

CENTRO AGRONÓMICO TROPICAL DE INVESTIGACIÓN Y ENSEÑANZA
SUBDIRECCIÓN GENERAL ADJUNTA DE ENSEÑANZA
PROGRAMA DE POSGRADO

PROPIEDADES FÍSICO-QUÍMICAS DE LOS SUELOS Y RESPUESTAS A LA
FERTILIZACIÓN EN MICROPARCELAS EN ÁREAS PARA CACAO

Tesis sometida a la consideración del Comité Técnico Académico del Programa de Estudios de Posgrado en Ciencias Agrícolas y recursos Naturales del Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza, para optar al grado de

Magister Scientiae

por

Eugenia Hidalgo Matlock

CATIE
Turrialba, Costa Rica
1989

Esta Tesis ha sido aceptada, en su presente forma, por la Coordinación del Programa de Estudios de Posgrado en Ciencias Agrícolas y Recursos Naturales del CATIE, y aprobada por el Comité Asesor del estudiante como requisito parcial para optar al grado de:

Magister Scientiae

COMITE ASESOR:

Gustavo Enriquez, Ph. D.
Profesor consejero

Roberto Díaz-Romeu, M. Sc.
Miembro del Comité

José Arze B., M. Sc.
Miembro del Comité

Carlos Burgos, Ph. D.
Miembro del Comité

Ronnie Del Camino, Ph. D.
Miembro del Comité

Ramón Lastra Rodríguez, Ph. D.
Coordinador, Programa de Estudios de Posgrado

Dr. José Luis Parisí
Subdirector General Adjunto de Enseñanza

Eugenia Hidalgo Matlock
Candidato

DEDICATORIA

A mi esposo, Daniel

A mi familia Mamá Teresa, Mamá Nelly, Papaminin, Mario, Eula,
Miguel, Gabriela, Mario V., Eulalia, María Teresa,
Benjamín y María Francisca

por su ejemplo, amor y estímulo ...

AGRADECIMIENTO

A Gustavo Enríquez, Roberto Díaz-Romeu y José Arze por sus enseñanzas, orientación y apoyo en todo momento.

Al personal del Laboratorio de Suelos del CATIE: Carlos Fernández, Carlos Araya, Mario Jiménez, Gerardo Cedeño y Carlos Castillo por su amistad y ayuda brindada en los análisis de laboratorio.

Al personal del Programa de Cacao: Oscar Brenes, Antonio Mora, Asdrubal Chavarría, Carlos Castillo y Ana Ligia Rojas por su apoyo incondicional en la realización del trabajo de campo.

A las fuentes de financiamiento: Programa de Incremento de la Productividad Agrícola (FIPA) (Convenio MAG-CATIE) y American Cocoa Research Institute (ACRI) por el apoyo económico de todo el trabajo de tesis.

A mis compañeros de estudio en el área de suelos: Alexis Samudio, Antonio Vallejos, Jaime Sánchez, Raúl Medina y Eliseo Ocrela por su amistad y colaboración.

A Sonia Jorge, Marcia Mendieta y Karla Monterroso por su cariño y estímulo.

HIDALGO MATLOCK, E. 1989. Propiedades físico-químicas de los suelos y respuestas a la fertilización en microparcelas en áreas para cacao. Tesis Mag. Sc. Turrialba, C.R., CATIE. 221 p.

Palabras claves: Propiedades físico-químicas, microparcelas de maíz, respuesta a la fertilización, suelos, cacao.

RESUMEN

Para determinar la respuesta a la fertilización de los suelos en áreas cacaoteras, se establecieron 38 microparcelas de maíz en las diferentes zonas productoras de cacao, y se llevaron a cabo muestreos y análisis de suelos para determinar sus propiedades físicas y químicas. Adicionalmente, se trató de modificar el modelo de programación de fertilizantes propuesto para cacao, por medio de la correlación de soluciones extractoras de fósforo e información teórica referente a las relaciones de las bases intercambiables entre sí y con el pH y el nitrógeno.

Los análisis físicos indicaron para estos suelos, restricciones tales como: conductividad hidráulica muy rápida, baja porosidad total (< 66%), baja retención de humedad y texturas muy finas.

Desde el punto de vista nutricional, el análisis químico de los suelos señaló como problemas principales la deficiencia de fósforo, la baja relación C:N (< 9), el desbalance entre bases intercambiables y las deficiencias de azufre, zinc y manganeso.

