

CENTRO AGRONOMICO TROPICAL DE INVESTIGACION Y ENSEÑANZA  
SUBDIRECCION GENERAL ADJUNTA DE ENSEÑANZA  
PROGRAMA DE POSGRADO

PROPIEDADES FISICO-QUIMICAS DE LOS SUELOS Y RESPUESTAS A LA  
FERTILIZACION EN MICROPARCELAS EN AREAS 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 microparcels en áreas para cacao. Tesis Mag. Sc. Turrialba, C.R., CATIE. 221 p.

**Palabras claves:** Propiedades físico-químicas, microparcels 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 microparcels 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 si 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 microparcels 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 Lotodè .....	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 inverna- 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 <sup>-1</sup> .....	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 microparcelsas 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 microparcelsas 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 microparcelsas 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 microparcelsas 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 microparcelsas 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 microparcelsas 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 microparcelsas 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 microparcelsas 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 microparcelsas 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 microparcelsas 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 microparcelsas 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 microparcelsas 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 Huetar Norte y Subregión Cañas de Costa Rica .....	110
40. Niveles preliminares de fertilización para los suelos cultivados con cacao en la Región Huetar 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 <sup>-1</sup> ), obtenidos en la prueba de microparcelas de maíz .....	182
CUADRO 49A Prueba de Duncan para los valores de peso seco (g planta <sup>-1</sup> ), obtenidos en la prueba de microparcelas de maíz .....	184
CUADRO 50A Prueba de Duncan para los valores de altura (cm planta <sup>-1</sup> ), obtenidos en la prueba de microparcelas de maíz .....	186
CUADRO 51A Análisis de variancia para altura (cm planta <sup>-1</sup> ) por suelo, en la prueba de invernadero .....	188
CUADRO 52A Análisis de variancia para peso seco (g planta <sup>-1</sup> ) por suelo, en la prueba de invernadero .....	189
CUADRO 53A Análisis de variancia para peso verde (g planta <sup>-1</sup> ) 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 <sup>-1</sup> ) 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 ( $\text{cm planta}^{-1}$ ), obtenidos en la prueba de invernadero .....	199
CUADRO 63A	Prueba de Duncan para los valores de peso seco ( $\text{g planta}^{-1}$ ), obtenidos en la prueba de invernadero .....	201
CUADRO 64A	Prueba de Duncan para los valores de peso verde ( $\text{g planta}^{-1}$ ), 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 ( $\text{g planta}^{-1}$ ) en todas las 40 localidades .....	221