Tukey de la comparación de medias de los tratamientos sin considerar el arreglo factorial, para la variable materia verde, de la zona sur.



Cuadro 42. Resultados de la prueba de Tukey de la comparación de medias de los tratamientos sin considerar el arreglo factorial, para la variable materia seca, de la zona sur.

Tmto.	Media	$\alpha = 0.05$			
54	2.2400	126.0	1.19	26.46	14.94
57	2.1633	126.0	1.19	26.46	14.94
87	2.1567	126.0	1.19	26.46	14.94
33	2.1367	126.0	1.19	26.46	14.94
30	2.1300	126.0	1.19	26.46	14.94
81	2.0833	126.0	1.19	26.46	14.94
42	2.0567	126.0	1.19	26.46	14.94
72	2.0167	126.0	1.19	26.46	14.94
66	2.0033	126.0	1.19	26.46	14.94
84	1.7700	126.0	1.19	26.46	14.94
27	1.7367	126.0	1.19	26.46	14.94
60	1.6733	126.0	1.19	26.46	14.94
47	1.6733	126.0	1.19	26.46	14.94
78	1.6600	126.0	1.19	26.46	14.94
09	1.6600	126.0	1.19	26.46	14.94
24	1.6400	126.0	1.19	26.46	14.94
75	1.6300	126.0	1.19	26.46	14.94
59	1.6267	126.0	1.19	26.46	14.94
18	1.6000	126.0	1.19	26.46	14.94
15	1.6000	126.0	1.19	26.46	14.94
69	1.5467	126.0	1.19	26.46	14.94
21	1.5200	126.0	1.19	26.46	14.94
63	1.5167	126.0	1.19	26.46	14.94
45	1.4867	126.0	1.19	26.46	14.94
48	1.4400	126.0	1.19	26.46	14.94
36	1.3667	126.0	1.19	26.46	14.94
71	1.2733	126.0	1.19	26.46	14.94
77	1.2400	126.0	1.19	26.46	14.94
12	1.2333	126.0	1.19	26.46	14.94
08	1.1800	126.0	1.19	26.46	14.94
06	1.1667	126.0	1.19	26.46	14.94
62	1.0967	126.0	1.19	26.46	14.94
32	1.0967	126.0	1.19	26.46	14.94
80	1.0933	126.0	1.19	26.46	14.94
17	1.0767	126.0	1.19	26.46	14.94
38	1.0600	126.0	1.19	26.46	14.94
65	1.0567	126.0	1.19	26.46	14.94
74	1.0567	126.0	1.19	26.46	14.94
51	1.0067	126.0	1.19	26.46	14.94
39	0.9967	126.0	1.19	26.46	14.94
68	0.9933	126.0	1.19	26.46	14.94
26	0.9667	126.0	1.19	26.46	14.94
86	0.9633	126.0	1.19	26.46	14.94
05	0.9500	126.0	1.19	26.46	14.94
29	0.9467	126.0	1.19	26.46	14.94
53	0.9400	126.0	1.19	26.46	14.94
83	0.9333	126.0	1.19	26.46	14.94
41	0.9100	126.0	1.19	26.46	14.94
11	0.9067	126.0	1.19	26.46	14.94
44	0.8967	126.0	1.19	26.46	14.94
35	0.8600	126.0	1.19	26.46	14.94
56	0.8367	126.0	1.19	26.46	14.94
14	0.8033	126.0	1.19	26.46	14.94
70	0.7467	126.0	1.19	26.46	14.94
55	0.7267	126.0	1.19	26.46	14.94
50	0.7000	126.0	1.19	26.46	14.94
89	0.8933	126.0	1.19	26.46	14.94
23	0.6800	126.0	1.19	26.46	14.94
03	0.6800	126.0	1.19	26.46	14.94
52	0.6433	126.0	1.19	26.46	14.94
90	0.6400	126.0	1.19	26.46	14.94
19	0.6400	126.0	1.19	26.46	14.94
31	0.6367	126.0	1.19	26.46	14.94
49	0.6133	126.0	1.19	26.46	14.94
02	0.6067	126.0	1.19	26.46	14.94
40	0.6033	126.0	1.19	26.46	14.94
20	0.5667	126.0	1.19	26.46	14.94
04	0.5667	126.0	1.19	26.46	14.94
13	0.5533	126.0	1.19	26.46	14.94
58	0.5433	126.0	1.19	26.46	14.94
61	0.5200	126.0	1.19	26.46	14.94
88	0.5167	126.0	1.19	26.46	14.94
64	0.5167	126.0	1.19	26.46	14.94
46	0.4833	126.0	1.19	26.46	14.94
28	0.4800	126.0	1.19	26.46	14.94
82	0.4733	126.0	1.19	26.46	14.94
07	0.4633	126.0	1.19	26.46	14.94
79	0.4533	126.0	1.19	26.46	14.94
25	0.4533	126.0	1.19	26.46	14.94
16	0.4467	126.0	1.19	26.46	14.94
01	0.4467	126.0	1.19	26.46	14.94
67	0.4367	126.0	1.19	26.46	14.94
34	0.4200	126.0	1.19	26.46	14.94
22	0.4167	126.0	1.19	26.46	14.94
37	0.4033	126.0	1.19	26.46	14.94
85	0.3967	126.0	1.19	26.46	14.94
73	0.3700	126.0	1.19	26.46	14.94
76	0.3567	126.0	1.19	26.46	14.94
10	0.3567	126.0	1.19	26.46	14.94
43	0.3000	126.0	1.19	26.46	14.94

Cuadro 43. Cantidades en ppm de elementos aplicados para los tratamientos de la Zona Sur.

No.	TRATAMIENTO	N	P	K	Fe	Cu	Mn	Zn
01	Nitrógeno ausencia pobre	-	58.40	8.14	126.0	1.19	26.46	14.94
02	Nitrógeno ausencia medio	-	58.40	8.14	126.0	1.19	26.46	14.94
03	Nitrógeno ausencia rico	-	58.40	8.14	126.0	1.19	26.46	14.94
04	Nitrógeno bajo pobre	25	58.40	8.14	126.0	1.19	26.46	14.94
05	Nitrógeno bajo medio	25	58.40	8.14	126.0	1.19	26.46	14.94
06	Nitrógeno bajo rico	25	58.40	8.14	126.0	1.19	26.46	14.94
07	Nitrógeno medio pobre	50	58.40	8.14	126.0	1.19	26.46	14.94
08	Nitrógeno medio medio	50	58.40	8.14	126.0	1.19	26.46	14.94
09	Nitrógeno medio rico	50	58.40	8.14	126.0	1.19	26.46	14.94
10	Nitrógeno alto pobre	75	58.40	8.14	126.0	1.19	26.46	14.94
11	Nitrógeno alto medio	75	58.40	8.14	126.0	1.19	26.46	14.94
12	Nitrógeno alto rico	75	58.40	8.14	126.0	1.19	26.46	14.94
13	Fósforo ausencia pobre	50	-	8.14	126.0	1.19	26.46	14.94
14	Fósforo ausencia medio	50	-	8.14	126.0	1.19	26.46	14.94
15	Fósforo ausencia rico	50	-	8.14	126.0	1.19	26.46	14.94
16	Fósforo bajo pobre	50	4.40	8.14	126.0	1.19	26.46	14.94
17	Fósforo bajo medio	50	4.40	8.14	126.0	1.19	26.46	14.94
18	Fósforo bajo rico	50	4.40	8.14	126.0	1.19	26.46	14.94
19	Fósforo medio pobre	50	58.40	8.14	126.0	1.19	26.46	14.94
20	Fósforo medio medio	50	58.40	8.14	126.0	1.19	26.46	14.94
21	Fósforo medio rico	50	58.40	8.14	126.0	1.19	26.46	14.94
22	Fósforo alto pobre	50	148.40	8.14	126.0	1.19	26.46	14.94
23	Fósforo alto medio	50	148.40	8.14	126.0	1.19	26.46	14.94
24	Fósforo alto rico	50	148.40	8.14	126.0	1.19	26.46	14.94
25	Potasio ausencia pobre	50	58.40	-	126.0	1.19	26.46	14.94
26	Potasio ausencia medio	50	58.40	-	126.0	1.19	26.46	14.94
27	Potasio ausencia rico	50	58.40	-	126.0	1.19	26.46	14.94
28	Potasio bajo pobre	50	58.40	-	126.0	1.19	26.46	14.94
29	Potasio bajo medio	50	58.40	-	126.0	1.19	26.46	14.94
30	Potasio bajo rico	50	58.40	-	126.0	1.19	26.46	14.94
31	Potasio medio pobre	50	58.40	8.14	126.0	1.19	26.46	14.94
32	Potasio medio medio	50	58.40	8.14	126.0	1.19	26.46	14.94
33	Potasio medio rico	50	58.40	8.14	126.0	1.19	26.46	14.94
34	Potasio alto pobre	50	58.40	66.79	126.0	1.19	26.46	14.94
35	Potasio alto medio	50	58.40	66.79	126.0	1.19	26.46	14.94
36	Potasio alto rico	50	58.40	66.79	126.0	1.19	26.46	14.94
37	Hierro ausencia pobre	50	58.40	8.14	-	1.19	26.46	14.94
38	Hierro ausencia medio	50	58.40	8.14	-	1.19	26.46	14.94
39	Hierro ausencia rico	50	58.40	8.14	-	1.19	26.46	14.94
40	Hierro bajo pobre	50	58.40	8.14	31.5	1.19	26.46	14.94
41	Hierro bajo medio	50	58.40	8.14	31.5	1.19	26.46	14.94
42	Hierro bajo rico	50	58.40	8.14	31.5	1.19	26.46	14.94
43	Hierro medio pobre	50	58.40	8.14	126.0	1.19	26.46	14.94
44	Hierro medio medio	50	58.40	8.14	126.0	1.19	26.46	14.94
45	Hierro medio rico	50	58.40	8.14	126.0	1.19	26.46	14.94
46	Hierro alto pobre	50	58.40	8.14	283.5	1.19	26.46	14.94
47	Hierro alto medio	50	58.40	8.14	283.5	1.19	26.46	14.94
48	Hierro alto rico	50	58.40	8.14	283.5	1.19	26.46	14.94
49	Cobre ausencia pobre	50	58.40	8.14	126.0	-	26.46	14.94
50	Cobre ausencia medio	50	58.40	8.14	126.0	-	26.46	14.94
51	Cobre ausencia rico	50	58.40	8.14	126.0	-	26.46	14.94
52	Cobre bajo pobre	50	58.40	8.14	126.0	-	26.46	14.94
53	Cobre bajo medio	50	58.40	8.14	126.0	-	26.46	14.94
54	Cobre bajo rico	50	58.40	8.14	126.0	-	26.46	14.94
55	Cobre medio pobre	50	58.40	8.14	126.0	1.19	26.46	14.94
56	Cobre medio medio	50	58.40	8.14	126.0	1.19	26.46	14.94
57	Cobre medio rico	50	58.40	8.14	126.0	1.19	26.46	14.94
58	Cobre alto pobre	50	58.40	8.14	126.0	8.69	26.46	14.94
59	Cobre alto medio	50	58.40	8.14	126.0	8.69	26.46	14.94
60	Cobre alto rico	50	58.40	8.14	126.0	8.69	26.46	14.94
61	Manganeso ausencia pobre	50	58.40	8.14	126.0	1.19	-	14.94
62	Manganeso ausencia medio	50	58.40	8.14	126.0	1.19	-	14.94
63	Manganeso ausencia rico	50	58.40	8.14	126.0	1.19	-	14.94
64	Manganeso bajo pobre	50	58.40	8.14	126.0	1.19	3.96	14.94
65	Manganeso bajo medio	50	58.40	8.14	126.0	1.19	3.96	14.94
66	Manganeso bajo rico	50	58.40	8.14	126.0	1.19	3.96	14.94
67	Manganeso medio pobre	50	58.40	8.14	126.0	1.19	26.46	14.94
68	Manganeso medio medio	50	58.40	8.14	126.0	1.19	26.46	14.94
69	Manganeso medio rico	50	58.40	8.14	126.0	1.19	26.46	14.94
70	Manganeso alto pobre	50	58.40	8.14	126.0	1.19	63.96	14.94
71	Manganeso alto medio	50	58.40	8.14	126.0	1.19	63.96	14.94
72	Manganeso alto rico	50	58.40	8.14	126.0	1.19	63.96	14.94
73	Zinc ausencia pobre	50	58.40	8.14	126.0	1.19	26.46	-
74	Zinc ausencia medio	50	58.40	8.14	126.0	1.19	26.46	-
75	Zinc ausencia rico	50	58.40	8.14	126.0	1.19	26.46	-
76	Zinc bajo pobre	50	58.40	8.14	126.0	1.19	26.46	1.44
77	Zinc bajo medio	50	58.40	8.14	126.0	1.19	26.46	1.44
78	Zinc bajo rico	50	58.40	8.14	126.0	1.19	26.46	1.44
79	Zinc medio pobre	50	58.40	8.14	126.0	1.19	26.46	14.94
80	Zinc medio medio	50	58.40	8.14	126.0	1.19	26.46	14.94
81	Zinc medio rico	50	58.40	8.14	126.0	1.19	26.46	14.94
82	Zinc alto pobre	50	58.40	8.14	126.0	1.19	26.46	37.44
83	Zinc alto medio	50	58.40	8.14	126.0	1.19	26.46	37.44
84	Zinc alto rico	50	58.40	8.14	126.0	1.19	26.46	37.44
85	Optimo pobre	150	216.00	140.76	378.0	18.00	90.00	54.00
86	Optimo medio	150	216.00	140.76	378.0	18.00	90.00	54.00
87	Optimo rico	150	216.00	140.76	378.0	18.00	90.00	54.00
88	Testigo pobre	-	-	-	-	-	-	-
89	Testigo medio	-	-	-	-	-	-	-
90	Testigo rico	-	-	-	-	-	-	-