Los resultados de las microparcelas de maíz mostraron una respuesta estadísticamente significativa a las dosis correspondientes a 2 y 3 veces el nivel básico de fertilización. Dichas dosis se determinaron por medio de la interpretación del análisis de suelos y el cuadro de estimados de fertilizantes para cacao. A nivel individual, se obtuvo una mayor respuesta a la adición de P, luego a la de N y por último a la de K. Para el Mg, S y Ca, no existió casi respuesta, debido probablemente a la ausencia de elementos menores dentro de la fórmula de fertilización básica.

Para el modelo de programación de fertilizantes para cacao se determinó la necesidad de modificar la relación nitrógeno total:fósforo total (NT:PT), debido a los problemas que conlleva la utilización del criterio de PT; y modificarlo por valores óptimos individuales de nitrógeno total y fósforo disponible. En el caso de la relación entre las bases intercambiables, se consideró pertinente dejar las proporciones establecidas en el modelo (8:66:24%), dado que para las condiciones de Costa Rica, las mismas se asemejan bastante. Para la relación entre las bases intercambiables, el pH y el nitrógeno se consideró necesario experimentar primero para luego determinar su funcionalidad dentro del modelo.

HIDALGO MATLOCK, E. 1989. Physical and chemical properties of soils and fertilizers response in microplots in cocoa areas. Tesis Mag. Sc. Turrialba, C.R., CATIE. 221 p.

Key words: Physical and chemical properties, maize microplot method, fertilizers response, soils, cocoa.

SUMMARY

The objective of this thesis was to determine the response to fertilization in soils normally used in Costa Rica for the cocoa production. The experimental work involved 38 maize microplots in the different cocoa areas, and the sampling and analysis of the physical and chemical properties of their soils. At the same time, a second objective was to modify the programming model for fertilizer requirements in cocoa, by means of the correlation of phosphorus extracting solutions and the theoretical information about the relationship between the exchangeable bases, pH and total nitrogen.

The physical analysis of these soils indicated the following restrictions: a very rapid hydraulic conductivity, low total porosity (< 66%), low water retention and very fine textures.

From the nutritional point of view, the chemical analysis suggested serious problems such as phosphorus deficiencies, low C:N relationship (< 9), lack of balance between the exchangeable bases and deficiencies of sulfur, zinc and manganese.

The maize microplots responded significantly to the fertilization with 2 and 3 times the basic rate. The rates used were determined by means of the soil analysis interpretation and the table of estimates of fertilization for cocoa. From an individual point of view, there was a higher response to P as compared to N, and to N as compared to K. For Mg, S y Ca, there was very little or no response, probably due to the absence of microelements in the basic fertilization formula.

It was determined for the programming model for fertilizer requirements in cocoa, the need to modify the relationship between total nitrogen and total phosphorus (NT:PT), due to the problems brought about by the use of the total phosphorus criterion, and the need to change it with the individual standard values for total nitrogen and available phosphorus. For the relationship between the exchangeable bases, it was considered appropriate to use the same as in the model (8:66:24%), because they are similar to the conditions prevailing in Costa Rica. On the other hand, it was considered necessary to increase the experimental basis before the appropriate relationship between the exchangeable bases, pH and total nitrogen, is considered useful.

CONTENIDO

	Página
HOJA DE APROBACION	ii
DEDICATORIA	iii
AGRADECIMIENTO	iv
RESUMEN	v
SUMMARY	vi
LISTA DE CUADROS	xii
LISTA DE FIGURAS	xiv
1. INTRODUCCION	1
2. REVISION DE LITERATURA	3
2.1 Suelos para cacao	3
2.1.1 Propiedades físicas	3
2.1.1.1 Profundidad del suelo y volumen de las raíces	4
2.1.1.2 Drenaje y aereación	4
2.1.1.3 Textura	5
2.1.1.4 Estructura del suelo	6
2.1.1.5 Capacidad de retención de humedad	6
2.1.1.6 Conductividad hidráulica	7
2.1.1.7 Espacio poroso total	8
2.1.1.8 Densidad aparente	9
2.1.2 Propiedades químicas	9
2.1.2.1 Materia orgánica	10
2.1.2.2 Relación carbono:nitrógeno	11
2.1.2.3 El pH del suelo	11
2.1.2.4 Capacidad de intercambio catiónico	11

	Página
2.1.2.5 Saturación de bases	12
2.1.2.6 Estado nutricional del suelo	12
2.1.2.6.1 Bases intercambiables y relaciones entre las mismas	13
2.1.2.6.2 Fósforo disponible	14
2.1.2.6.3 Aluminio intercambiable	14
2.2 Metodologías para evaluar la fertilidad de los suelos cultivados con cacao	15
2.3 Modelo de fertilización francés para cacao	15
2.3.1 Requerimientos de fósforo	17
2.3.2 Relación entre las bases intercambiables	18
2.3.3 Relación entre las bases intercambiables y el nitrógeno	19
2.3.4 Compensación por la exportación de la cosecha	20
2.3.5 Ubicación del fertilizante	20
2.3.6 Información requerida por el modelo	20
a. Análisis de suelo	20
b. Características de la plantación	21
c. Variables a proporcionar	21
2.3.7 Resultados obtenidos con el modelo	21
3. MATERIALES Y METODOS	23
3.1 Selección de las áreas de estudio	23
3.2 Muestreo de suelos	23
3.3 Análisis físicos y químicos de suelo	26
3.3.1 Propiedades químicas	26
3.3.2 Isotermas de adsorción de fósforo	26

3.3.3 Propiedades físicas	26
3.4 Interpretación de los análisis de suelo	27
3.5 Evaluación de la fertilidad del suelo	27
3.5.1 Establecimiento de los tratamientos	27
3.5.2 Establecimiento de las microparcelas de maíz	31
3.6 Complementación del programa de fertilización francés de Lotodé	32
3.6.1 Nivel de fósforo	32
3.6.2 Niveles de nitrógeno, calcio, magnesio, y pota- sio	35
3.7 Análisis estadístico	35
3.7.1 Análisis estadístico de las microparcelas de maíz	35
3.7.1.1 Descripción de la unidad experimental	35
3.7.1.2 Diseño experimental	35
3.7.1.3 Variables evaluadas	37
3.7.1.4 Análisis estadístico	37
3.8 Análisis estadístico del modelo de fertilización ...	37
3.8.1 Análisis estadístico de las soluciones extrac- toras	37
3.8.2 Análisis estadístico de la prueba de invern- dero	37
3.8.2.1 Descripción de la unidad experimental	37
3.8.2.2 Diseño experimental	38
3.8.2.3 Variables evaluadas	38
3.8.2.4 Análisis estadístico	38

	Página
4. RESULTADOS Y DISCUSION	39
4.1 Caracterización física de los suelos	39
4.1.1 Conductividad hidráulica	39
4.1.2 Densidad aparente	43
4.1.3 Densidad de partículas	43
4.1.4 Porosidad total	44
4.1.5 Retención de humedad y agua disponible	44
4.1.6 Textura	45
4.2 Caracterización química de los suelos	45
4.2.1 El pH del suelo	45
4.2.2 Materia orgánica	51
4.2.3 Carbono orgánico	52
4.2.4 Nitrógeno total	52
4.2.5 Relación C:N	53
4.2.6 Bases extraíbles y sus relaciones	54
4.2.7 Saturación de bases	56
4.2.8 Acidez extraíble y saturación de acidez	56
4.2.9 Fósforo disponible	57
4.2.10 Azufre	58
4.2.11 Elementos menores	58
4.2.12 Capacidad de intercambio catiónico	60
4.2.13 Porcentaje de adsorción de fósforo	60
4.3 Evaluación de la fertilidad del suelo a través de la prueba de microparcels de maíz	63
4.3.1 Cantón de Corredores	63
4.3.2 Cantón de Guatuso	64

	Página
4.3.3 Cantón de Limón	69
4.3.4 Cantón de Los Chiles	71
4.3.5 Cantón de Matina	75
4.3.6 Cantón de Osa	80
4.3.7 Cantón de Pococí	83
4.3.8 Cantón de Sarapiquí	85
4.3.9 Cantón de San Carlos	93
4.3.10 Cantón de Talamanca	100
4.3.11 Discusión	107
4.4 Modelo de fertilización	113
4.4.1 Fósforo determinado con las diferentes soluciones extractoras	113
4.4.2 Prueba de invernadero	117
4.4.3 Niveles críticos	122
4.4.4 Modificación del modelo de programación de fer- tilización para cacao	131
a. Relación N:P total	131
b. Relaciones entre bases intercambiables	132
c. Relaciones entre bases intercambiables, el pH y el nitrógeno total	134
d. Otras modificaciones	134
5. CONCLUSIONES	135
6. RECOMENDACIONES	140
7. LITERATURA CITADA	141
8. APENDICE	149