Cuadro 44. Resumen de los resultados de los análisis de varianza efectuados para las variables estudiadas en la zona sur, considerando el arreglo factorial de los tratamientos, donde se muestran la suma de cuadrados del error y la suma de cuadrados de los efectos factoriales y su significancia.

VARIABLE	E	N	S	E-N	E-S	N-S	E-N-S	ERROR
Dímetro de tallo	2.693 ++	0.401 N.S.	45.907 ++	8.782 ++	1.988 N.S.	0.755 N.S.	3.759 N.S.	16.797
Altura de planta	818.083 ++	422.863 +	18,009.399 ++	939.083 N.S.	1,192.606 +	245.570 N.S.	1,988.919 N.S.	7,765.572
Materia verde	79.634 +	80.528 ++	1,945.063 ++	150.746 +	132.256 +	69.335 +	188.462 N.S.	810.820
Materia seca	2.507 ++	1.965 ++	54.043 ++	3.793 ++	2.920 ++	2.406 ++	4.870 N.S.	16.947

++ = Altamente significativo      + = Significativo      N.S. = No significativo  
 N = Nivel      E-N = Interacción elemento-nivel      E-N-S = Interacción elemen-  
 S = Suelo      E-S = Interacción elemento-suelo      to-nivel-suelo  
 E = Elemento      N-S = Interacción nivel-suelo

Cuadro 45. Resultados de la prueba de Tukey para la comparación de medias de la interacción elemento-nivel para la variable materia verde en la zona sur.

ELEMENTO	NIVEL	MEDIA	$\alpha = 0.05$
Nitrógeno	Medio	7.16667	a
	Alto	4.91111	a b
	Bajo	4.83333	a b
	Ausencia	2.35556	b
Fósforo	Bajo	5.88889	a
	Alto	5.20000	a
	Medio	4.96667	a
	Ausencia	4.95556	a
Potasio	Medio	6.82222	a
	Ausencia	6.04444	a
	Bajo	5.97778	a
	Alto	4.95556	a
Fierro	Alto	6.86667	a
	Bajo	6.20000	a
	Medio	5.17778	a
	Ausencia	4.35556	a
Cobre	Medio	7.46667	a
	Alto	6.84444	a
	Bajo	6.46667	a
	Ausencia	2.35556	b
Manganeso	Bajo	7.37778	a
	Alto	6.41111	a
	Medio	6.12222	a
	Ausencia	5.87778	a
Zinc	Medio	6.92222	a
	Ausencia	6.02222	a
	Bajo	5.91111	a
	Alto	5.55556	a

Tukey = 2.6604295

Cuadro 46. Resultados de la prueba de Tukey para la comparación de medias de la interacción elemento-nivel para la variable diámetro de tallo en la zona sur.

ELEMENTO	NIVEL	MEDIA	$\alpha = 0.05$	
Nitrógeno	Medio	2.39556	a	
	Alto	2.30444	a	
	Bajo	2.22000	a	
	Ausencia	2.02222	a	
Fósforo	Medio	2.50111	a	
	Alto	2.20444	a	b
	Bajo	2.16000	a	b
	Ausencia	2.08000		b
Potasio	Ausencia	2.70889	a	
	Medio	2.33333	a	b
	Bajo	2.19778		b
	Alto	2.11556		b
Hierro	Alto	2.49667	a	
	Bajo	2.40667	a	b
	Medio	2.18111	a	b
	Ausencia	2.04000		b
Cobre	Alto	2.85333	a	
	Bajo	2.73111	a	
	Medio	2.54889	a	
	Ausencia	2.11778		b
Manganeso	Bajo	2.54667	a	
	Alto	2.33111	a	
	Ausencia	2.29111	a	
	Medio	2.23111	a	
Zinc	Ausencia	2.62000	a	
	Medio	2.41556	a	b
	Bajo	2.21444		b
	Alto	2.14333		b

Tukey = 0.38291351



Cuadro 47. Resultados de la prueba de Tukey para la comparación de - medias de la interacción elemento-nivel para la variable materia seca en la zona sur.

ELEMENTO	NIVEL	MEDIA	$\alpha = 0.05$
Nitrógeno	Medio	1.10111	a
	Bajo	0.89444	a b
	Alto	0.83222	a b
	Ausencia	0.57778	b
Fósforo	Bajo	1.04111	a
	Ausencia	0.98556	a
	Alto	0.91222	a
	Medio	0.90889	a
Potasio	Medio	1.29000	a
	Bajo	1.18556	a b
	Ausencia	1.05222	a b
	Alto	0.88222	b
Hierro	Alto	1.19889	a
	Bajo	1.19000	a
	Medio	0.89444	a
	Ausencia	0.82111	a
Cobre	Alto	1.28111	a
	Bajo	1.27444	a
	Medio	1.24222	a
	Ausencia	0.77333	b
Manganeso	Alto	1.34556	a
	Bajo	1.19222	a
	Ausencia	1.04444	a
	Medio	0.99222	a
Zinc	Medio	1.21000	a
	Bajo	1.08556	a
	Alto	1.05889	a
	Ausencia	1.01889	a

Tukey = 0.38463312

Cuadro 48. Resultados de la prueba de Tukey para la comparación de medias del factor suelo para la variable diámetro de tallo en la zona sur.

SUELO	MEDIA	$\alpha = 0.05$
Rico	2.83512	a
Medio	2.38083	b
Pobre	1.79250	c

Tukey = 0.1143324

Cuadro 49. Resultados de la prueba de Tukey para la comparación de medias del factor nivel para la variable altura de planta en la zona sur.

NIVEL	MEDIA	$\alpha = 0.05$
Bajo	36.28603	a
Medio	36.07508	a
Alto	35.67730	a b
Ausencia	33.06413	b

Tukey = 2.6655632

Cuadro 50. Resultados de la prueba de Tukey para la comparación de -  
medias de la interacción suelo-elemento para la variable\_  
altura de planta en la zona sur.

SUELO	ELEMENTO	MEDIA	$\alpha = 0.05$															
Rico	Manganeso	49.76833	a															
Rico	Zinc	49.09000	a															
Rico	Potasio	48.56000	a	b														
Rico	Fósforo	46.10250	a	b	c													
Rico	Cobre	45.82500	a	b	c	d												
Rico	Fierro	43.54667	a	b	c	d	e											
Rico	Nitrógeno	38.77667		b	c	d	e	f										
Medio	Manganeso	37.47167			c	d	e	f	g									
Medio	Fierro	37.08667			c	d	e	f	g									
Medio	Zinc	36.61667			c	d	e	f	g	h								
Medio	Cobre	34.88167				d	e	f	g	h	i							
Medio	Potasio	33.87333						f	g	h	i	j						
Medio	Fósforo	29.04583						f	g	h	i	j						
Pobre	Cobre	28.45333							g	h	i	j						
Pobre	Manganeso	27.24667								h	i	j						
Pobre	Fósforo	25.81333									i	j						
Pobre	Potasio	24.83000										j						
Pobre	Nitrógeno	24.48167										j						
Pobre	Fierro	24.11500										j						
Pobre	Zinc	22.01250																k

Tukey = 9.8092928

Cuadro 51. Resultados de la prueba de Tukey para la comparación de medias de la interacción suelo-elemento para la variable materia verde en la zona sur.

SUELO	ELEMENTO	MEDIA	$\alpha = 0.05$																	
Rico	Manganeso	10.59167	a																	
Rico	Potasio	10.42500	a																	
Rico	Zinc	10.27500	a																	
Rico	Cobre	9.65000	a	b																
Rico	Fósforo	8.84167	a	b	c															
Rico	Fierro	8.03333	a	b	c	d														
Medio	Fierro	7.10000		b	c	d	e													
Rico	Nitrógeno	6.81667		b	c	d	e													
Medio	Zinc	6.07500			c	d	e	f												
Medio	Manganeso	6.01667			c	d	e	f												
Medio	Cobre	5.83333			c	d	e	f	g											
Medio	Potasio	5.15833				d	e	f	g	h										
Medio	Nitrógeno	5.10833				d	e	f	g	h										
Medio	Fósforo	4.34167					e	f	g	h										
Pobre	Cobre	3.14167						f	g	h										
Pobre	Manganeso	2.73333							g	h										
Pobre	Fósforo	2.57500								h										
Pobre	Potasio	2.26667									h									
Pobre	Fierro	2.17500										h								
Pobre	Nitrógeno	2.16667											h							
Pobre	Zinc	1.95833																		1

Tukey = 3.1696641

Cuadro 52. Resultados de la prueba de Tukey para la comparación de -  
medias de la interacción suelo-elemento para la variable\_  
materia seca en la zona sur.

SUELO	ELEMENTO	MEDIA	$\alpha = 0.05$																	
Rico	Potasio	1.84250	a																	
Rico	Zinc	1.78583	a																	
Rico	Cobre	1.77083	a																	
Rico	Manganeso	1.77083	a																	
Rico	Fósforo	1.59000	a	b	c															
Rico	Fierro	1.49500	a	b	c	d														
Rico	Nitrógeno	1.18500		b	c	d	e													
Medio	Fierro	1.13500			c	d	e													
Medio	Manganeso	1.10500				d	e													
Medio	Zinc	1.08083				d	e	f												
Medio	Cobre	1.02583					e	f												
Medio	Potasio	0.96750					e	f	g											
Medio	Nitrógeno	0.91083					e	f	g	h										
Medio	Fósforo	0.78167					e	f	g	h	i									
Pobre	Cobre	0.63167						f	g	h	i									
Pobre	Manganeso	0.55500							g	h	i									
Pobre	Fósforo	0.51417							g	h	i									
Pobre	Potasio	0.49750								h	i									
Pobre	Nitrógeno	0.45833								h	i									
Pobre	Fierro	0.44833									i									
Pobre	Zinc	0.41333									i									

Tukey = 0.45825601

Cuadro 53. Resultados de la prueba de Tukey para la comparación de medias de la interacción suelo-nivel para la variable materia verde en la zona sur.

SUELO	NIVEL	MEDIA	$\alpha = 0.05$			
Rico	Medio	10.63333	a			
Rico	Bajo	10.12857	a			
Rico	Alto	8.80476	a	b		
Rico	Ausencia	7.36667		b	c	
Medio	Alto	6.08095			c	d
Medio	Medio	5.81429			c	d
Medio	Bajo	5.71429			c	d
Medio	Ausencia	5.03810				d
Pobre	Medio	2.68571				e
Pobre	Bajo	2.47143				e
Pobre	Alto	2.33810				e
Pobre	Ausencia	2.22857				e

Tukey = 2.2157864

Cuadro 54. Resultados de la prueba de Tukey para la comparación de medias de la interacción suelo-nivel para la variable materia seca en la zona sur.