LISTA DE CUADROS

Cuadro no.	Página
1. Clases de permeabilidad para suelos saturados, y su ámbito correspondiente de conductividad hidráulica y permeabilidad	8
2. Clasificación de los suelos según su contenido de materia orgánica y carbono	10
3. Ubicación provincial y cantonal, aptitud ecológica y clasificación de suelos para las 40 localidades	24
4. Guía para la interpretación de los niveles de los elementos en la clasificación del estado nutricional del suelo	28
5. Estimado de fertilizantes para aplicación al suelo, expresado en kg ha ⁻¹	28
6. Soluciones extractoras y relaciones suelo:solución utilizados por Lotodé	33
7. Soluciones extractoras y relaciones suelo:solución utilizados por el Laboratorio de suelos del CATIE	33
8. Metodologías para determinar el fósforo extraíble del suelo y empleado en el estudio de correlación	34
9. Tratamiento base de fertilizante para cada uno de los suelos en la prueba de invernadero	36
10. Propiedades físicas de los suelos en cada una de las cuarenta localidades	40
11. Análisis textural de los suelos en cada una de las cuarenta localidades	41
12. Número de localidades en las diferentes zonas productoras de cacao, de acuerdo a las propiedades físicas	42
13. Análisis químico de los suelos en cada una de las cuarenta localidades	46
14. Bases intercambiables, extraíbles y sus relaciones para los suelos en cada una de las cuarenta localidades	47

Cuadro no.	Página
15. Número de localidades en las diferentes zonas productoras de cacao, de acuerdo al ámbito de fertilidad relativa	48
16. Porcentaje de adsorción de P y pH en Naf 1N para los 40 suelos	62
17. Principales restricciones de los suelos en las tres regiones productoras de cacao, de acuerdo a los análisis físicos y químicos	109
18. Fósforo extraído con 5 soluciones extractoras diferentes	114
19. Relaciones entre las soluciones extractoras de Mehlich I, bicarbonato de amonio + DTPA (B.A.+ DTPA), Bray II, Olsen+EDTA y Olsen-Dabin	118
20. Cálculos utilizados en el nuevo procedimiento de Cate-Nelson en la determinación del nivel crítico para la solución extractora de Bicarbonato de amonio + DTPA	123
21. Cálculos utilizados en el nuevo procedimiento de Cate-Nelson en la determinación del nivel crítico para la solución extractora Mehlich I	124
22. Cálculos utilizados en el nuevo procedimiento de Cate-Nelson en la determinación del nivel crítico para la solución extractora Bray II	125
23. Cálculos utilizados en el nuevo procedimiento de Cate-Nelson en la determinación del nivel crítico para la solución extractora Olsen+EDTA	126
24. Cálculos utilizados en el nuevo procedimiento de Cate-Nelson en la determinación del nivel crítico para la solución extractora Olsen-Dabin	127

LISTA DE FIGURAS

Figura no.	Página
1. Ubicación geográfica de las 40 localidades muestreadas	25
2. Producción de materia seca obtenida en la prueba de microparcels de maíz, para el suelo C-08 perteneciente a Laurel, en el cantón de Corredores	65
3. Producción de materia seca obtenida en la prueba de microparcels de maíz, para el suelo G-14 perteneciente al cantón de Guatuso	65
4. Producción de materia seca obtenida en la prueba de microparcels de maíz, para el suelo G-16 perteneciente al cantón de Guatuso	67
5. Producción de materia seca obtenida en la prueba de microparcels de maíz, para el suelo G-17 perteneciente al cantón de Guatuso	67
6. Producción de materia seca obtenida en la prueba de microparcels de maíz, para el suelo G-23 perteneciente al cantón de Guatuso	70
7. Producción de materia seca obtenida en la prueba de microparcels de maíz, para el suelo L-13 perteneciente a Bananito en el cantón de Limón	70
8. Producción de materia seca obtenida en la prueba de microparcels de maíz, para el suelo L-35 perteneciente a Bananito en el cantón de Limón	72
9. Producción de materia seca obtenida en la prueba de microparcels de maíz, para el suelo LC-37 perteneciente al cantón de Los Chiles	72
10. Producción de materia seca obtenida en la prueba de microparcels de maíz, para el suelo LC-38 perteneciente al cantón de Los Chiles	74
11. Producción de materia seca obtenida en la prueba de microparcels de maíz, para el suelo LC-39 perteneciente al cantón de Los Chiles	74
12. Producción de materia seca obtenida en la prueba de microparcels de maíz, para el suelo M-01 perteneciente al cantón de Matina	77

Figura no.	Página
13. Producción de materia seca obtenida en la prueba de microparcelas de maíz, para el suelo M-06 perteneciente al cantón de Matina	77
14. Producción de materia seca obtenida en la prueba de microparcelas de maíz, para el suelo M-22 perteneciente al cantón de Matina	79
15. Producción de materia seca obtenida en la prueba de microparcelas de maíz, para el suelo M-27 perteneciente al cantón de Matina	79
16. Producción de materia seca obtenida en la prueba de microparcelas de maíz, para el suelo O-21 perteneciente a Piedras Blancas en el cantón de Osa	81
17. Producción de materia seca obtenida en la prueba de microparcelas de maíz, para el suelo O-25 perteneciente a Piedras Blancas en el cantón de Osa	81
18. Producción de materia seca obtenida en la prueba de microparcelas de maíz, para el suelo O-29 perteneciente a Piedras Blancas en el cantón de Osa	84
19. Producción de materia seca obtenida en la prueba de microparcelas de maíz, para el suelo P-05 perteneciente a Jiménez en el cantón de Pococí	84
20. Producción de materia seca obtenida en la prueba de microparcelas de maíz, para el suelo S-02 perteneciente a Río Frío en el cantón de Sarapiquí	86
21. Producción de materia seca obtenida en la prueba de microparcelas de maíz, para el suelo S-07 perteneciente a Río Frío en el cantón de Sarapiquí	86
22. Producción de materia seca obtenida en la prueba de microparcelas de maíz, para el suelo S-09 perteneciente a Río Frío en el cantón de Sarapiquí	89
23. Producción de materia seca obtenida en la prueba de microparcelas de maíz, para el suelo S-10 perteneciente a Río Frío en el cantón de Sarapiquí	89
24. Producción de materia seca obtenida en la prueba de microparcelas de maíz, para el suelo S-20 perteneciente a Río Frío en el cantón de Sarapiquí	91

Figura no.	Página
25. Producción de materia seca obtenida en la prueba de microparcels de maíz, para el suelo S-30 perteneciente a Río Frio en el cantón de Sarapiquí	91
26. Producción de materia seca obtenida en la prueba de microparcels de maíz, para el suelo S-31 y S-32 perteneciente a La Virgen en el cantón de Sarapiquí	94
27. Producción de materia seca obtenida en la prueba de microparcels de maíz, para el suelo SC-40 perteneciente a Pital en el cantón de San Carlos	94
28. Producción de materia seca obtenida en la prueba de microparcels de maíz, para el suelo SC-41 perteneciente a Pital en el cantón de San Carlos	96
29. Producción de materia seca obtenida en la prueba de microparcels de maíz, para el suelo SC-42 perteneciente a Pital en el cantón de San Carlos	96
30. Producción de materia seca obtenida en la prueba de microparcels de maíz, para el suelo SC-43 perteneciente a Cutris en el cantón de San Carlos	98
31. Producción de materia seca obtenida en la prueba de microparcels de maíz, para el suelo SC-44 perteneciente a Focosol en el cantón de San Carlos	98
32. Producción de materia seca obtenida en la prueba de microparcels de maíz, para el suelo SC-45 perteneciente a Aguas Zarcas en el cantón de San Carlos	101
33. Producción de materia seca obtenida en la prueba de microparcels de maíz, para el suelo T-04 perteneciente a Sixaola en el cantón de Talamanca	101
34. Producción de materia seca obtenida en la prueba de microparcels de maíz, para el suelo T-11 perteneciente a Puerto Vargas en el cantón de Talamanca	103
35. Producción de materia seca obtenida en la prueba de microparcels de maíz, para el suelo T-12 perteneciente a Puerto Vargas en el cantón de Talamanca	103
36. Producción de materia seca obtenida en la prueba de microparcels de maíz, para el suelo T-18 perteneciente al cantón de Talamanca	105