SUELO	NIVEL	MEDIA	$\alpha = 0.05$			
Rico	Bajo	1.83667	a			
Rico	Medio	1.79952	a			
Rico	Alto	1.59143	a	b		
Rico	Ausencia	1.30952		b	c	
Medio	Alto	1.13619			c	d
Medio	Bajo	1.01714			c	d
Medio	Medio	0.95190				d
Medio	Ausencia	0.89857				d
Pobre	Medio	0.52238				e
Pobre	Bajo	0.51619				e
Pobre	Alto	0.49143				e
Pobre	Ausencia	0.48048				e

Tukey = 0.3203486

Cuadro 55. Resumen de las variables que resultaron significativas, en el análisis de regresión múltiple por el procedimiento stepwise, en el suelo pobre de la zona sur.

ELEMENTO	R <sup>2</sup>	BETA	F cal	SIGNIFICANCIA
Materia seca				
		0.5316220		
Cu	0.17895	-0.01065151		
Mn	0.22566	0.00251484		
P	0.25130	-0.00060693		
Zn	0.26890	0.00328872		
N	0.28705	-0.00101436		
K	0.29008	-0.00039305	2.384	+

+ = Significativo

Cuadro 56. Resumen de las variables que resultaron significativas, en el análisis de regresión múltiple por el procedimiento stepwise, en el suelo medio de la zona sur.

ELEMENTO	R <sup>2</sup>	BETA	F cal	SIGNIFICANCIA
Diámetro de tallo				
		2.262593		
Cu	0.07046	0.04955727		
Zn	0.21027	-0.01395423		
K	0.22798	-0.00321323		
N	0.25058	0.00309485	3.093	+
Materia seca				
		0.9648527		
Cu	0.03459	0.05219699		
Zn	0.19815	-0.00835122		
P	0.24641	-0.00182447		
Fe	0.26140	0.00044489		
K	0.27614	-0.00171371	2.745	+

+ = Significativo

Cuadro 57. Resumen de las variables que resultaron significativas, en el análisis de regresión múltiple por el procedimiento stepwise, en el suelo rico de la zona sur.

ELEMENTO	R <sup>2</sup>	BETA	F cal	SIGNIFICANCIA
Diámetro de tallo				
		2.473766		
Cu	0.22890	-0.00312278		
N	0.65557	0.01129049		
K	0.70180	-0.00791461		
P	0.71210	0.00295928		
Zn	0.71483	-0.00440202		
Mn	0.71530	-0.00116256		
Fe	0.71556	-0.00023968	12.219	+ +
Altura de planta				
		38.38043		
N	0.24006	0.16889160		
Mn	0.25861	-0.09088432		
Zn	0.27158	-0.16069340		
P	0.27434	0.02191602		
K	0.27554	-0.00731718	2.738	+
Materia verde				
		7.828316		
Mn	0.16111	0.00987575		
K	0.32249	-0.03926506		
N	0.40089	0.05972022		
Zn	0.41031	-0.04449187		
Cu	0.41846	0.09080180		
Fe	0.42023	-0.00301492		
P	0.42063	0.00235779	3.526	+ +
Materia seca				
		1.047509		
N	0.52588	0.01065821		
K	0.54897	-0.00524924		
Cu	0.55992	0.01936146		
Mn	0.56091	0.00162408	11.816	+ +

+ = Significativo

+ + = Altamente significativo



Cuadro 58. Coeficientes de correlación simple de las variables bajo estudio para la zona norte.

Altura de planta	0.8643 ++		
Materia verde	0.8602 ++	0.8493 ++	
Materia seca	0.8096 ++	0.7659 ++	0.9547 ++
	Diámetro de tallo	Altura de planta	Materia verde

Cuadro 59. Coeficientes de correlación simple de las variables bajo estudio para la zona centro.

Altura de planta	0.9594 ++		
Materia verde	0.9347 ++	0.9289 ++	
Materia seca	0.9210 ++	0.9060 ++	0.9882 ++
	Diámetro de tallo	Altura de planta	Materia verde

Cuadro 60. Coeficientes de correlación simple de las variables bajo estudio para la zona sur.

Altura de planta	0.8852 ++		
Materia verde	0.9038 ++	0.9274 ++	
Materia seca	0.8895 ++	0.9147 ++	0.9522 ++
	Diámetro de tallo	Altura de planta	Materia verde

++ = Altamente significativo

Cuadro 61. Capacidad de fijación relativa (%), encontrada en los estudios de sorción, para las localidades seleccionadas.

LOCALIDAD	P	K	Cu	Mn	Zn
ZONA NORTE					
Santa Rosa	67.96	59.65	67.74	67.74	61.03
Dulces Nombres	87.33	74.43	71.13	80.30	78.43
Nueva Ramoncita	33.27	-	69.86	73.58	80.08
ZONA CENTRO					
Vistahermosa	69.80	69.47	67.26	66.33	61.03
Caja Pinta	87.56	51.20	72.12	45.99	67.43
Lirios	97.07	48.18	67.06	69.39	67.72
ZONA SUR					
Sandia	79.12	36.77	74.13	94.61	79.03
Salero	87.16	31.34	63.06	88.32	79.51
Puentes	71.41	57.74	69.28	86.69	81.04

- = No se determinó

Cuadro 62. Resultados del análisis preliminar, de las localidades seleccionadas.

LOCALIDAD	(%) M.O.	P (ppm)	K (Kg/ha)	%CaCO <sub>3</sub>	pH
ZONA NORTE					
Santa Rosa	1.79	7.99	137.2	24.87	7.8
Dulces Nombres	2.07	61.47	217.0	23.65	8.0
Nueva Ramoncita	2.03	130.31	221.2	24.60	7.8
ZONA CENTRO					
Vistahermosa	3.10	38.11	126.0	16.75	7.8
Caja Pinta	2.89	54.70	137.2	24.97	7.7
Lirios	3.17	172.73	+ 351	3.95	7.5
ZONA SUR					
Sandia	5.45	11.67	186.2	24.25	7.7
Salero	2.82	68.84	+ 351	24.72	7.7
Puentes	4.00	84.21	+ 351	24.95	7.8

Cuadro 63. Preparación de la solución B, para los estudios de sor--  
ción.

---

Solución A

- Disolver 7.20 gr de  $\text{MnCl}_2 \cdot 4 \text{H}_2\text{O}$  en 200 ml de agua.
- Disolver 2.14 gr de  $\text{CuCl}_2 \cdot 2 \text{H}_2\text{O}$  en 200 ml de agua.
- Disolver 3.14 gr de  $\text{ZnCl}_2$  en 200 ml de agua.
- Mezclar las tres soluciones anteriores y aforar a un litro.

Solución B

- Disolver 6.15 gr de  $\text{KH}_2\text{PO}_4$  en aproximadamente 1500 ml de agua en un matraz de aforación de dos litros.
  - Agregar 100 ml de la solución A al matraz de aforación con la solución de  $\text{KH}_2\text{PO}_4$  y aforar a dos litros de agua destilada.
-

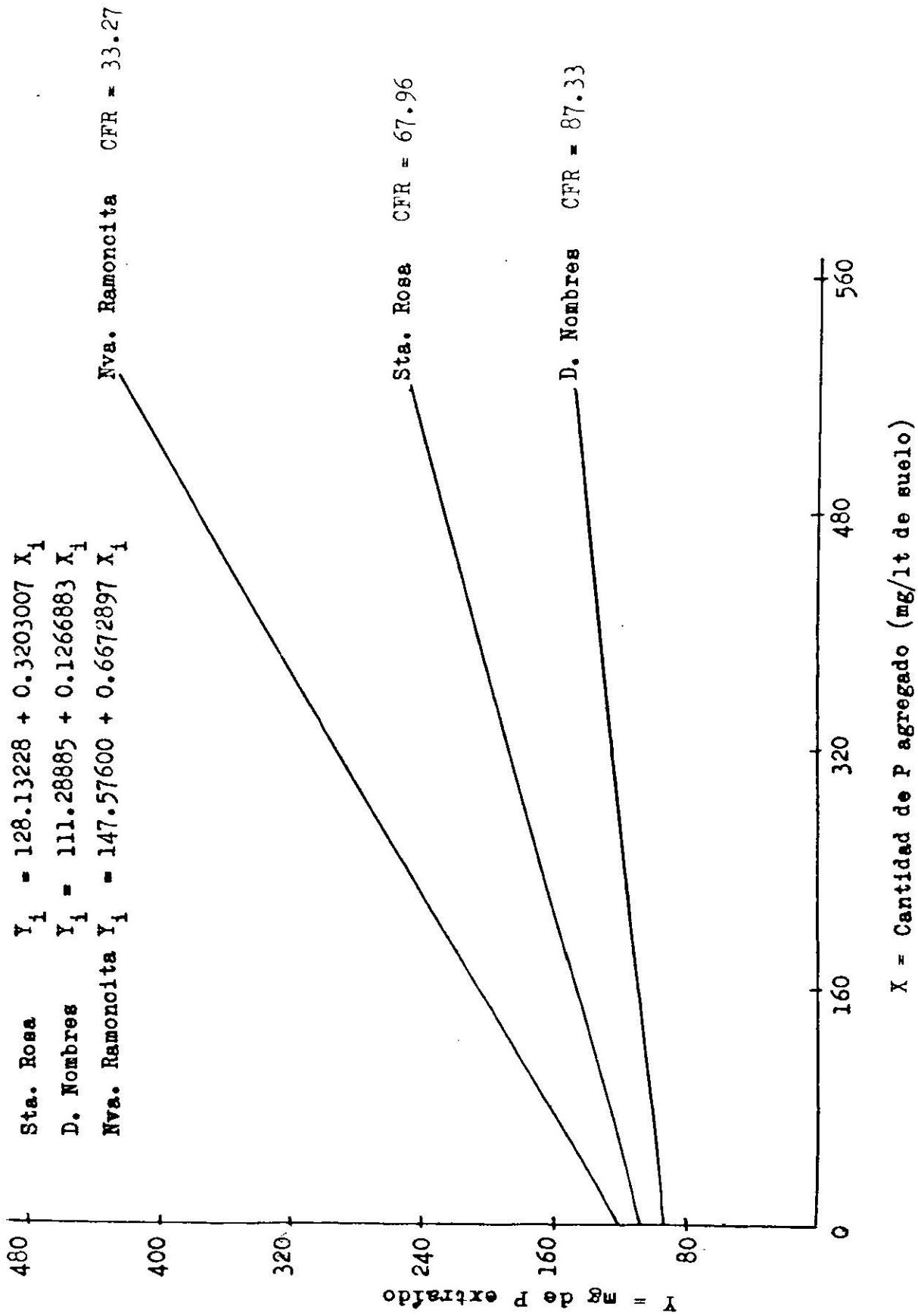


Figura 3. Curvas de sorción de P, para la Zona Norte, con sus respectivos modelos de regresión.