Figura no.	Página
37. Producción de materia seca obtenida en la prueba de microparcelas de maíz, para el suelo T-24 perteneciente a Puerto Vargas en el cantón de Talamanca	105
38. Producción de materia seca obtenida en la prueba de microparcelas de maíz, para el suelo T-26 perteneciente al cantón de Talamanca	106
39. Niveles preliminares de fertilización para los suelos cultivados con cacao en la Región Huetaar Norte y Subregión Cañas de Costa Rica	110
40. Niveles preliminares de fertilización para los suelos cultivados con cacao en la Región Huetaar Atlántica de Costa Rica	111
41. Niveles preliminares de fertilización para los suelos cultivados con cacao en la Región Brunca de Costa Rica	112
42. Fósforo del suelo extraído con la solución extractora bicarbonato de amonio + DTPA en relación al rendimiento relativo de maíz, en la prueba de invernadero	128
43. Fósforo del suelo extraído con la solución extractora Mehlich I en relación al rendimiento relativo de maíz, en la prueba de invernadero	128
44. Fósforo del suelo extraído con la solución extractora Bray II en relación al rendimiento relativo de maíz, en la prueba de invernadero	129
45. Fósforo del suelo extraído con la solución extractora Olsen+EDTA en relación al rendimiento relativo de maíz, en la prueba de invernadero	129
46. Fósforo del suelo extraído con la solución extractora Olsen-Dabin en relación al rendimiento relativo de maíz, en la prueba de invernadero	130

APENDICE

		Página
CUADRO	1A Aptitud ecológica para el cultivo de cacao	150
CUADRO	2A Resumen de la metodología utilizada en el análisis químico de los suelos	151
CUADRO	3A Cantidades agregadas de KH_2PO_4 para las isotermas de adsorción de fósforo	152
CUADRO	4A Tratamientos en la prueba de microparcels de maíz, aplicados al suelo C-08 en Naranjo de Laurel, cantón de Corredores	153
CUADRO	5A Tratamientos en la prueba de microparcels de maíz, aplicados al suelo G-14 en la Colonia Naranjeña del IDA, cantón de Guatuso	153
CUADRO	6A Tratamientos en la prueba de microparcels de maíz, aplicados al suelo G-16 en Río Celeste, IDA, cantón de Guatuso	154
CUADRO	7A Tratamientos en la prueba de microparcels de maíz, aplicados al suelo G-17 en Río Celeste, IDA, cantón de Guatuso	154
CUADRO	8A Tratamientos en la prueba de microparcels de maíz, aplicados al suelo G-23 en La Kaitira, IDA, cantón de Guatuso	155
CUADRO	9A Tratamientos en la prueba de microparcels de maíz, aplicados al suelo L-13 en Bananito Norte, cantón de Limón	155
CUADRO	10A Tratamientos en la prueba de microparcels de maíz, aplicados al suelo L-35 en Bananito, cantón de Limón	156
CUADRO	11A Tratamientos en la prueba de microparcels de maíz, aplicados al suelo LC-37 en San Jorge, cantón de Los Chiles	156
CUADRO	12A Tratamientos en la prueba de microparcels de maíz, aplicados al suelo LC-38 en San Jorge, cantón de Los Chiles	157
CUADRO	13A Tratamientos en la prueba de microparcels de maíz, aplicados al suelo LC-39 en San Jorge, cantón de Los Chiles	157