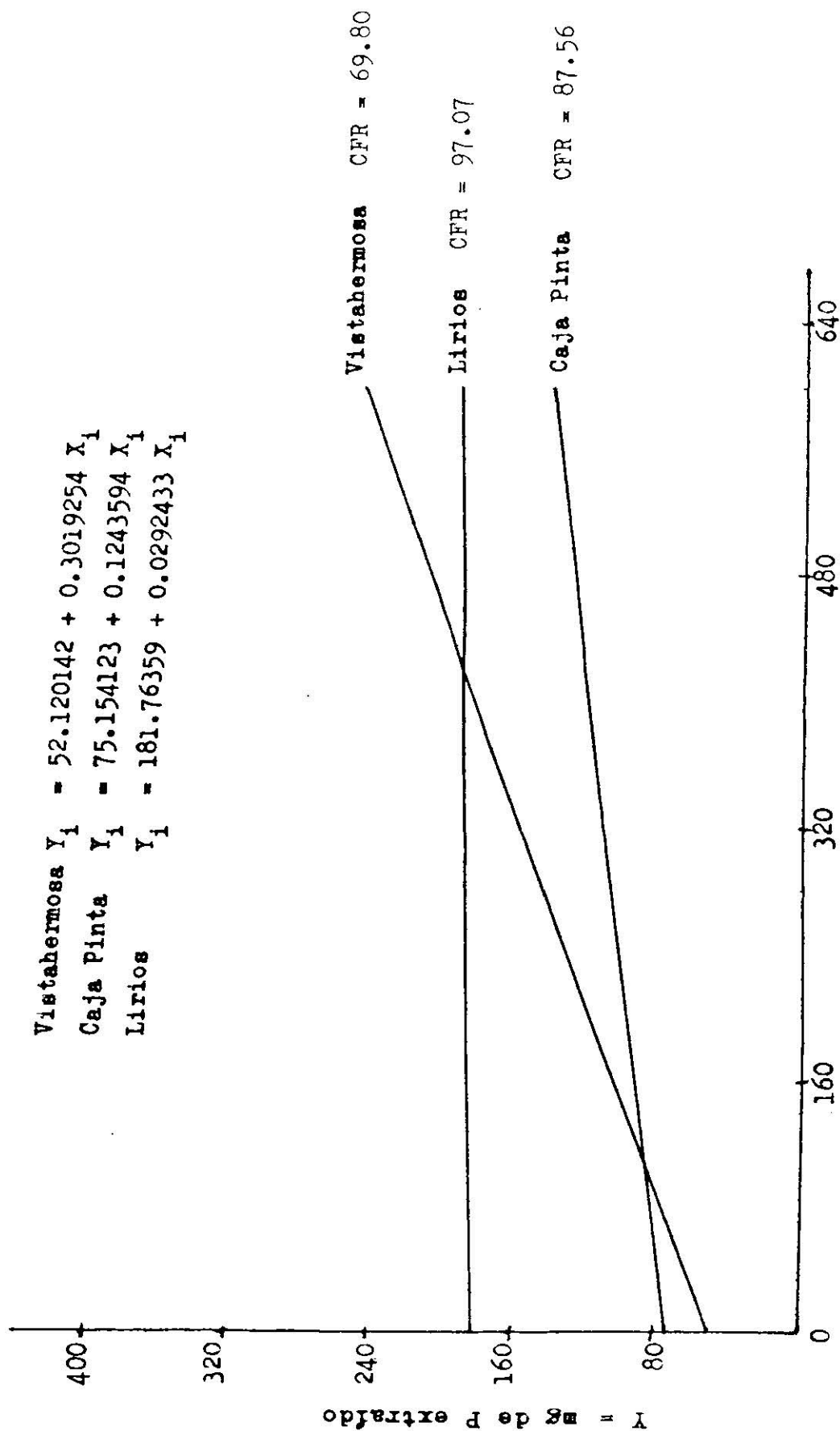


Figura 4. Curvas de sorción de P, para la Zona Centro, con sus respectivos modelos de regresión.

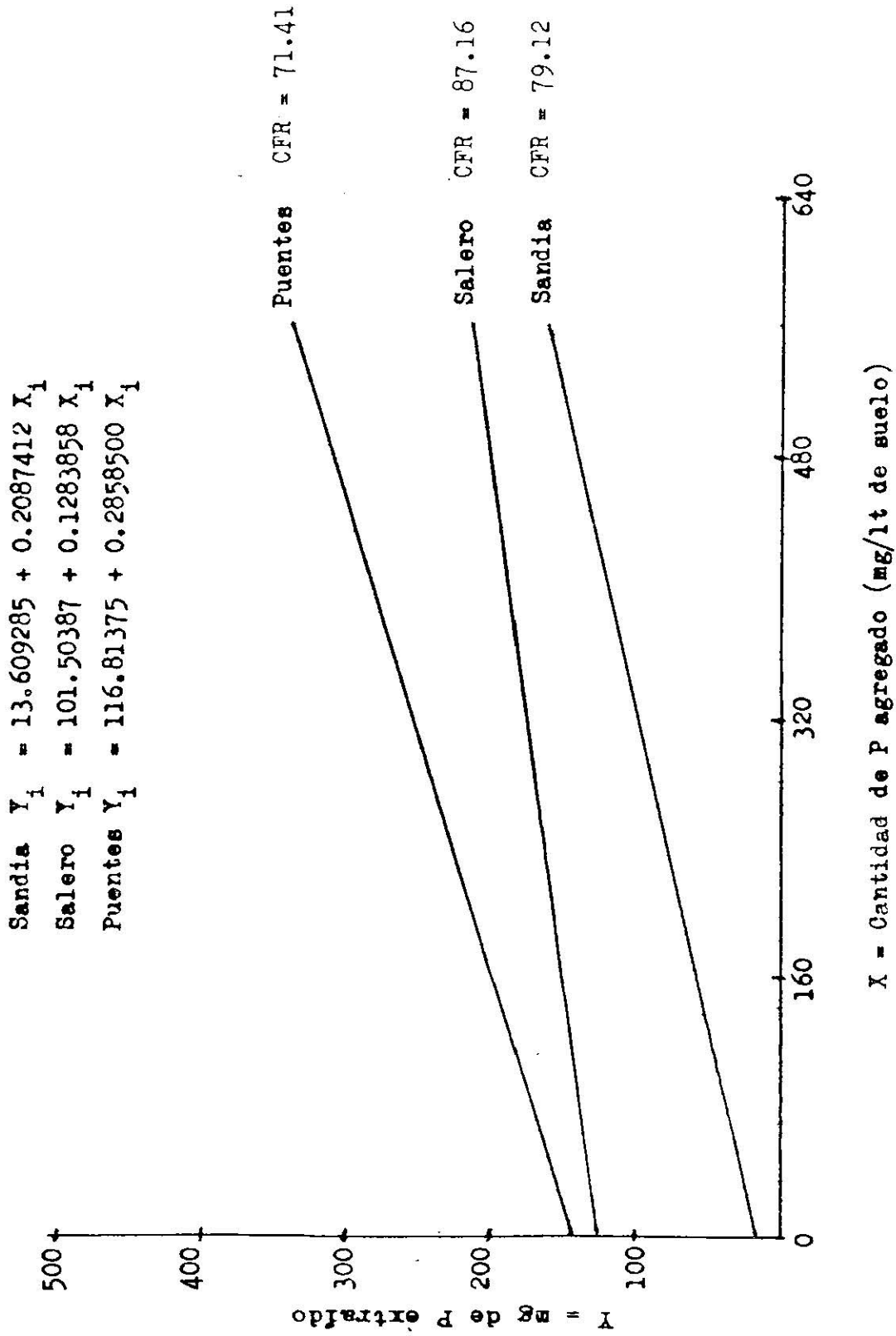


Figura 5. Curvas de sorción de P, para la Zona Sur, con sus respectivos modelos de regresión.

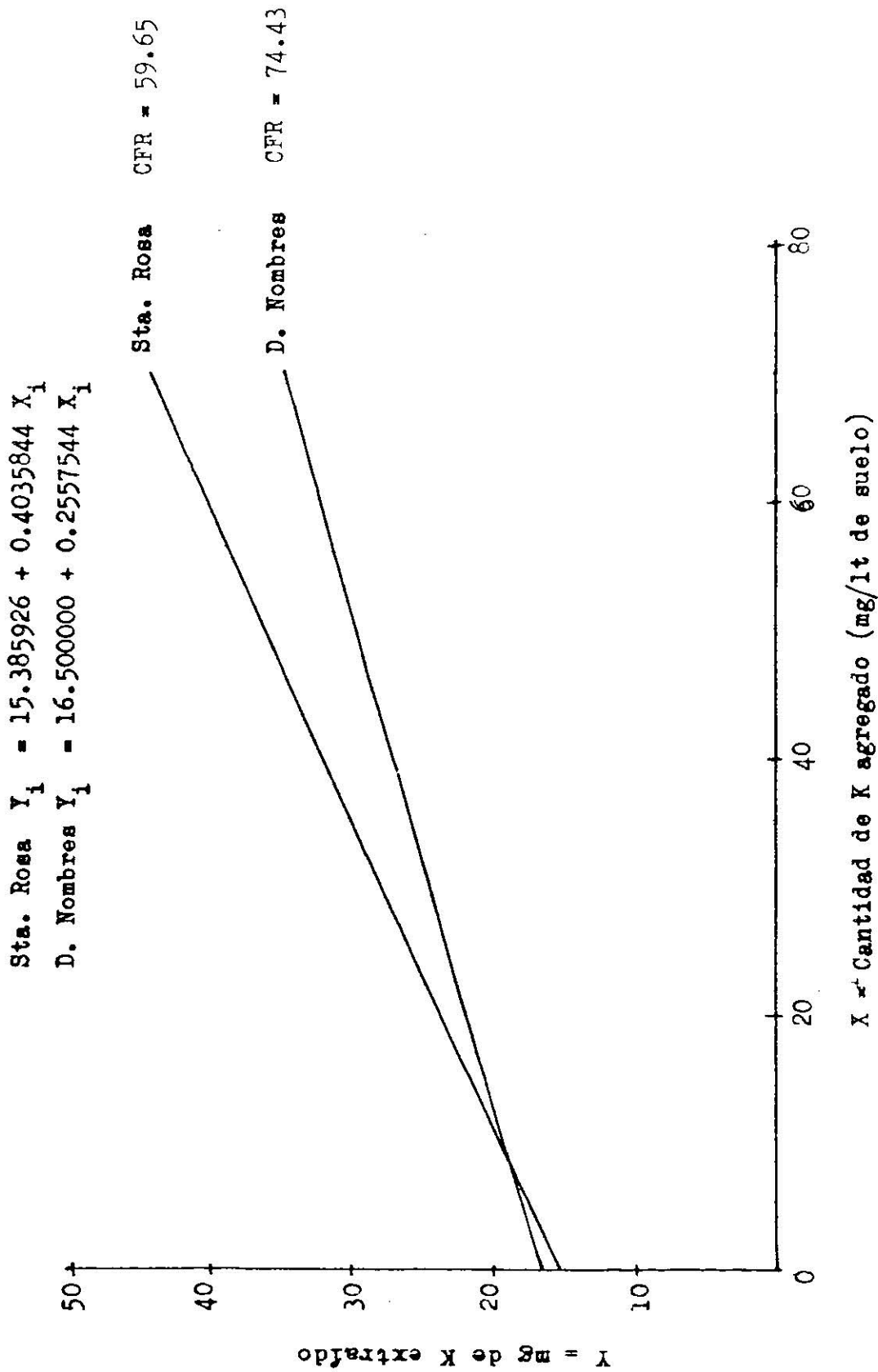


Figura 6. Curvas de sorción de K, para la Zona Norte, con sus respectivos modelos de regresión.

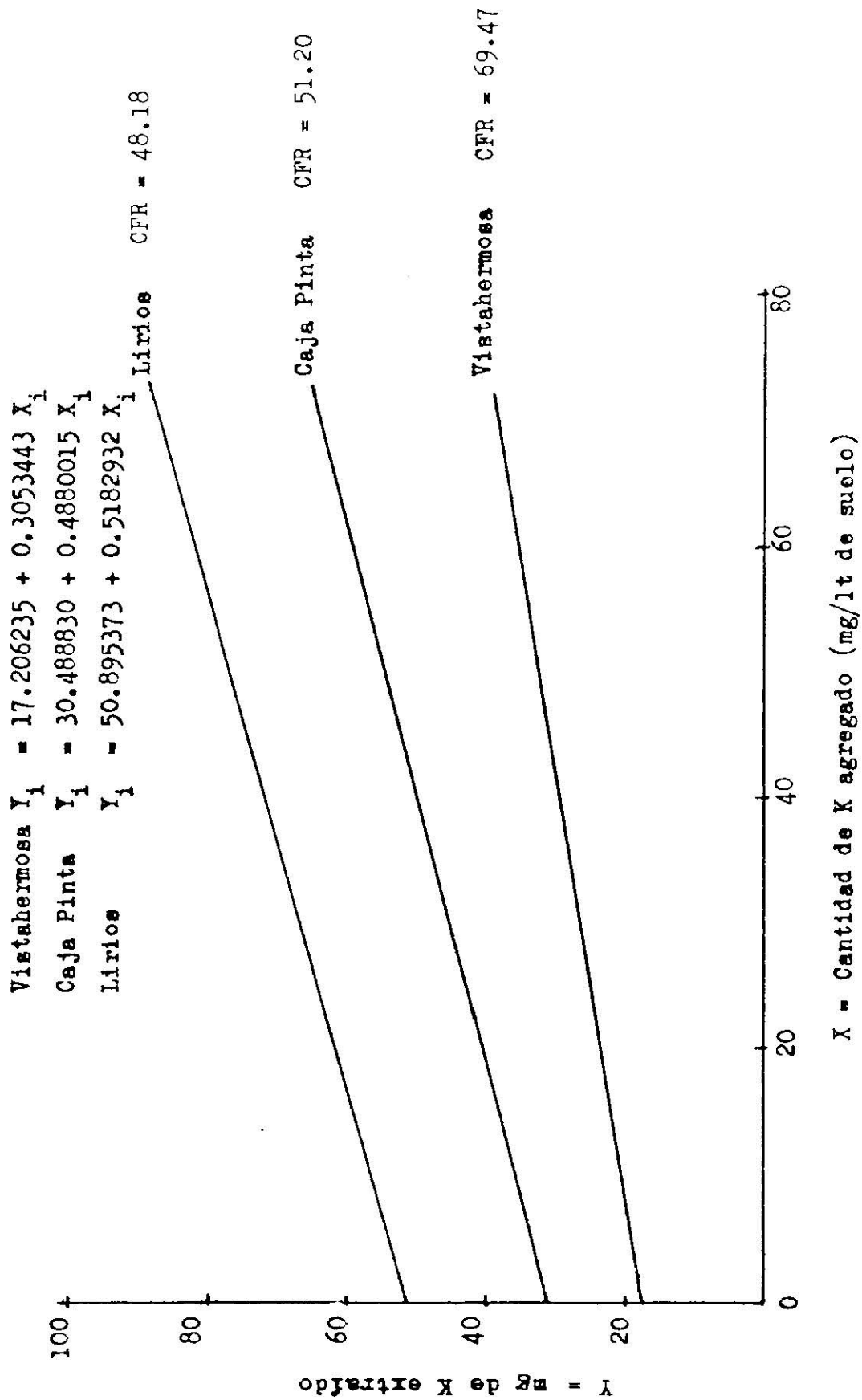


Figura 7. Curvas de sorción de K, para la Zona Centro, con sus respectivos modelos de regresión.



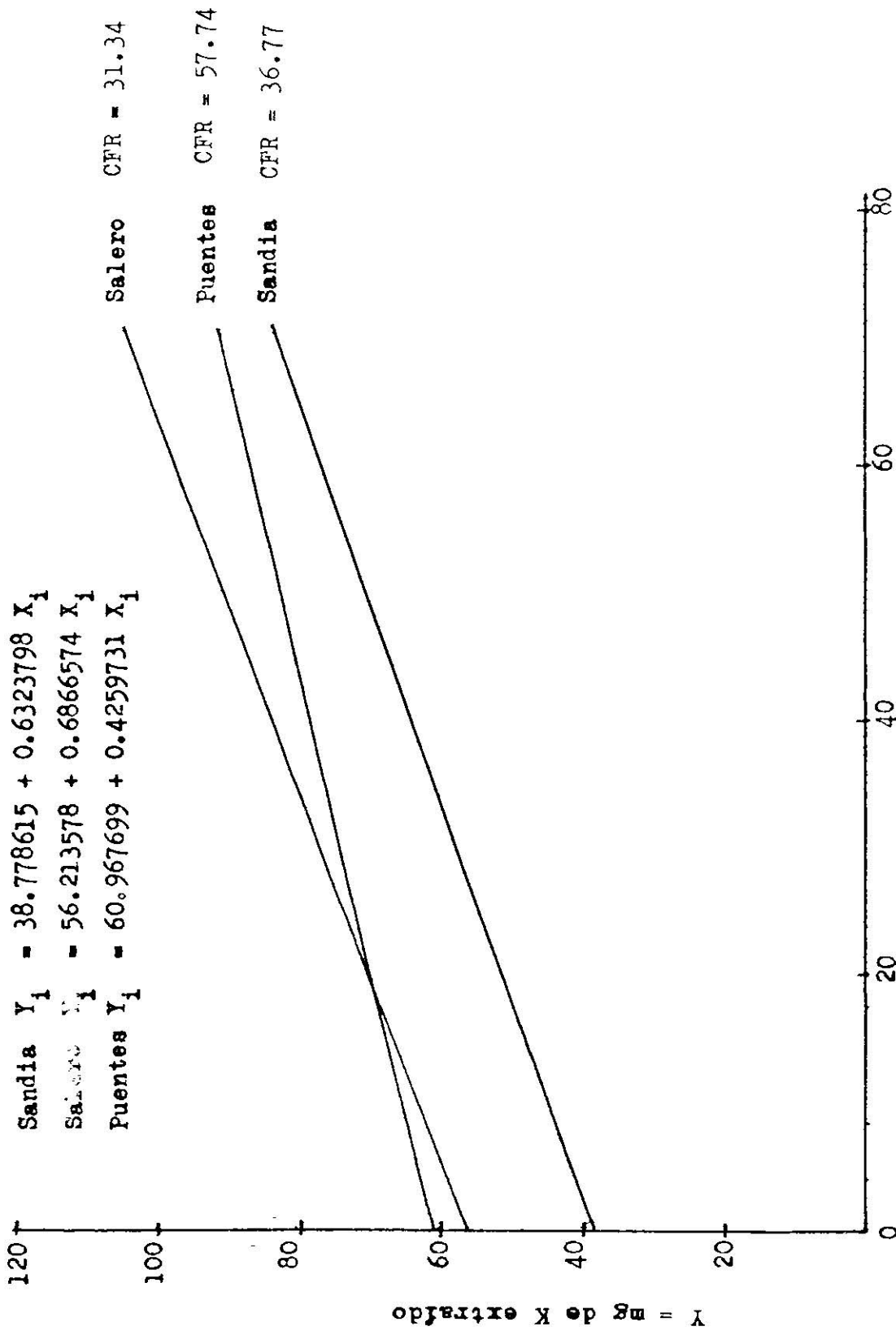


Figura 8. Curvas de sorción de K, para la Zona Sur, con sus respectivos modelos de regresión.

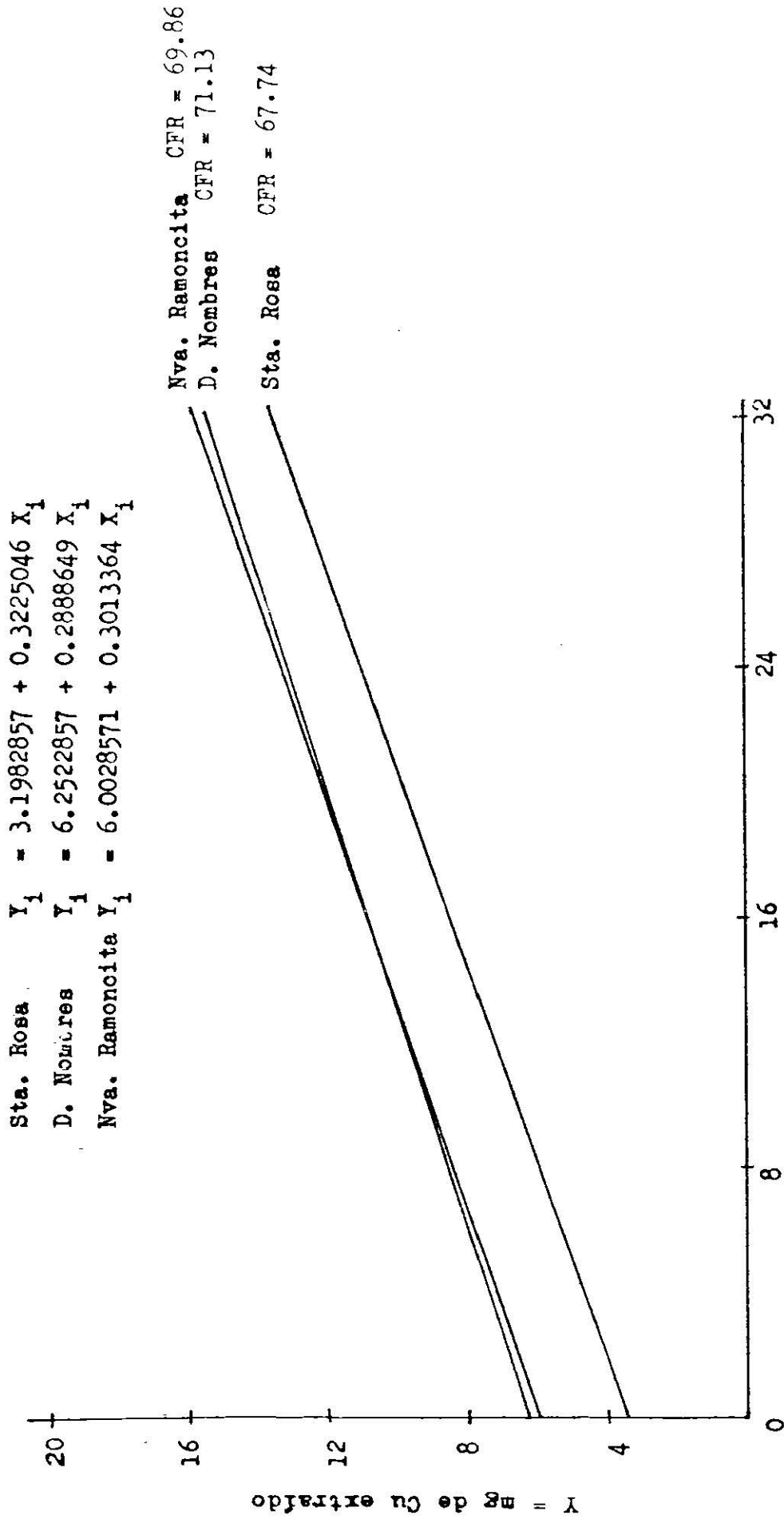


Figura 9. Curvas de sorción de Cu, para la Zona Norte, con sus respectivos modelos de regresión.

$$\begin{aligned}
 \text{Vistahermosa } Y_i &= 4.1221429 + 0.3273733 X_i \\
 \text{Caja Pinta } Y_i &= 4.3497143 + 0.2787373 X_i \\
 \text{Lirios } Y_i &= 5.1204286 + 0.3293134 X_i
 \end{aligned}$$