	Página
CUADRO 14A Tratamientos en la prueba de microparcelas de maíz, aplicados al suelo M-01 en Leyte, cantón de Matina	158
CUADRO 15A Tratamientos en la prueba de microparcelas de maíz, aplicados al suelo M-06 en San Miguel, cantón de Matina	158
CUADRO 16A Tratamientos en la prueba de microparcelas de maíz, aplicados al suelo M-22 en Sahara, cantón de Matina	159
CUADRO 17A Tratamientos en la prueba de microparcelas de maíz, aplicados al suelo M-27 en Palestina de Zent, cantón de Matina	159
CUADRO 18A Tratamientos en la prueba de microparcelas de maíz, aplicados al suelo O-21 en Piedras Blancas (Centro), cantón de Osa	160
CUADRO 19A Tratamientos en la prueba de microparcelas de maíz, aplicados al suelo O-25 en el Km 29 Piedras Blancas, cantón de Osa	160
CUADRO 20A Tratamientos en la prueba de microparcelas de maíz, aplicados al suelo O-29 en Finca Limón, Piedras Blancas, cantón de Osa	161
CUADRO 21A Tratamientos en la prueba de microparcelas de maíz, aplicados al suelo P-05 en Jiménez, cantón de Pococí	161
CUADRO 22A Tratamientos en la prueba de microparcelas de maíz, aplicados al suelo S-02 en Finca 2 de Horquetas, cantón de Sarapiquí	162
CUADRO 23A Tratamientos en la prueba de microparcelas de maíz, aplicados al suelo S-07 en Horquetas, cantón de Sarapiquí	162
CUADRO 24A Tratamientos en la prueba de microparcelas de maíz, aplicados al suelo S-09 en Cubujuquí de Horquetas, cantón de Sarapiquí	163
CUADRO 25A Tratamientos en la prueba de microparcelas de maíz, aplicados al suelo S-10 en Finca Agua de Horquetas, cantón de Sarapiquí	163

CUADRO 26A	Tratamientos en la prueba de microparcelas de maíz, aplicados al suelo S-20 en La Rambla, Horquetas, cantón de Sarapiquí	164
CUADRO 27A	Tratamientos en la prueba de microparcelas de maíz, aplicados al suelo S-30 en Ticarí de Horquetas, cantón de Sarapiquí	164
CUADRO 28A	Tratamientos en la prueba de microparcelas de maíz, aplicados al suelo S-31 en La Virgen, cantón de Sarapiquí	165
CUADRO 29A	Tratamientos en la prueba de microparcelas de maíz, aplicados al suelo S-32 en La Virgen, cantón de Sarapiquí	165
CUADRO 30A	Tratamientos en la prueba de microparcelas de maíz, aplicados al suelo SC-40 en Chaparrón, Pital, cantón de San Carlos	166
CUADRO 31A	Tratamientos en la prueba de microparcelas de maíz, aplicados al suelo SC-41 en Veracruz, Pital, cantón de San Carlos	166
CUADRO 32A	Tratamientos en la prueba de microparcelas de maíz, aplicados al suelo SC-42 en la Trincheras, Veracruz, Pital, cantón de San Carlos ..	167
CUADRO 33A	Tratamientos en la prueba de microparcelas de maíz, aplicados al suelo SC-43 en Esterito, Cutris, cantón de San Carlos	167
CUADRO 34A	Tratamientos en la prueba de microparcelas de maíz, aplicados al suelo SC-44 en Santa Cecilia, Buenos Aires, Pocosol, cantón de San Carlos	168
CUADRO 35A	Tratamientos en la prueba de microparcelas de maíz, aplicados al suelo SC-45 en La Gloria, Aguas Zarcas, cantón de San Carlos	168
CUADRO 36A	Tratamientos en la prueba de microparcelas de maíz, aplicados al suelo T-04 en Margarita de Sixaola, cantón de Talamanca	169
CUADRO 37A	Tratamientos en la prueba de microparcelas de maíz, aplicados al suelo T-11 en la entrada de Puerto Vargas, cantón de Talamanca ...	169

	Página	
CUADRO 38A	Tratamientos en la prueba de microparcelas de maíz, aplicados al suelo T-12 en Finca Babilonia, Puerto Vargas, cantón de Talamanca	170
CUADRO 39A	Tratamientos en la prueba de microparcelas de maíz, aplicados al suelo T-18 en Volio, cantón de Talamanca	170
CUADRO 40A	Tratamientos en la prueba de microparcelas de maíz, aplicados al suelo T-24 en Suárez de Puerto Vargas, cantón de Talamanca	171
CUADRO 41A	Tratamientos en la prueba de microparcelas de maíz, aplicados al suelo T-26 en Bambú de Talamanca, cantón de Talamanca	171
CUADRO 42A	Resumen de la metodología utilizada en el análisis de tejidos vegetales	172
CUADRO 43A	Ambitos de suficiencia de los elementos nutritivos para plantas completas de maíz, desde los 30 a 45 días después de la emergencia	173
CUADRO 44A	Cantidades de P-agregado y en solución para cada uno de los 40 suelos, en el análisis de isotermas de sorción de fósforo	174
FIGURA 1A	Representación gráfica de las isotermas de adsorción de fósforo	178
CUADRO 45A	Análisis de variancia por suelo según un diseño de bloques al azar, para la variable peso verde ($g\ planta^{-1}$), en la prueba de microparcelas de maíz	179
CUADRO 46A	Análisis de variancia por suelo según un diseño de bloques al azar, para la variable peso seco ($g\ planta^{-1}$), en la prueba de microparcelas de maíz	180
CUADRO 47A	Análisis de variancia por suelo según un diseño de bloques al azar, para la variable altura ($cm\ planta^{-1}$), en la prueba de microparcelas de maíz	181