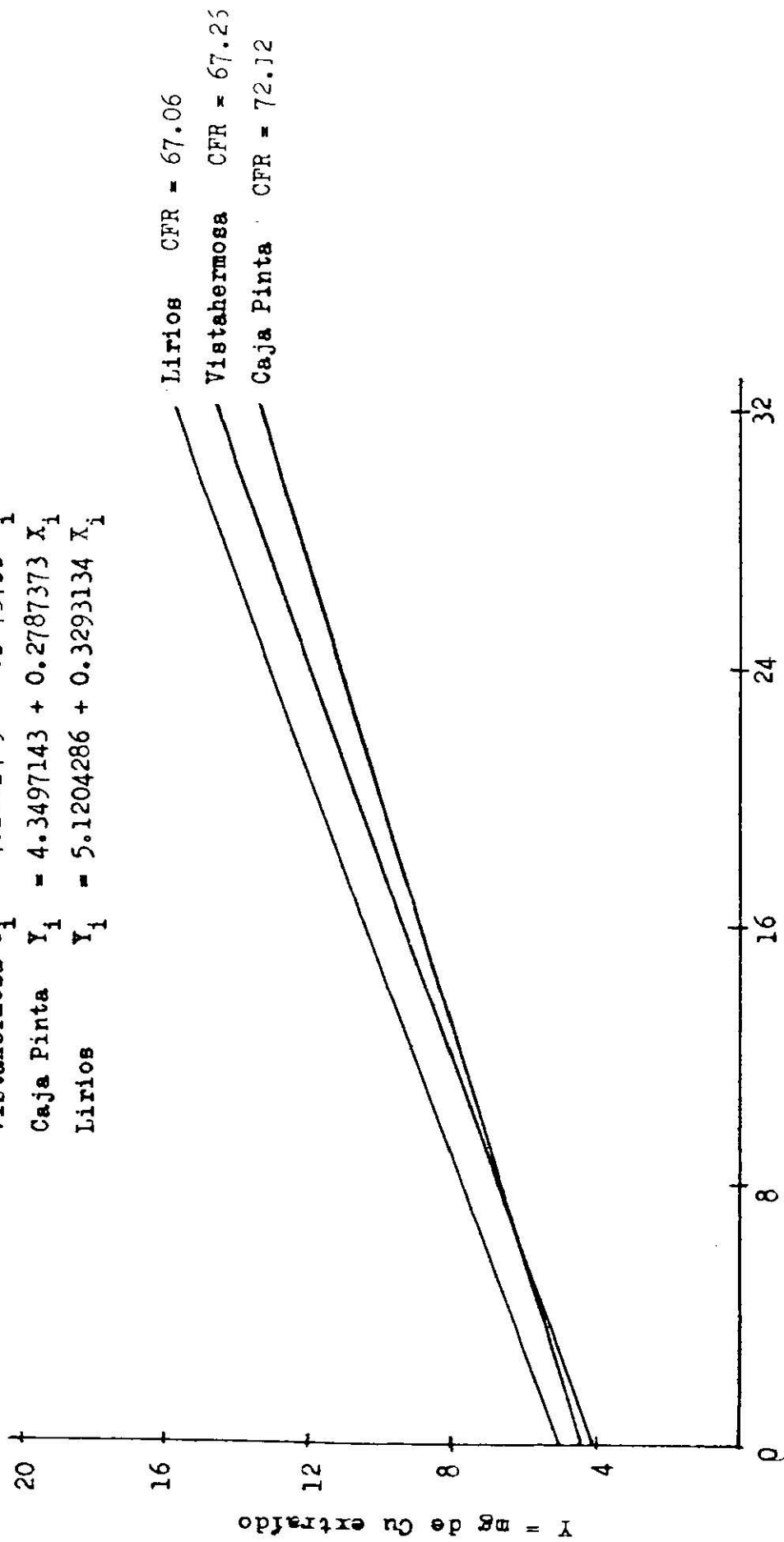
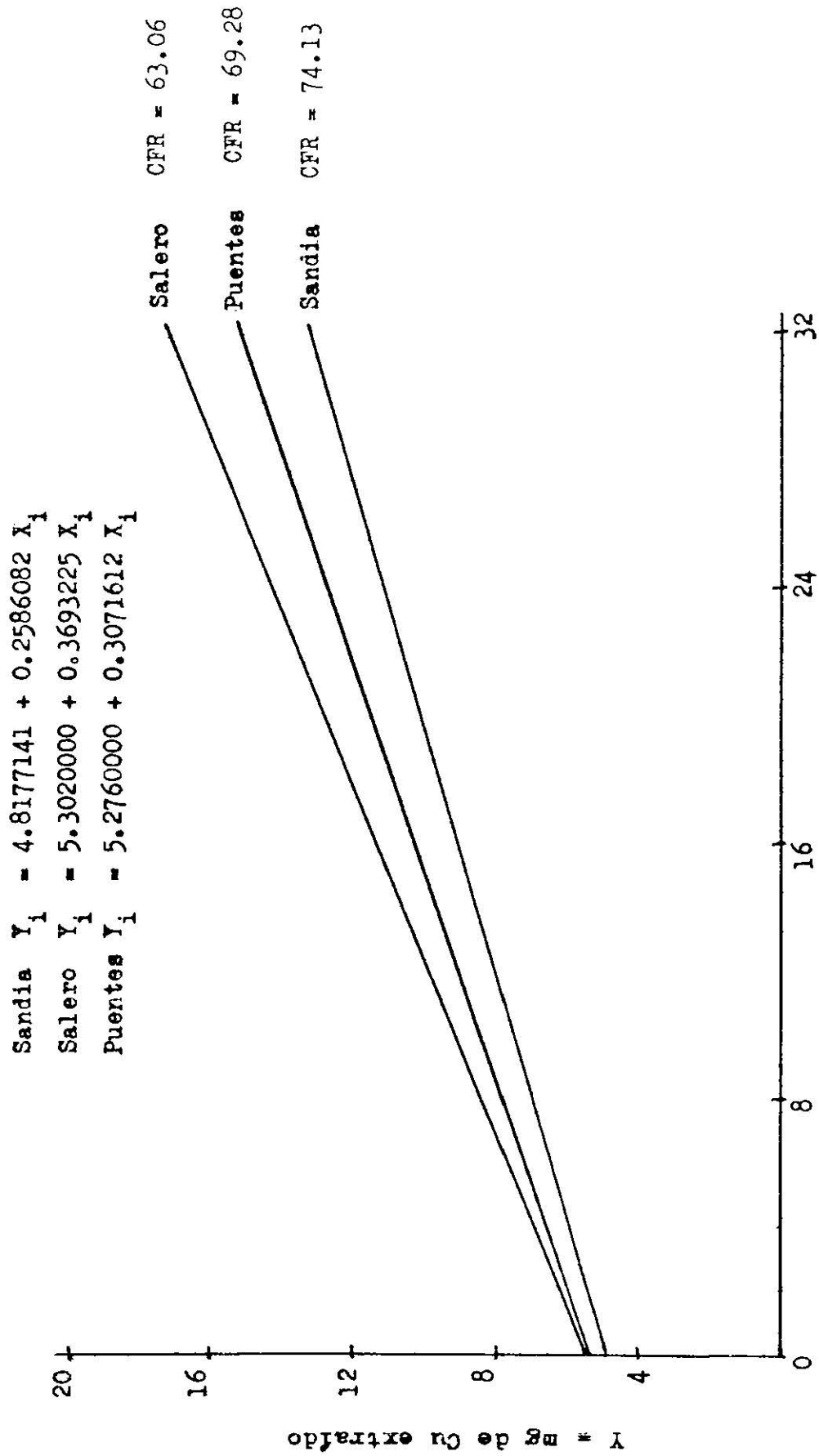


Figura 10. Curvas de sorción de Cu, para la Zona Centro, con sus respectivos modelos de regresión.



X = Cantidad de Cu agregado (mg/lt de suelo)

Figura 11. Curvas de sorción de Cu, para la Zona Sur, con sus respectivos modelos de regresión.

$$\begin{aligned} \text{Sta. Rosa } Y_i &= 5.0934286 + 0.3225124 X_i \\ \text{D. Nombres } Y_i &= 6.2410000 + 0.1969613 X_i \\ \text{Nva. Ramoncita } Y_i &= 8.7327143 + 0.2641853 X_i \end{aligned}$$

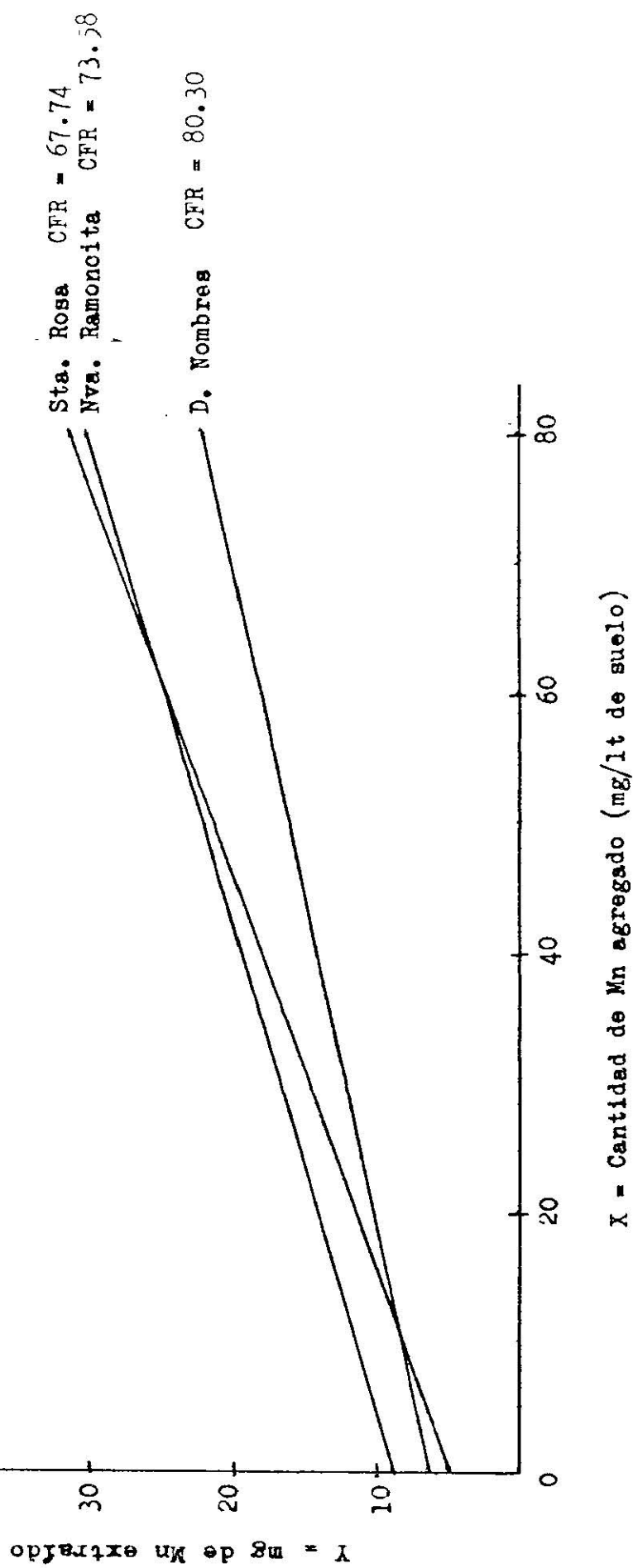


Figura 12. Curvas de sorción de Mn, para la Zona Norte, con sus respectivos modelos de regresión.

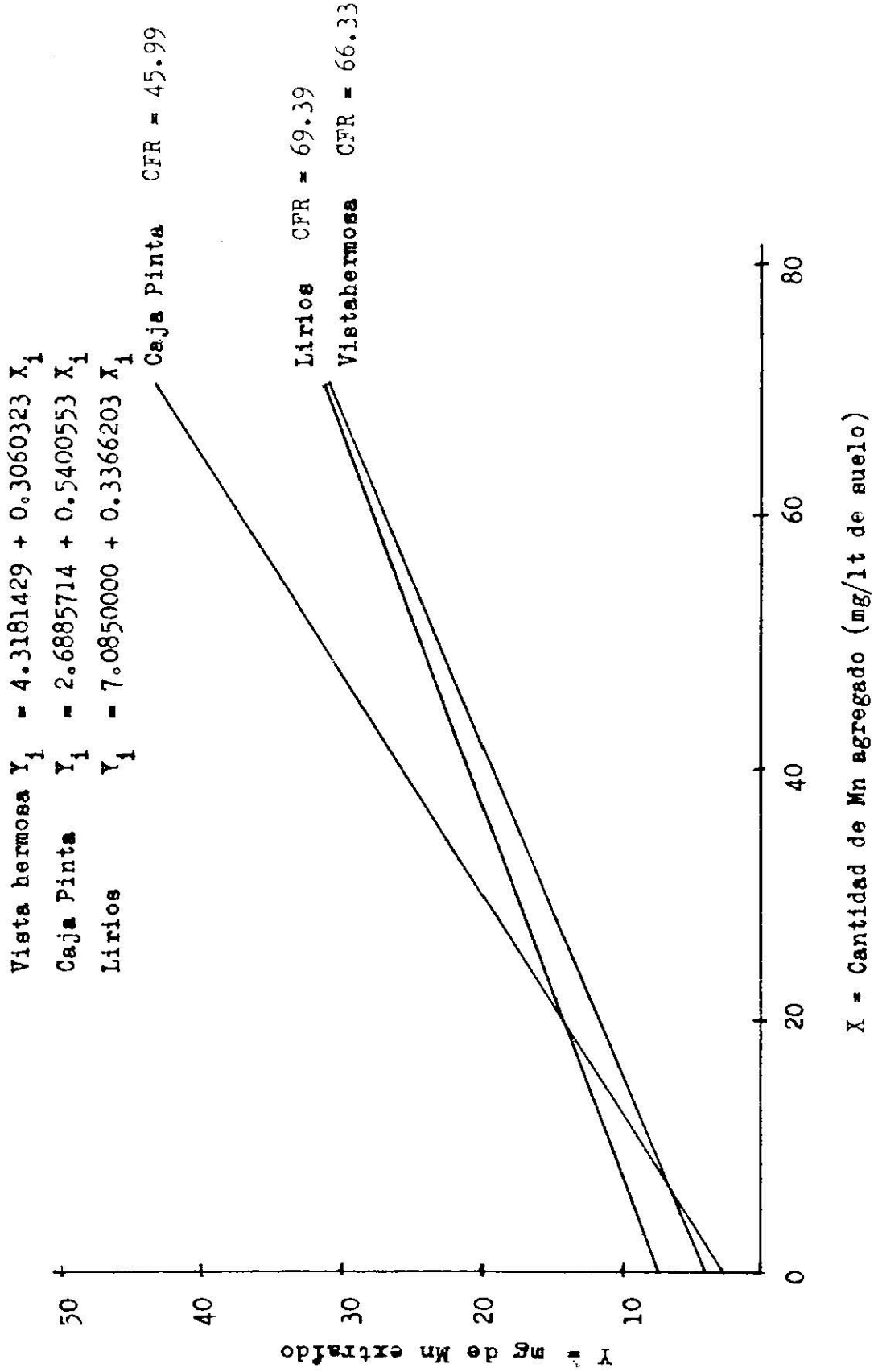


Figura 13. Curvas de sorción de Mn, para la Zona Centro, con sus respectivos modelos de regresión.

$$\begin{aligned} \text{Sandia } Y_i &= 3.5451428 + 0.0538009 X_i \\ \text{Salero } Y_i &= 6.9882857 + 0.1167760 X_i \\ \text{Puentes } Y_i &= 6.5177143 + 0.1330562 X_i \end{aligned}$$

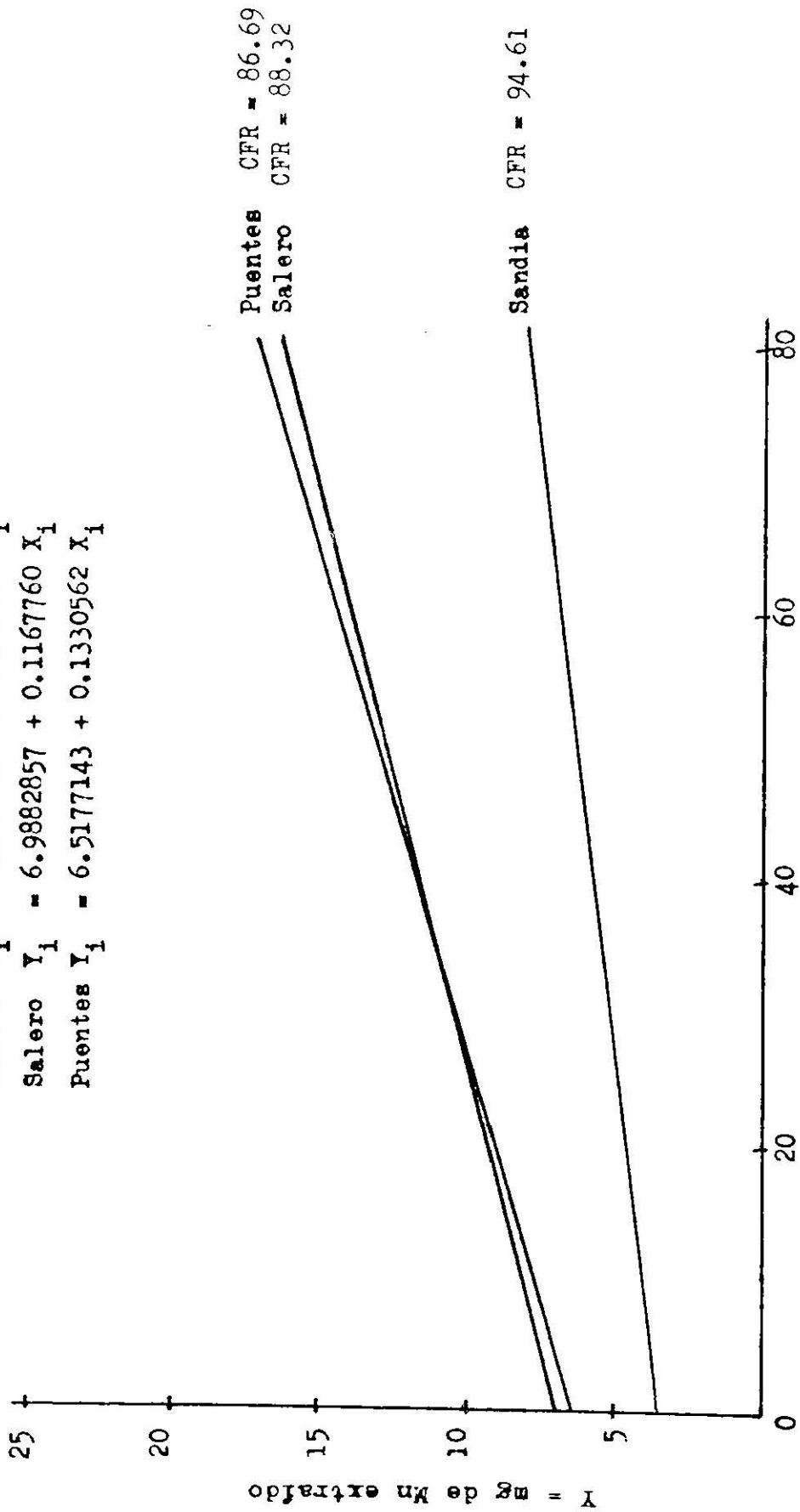


Figura 14. Curvas de sorción de Mn, para la Zona Sur, con sus respectivos modelos de regresión.

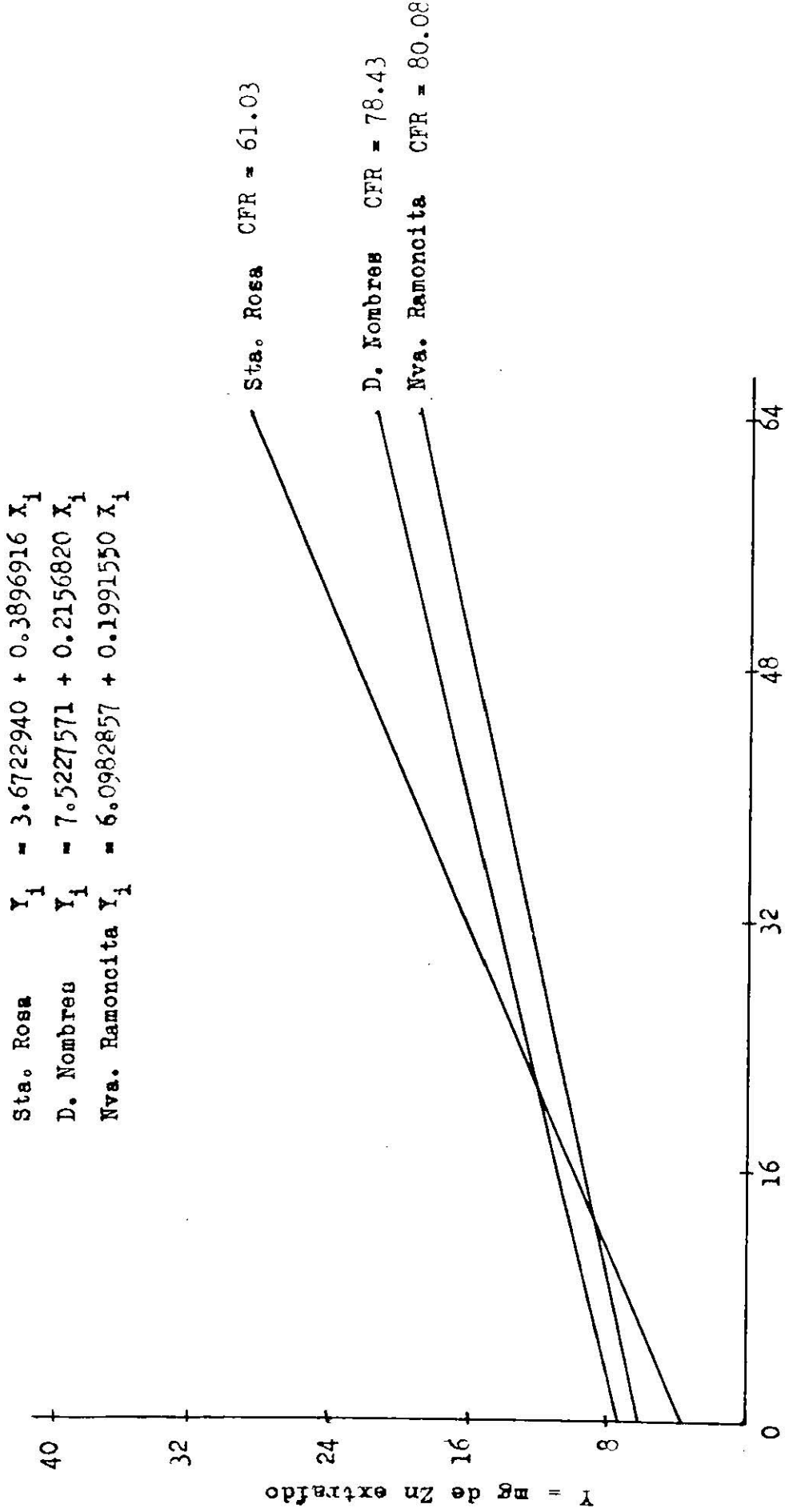
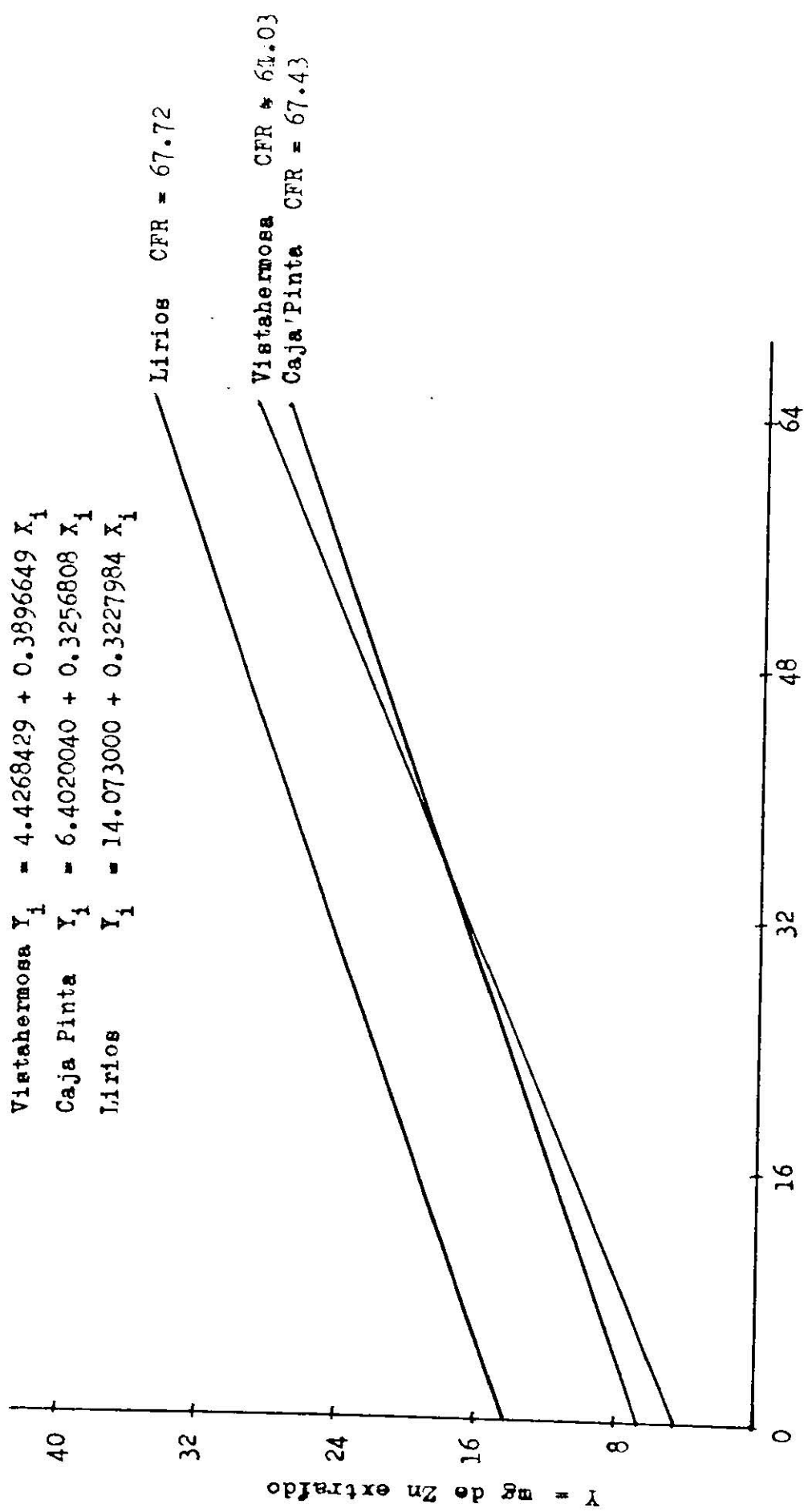