	Página
CUADRO 48A Prueba de Duncan para los valores de peso verde (g planta ⁻¹), obtenidos en la prueba de microparcelas de maíz	182
CUADRO 49A Prueba de Duncan para los valores de peso seco (g planta ⁻¹), obtenidos en la prueba de microparcelas de maíz	184
CUADRO 50A Prueba de Duncan para los valores de altura (cm planta ⁻¹), obtenidos en la prueba de microparcelas de maíz	186
CUADRO 51A Análisis de variancia para altura (cm planta ⁻¹) por suelo, en la prueba de invernadero	188
CUADRO 52A Análisis de variancia para peso seco (g planta ⁻¹) por suelo, en la prueba de invernadero	189
CUADRO 53A Análisis de variancia para peso verde (g planta ⁻¹) por suelo, en la prueba de invernadero	190
CUADRO 54A Análisis de variancia para el nitrógeno foliar (%) por suelo, en la prueba de invernadero	191
CUADRO 55A Análisis de variancia para el fósforo foliar (%) por suelo, en la prueba de invernadero	192
CUADRO 56A Análisis de variancia para el potasio foliar (%) por suelo, en la prueba de invernadero	193
CUADRO 57A Análisis de variancia para calcio foliar (%) por suelo, en la prueba de invernadero	194
CUADRO 58A Análisis de variancia para el magnesio foliar (%) por suelo, en la prueba de invernadero	195
CUADRO 59A Análisis de variancia para el cobre foliar (ug g ⁻¹) por suelo, en la prueba de invernadero	196

CUADRO 60A	Análisis de variancia para el manganeso foliar ($\mu\text{g g}^{-1}$) por suelo, en la prueba de invernadero	197
CUADRO 61A	Análisis de variancia para el zinc foliar ($\mu\text{g g}^{-1}$) por suelo, en la prueba de invernadero	198
CUADRO 62A	Prueba de Duncan para los valores de altura (cm planta^{-1}), obtenidos en la prueba de invernadero	199
CUADRO 63A	Prueba de Duncan para los valores de peso seco (g planta^{-1}), obtenidos en la prueba de invernadero	201
CUADRO 64A	Prueba de Duncan para los valores de peso verde (g planta^{-1}), obtenidos en la prueba de invernadero	203
CUADRO 65A	Prueba de Duncan para los valores de nitrógeno foliar (%), obtenidos en la prueba de invernadero	205
CUADRO 66A	Prueba de Duncan para los valores de fósforo foliar (%), obtenidos en la prueba de invernadero	207
CUADRO 67A	Prueba de Duncan para los valores de potasio foliar (%), obtenidos en la prueba de invernadero	209
CUADRO 68A	Prueba de Duncan para los valores de calcio foliar (%), obtenidos en la prueba de invernadero	211
CUADRO 69A	Prueba de Duncan para los valores de magnesio foliar (%), obtenidos en la prueba de invernadero	213
CUADRO 70A	Prueba de Duncan para los valores de cobre foliar ($\mu\text{g g}^{-1}$), obtenidos en la prueba de invernadero	215
CUADRO 71A	Prueba de Duncan para los valores de manganeso foliar ($\mu\text{g g}^{-1}$), obtenidos en la prueba de invernadero	217

	Página
CUADRO 72A Prueba de Duncan para los valores de zinc foliar ($\mu\text{g g}^{-1}$), obtenidos en la prueba de invernadero	219
CUADRO 73A Análisis de variancia para peso seco (g planta^{-1}) en todas las 40 localidades	221