Figura 15. Curvas de sorción de Zn, para la Zona Norte, con sus respectivos modelos de regresión.  
 X = Cantidad de Zn agregado (mg/lt de suelo)



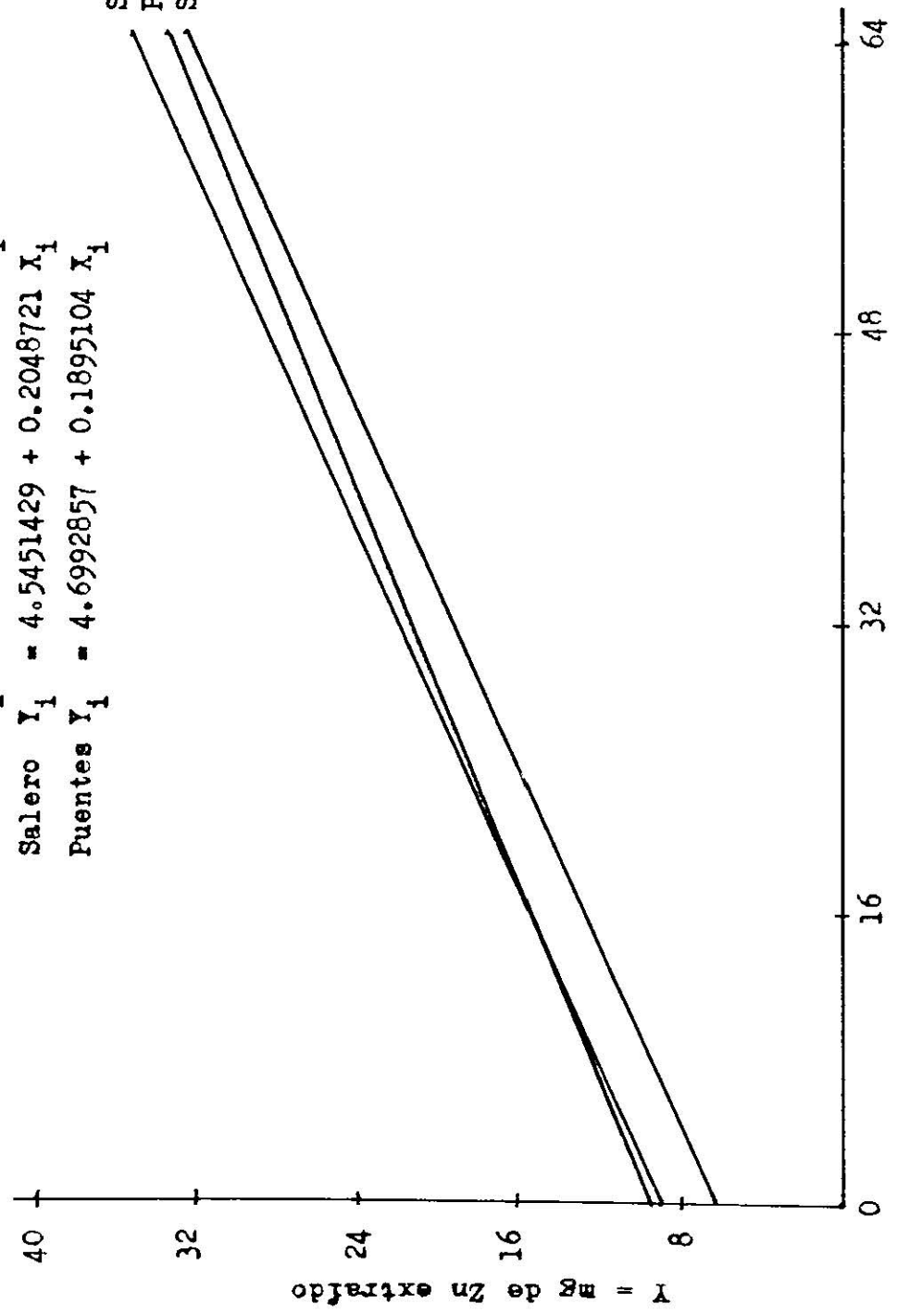


X = Cantidad de Zn agregado (mg/lit de suelo)

Figura 16. Curvas de sorción de Zn, para la Zona Centro, con sus respectivos modelos de regresión.

Sandía  $Y_i = 3.0628571 + 0.2096198 X_i$   
 Salero  $Y_i = 4.5451429 + 0.2048721 X_i$   
 Puentes  $Y_i = 4.6992857 + 0.1895104 X_i$

Salero CFR = 79.51  
 Puentes CFR = 81.04  
 Sándia CFR = 79.03



X = Cantidad de Zn agregado (mg/lt de suelo)

Figura 17. Curvas de sorción de Zn, para la Zona Sur, con sus respectivos modelos de regresión.

## BIBLIOGRAFIA

1. Bear Firman, E. et al. 1948. Diagnostic techniques for soils and crops. The American Potash Institute. Washington D.C., United States.
2. Black, C.A. 1950. Soil-plant relationships. John Wiley & Sons - Inc. New York, United States.
3. Buckman, H.O. y Brady N.C. 1966. Naturaleza y propiedades de los suelos. Montaner y Simon, S.A. 2da reimpression 1977. Barcelona, España.
4. Chirinosa, A.V. et al. 1977. Análisis de suelos con fines de fertilidad. Ministerio de Agricultura y Cría. Oficina de Comunicaciones Agrícolas del CENIAP. Maracay, Costa Rica.
5. Devlin, M.R. 1980. Fisiología vegetal. Ediciones Omega. Traducido del inglés de la Editorial Reinhold Publishing Corporation New York, Estados Unidos por Dr. Xavier Limona Pagés. Barcelona, España.
6. Días Romeau, R. y Hunter, A. 1978. Metodologías de muestreo de suelos, análisis químico de suelos y tejido vegetal y de investigación en invernadero. CATIE. Proyecto Centroamericano de Fertilidad de Suelos. Turrialba, Costa Rica.
7. Ferreira de Novais, R. y Braga, J.M. 1972. Efeito do tamanho de vaso e do número de plantas por vaso sobre a producao de massa vegetal em experimento de estufa. Revista CERES, vol. XIX No. 106, 1972. Brasil.
8. García Monarrez, J.H. 1979. Evaluación de tolerancia y susceptibilidad del sorgo a la clorosis ferrica y algunos mecanismos de adaptación. Tesis. Colegio de Postgraduados. Chapingo, Mex.

9. Guanos y Fertilizantes de México, S.A. 1973. Análisis químicos de suelos y plantas. GFMSA. México, D.F.
10. Jenny, H., Vlamis, J. and Martin, W.E. 1950. Greenhouse assay of fertility on California soils. Hilgardia, vol. 20, No. 1, - May 1950. California, United States.
11. López Ritas, J. 1967. El diagnóstico de los suelos y plantas. Métodos de campo y laboratorio. Mundi-Prensa. Madrid, España.
12. Martini, J.A. 1969. Caracterización del estado nutricional de los principales "latosoles" de Costa Rica, mediante la técnica de del elemento faltante en el invernadero. Turrialba, Vol. 19, No. 3, trimestre Julio-Septiembre 1969. Turrialba, Costa Rica.
13. Millar, C.E., Turk, L.M. y Foth, H.D. 1972. Fundamentos de la ciencia del suelo. CECSA, cuarta impresión, 1980. México, D.F.
14. Mortvedt, J.J., Giordano, P.M. y Lindsay, W.L. 1972. Micronutrientes en agricultura. AGT Editor, S.A., primera edición en español 1983. México, D.F.
15. Rodríguez, F.H. y Treviño, E. 1984. Caracterización del estado nutricional de los ultisoles, en la provincia de Cantón. Puriscal, Costa Rica. Problema especial, CATIE.
16. Russell, J.E. 1950. Soli conditions and plant growth. Longmans - Green and Co., eight edition. London, England.
17. Russell, J.E. 1968. Las condiciones del suelo y el crecimiento de las plantas. Editorial Aguilar, 4a edición. Madrid, España.

18. Sánchez del Castillo, F. y Escalante Rebolledo, E.R. 1981. Hidroponía. Un sistema de producción (principios y métodos de cultivo). PATUACH, primera edición. Chapingo, México.
19. Schenkel, S.G. 1971. Evaluación de la fertilidad de un suelo, mediante la producción de materia seca en ensayos de macetas. - I. Representaciones gráficas usadas. Turrialba; vol. 21, No. 3, trimestre Julio-Septiembre 1971. Turrialba, Costa Rica.
20. Schenkel, S.G. 1971. Evaluación de la fertilidad de un suelo, mediante la producción de materia seca en ensayos de macetas. - II. Diagrama de fertilidad. Turrialba; vol. 21, No. 3, trimestre Julio-Septiembre 1971. Turrialba, Costa Rica.
21. Schenkel, S.G. y Floody, A.T. 1971. Evaluación de la fertilidad de un suelo, mediante la producción de materia seca en ensayos de macetas. IV. Determinación de la fórmula de fertilización mediante Trifolium subterraneum y Lolium perenne x Lolium multiflorum. Turrialba; vol. 21, No. 4, trimestre Octubre Diciembre 1971. Turrialba, Costa Rica.
22. Schenkel, S.G. y Gajardo, M.M. 1971. Evaluación de la fertilidad de un suelo mediante la producción de materia seca en ensayos de macetas. III. Formula de fertilización del abonamiento de corrección. Turrialba; vol. 21, No. 3, trimestre Julio-Septiembre 1971. Turrialba, Costa Rica.
23. Schutte, H.K. 1966. Biología de los microelementos y su función. Editorial Tecnos S.A. Madrid, España.
24. Steward, F.C. 1963. A treatise of plant physiology, vol. III. Academic Press. New York, U.S.A.

25. Teuscher, H. y Adler, R. 1965. El suelo y su fertilidad. Compañía Editorial Continental, S.A. 5ª impresión, 1980. México, - D.F.
26. Tisdale, L.S. y Nelson, L.W. 1966. Fertilidad de suelos y fertilizantes. Editorial UTEHA, 1ª edición en español, 1982. México, D.F.
27. Villaroel Almaraz, J.M. 1979. Respuesta del maíz y frijol a la aplicación de gallinaza, estiércol vacuno, zinc, manganeso y hierro en suelos de Cd. Serdán, Puebla, bajo condiciones de campo e invernadero. Tesis. Colegio de Postgraduados, Chapingo, Mexico.
28. Waugh, L.D.; Cate, B.R. Jr. and Nelson, A.L. 1973. Discontinuous models for rapid correlation, interpretation and utilization of soils analysis and fertilizer response data. International Soil Fertility, Evaluation e Improvement Program. North Carolina State University, U.S.A.
29. Richard L. Lindsay 1979. Chemical equilibria in soils. Copyright by John Willey & Sons, Inc. New York, U.S.A.

