

**CENTRO AGRONÓMICO TROPICAL DE
INVESTIGACIÓN Y ENSEÑANZA
CATIE**

PROGRAMA DE ENSEÑANZA

ÁREA DE POSTGRADO

**CARACTERÍSTICAS FÍSICO-QUÍMICAS
INDICADORAS DE LA SOSTENIBILIDAD DE
LOS SUELOS EN LA CUENCA MEDIA DEL
RÍO REVENTADO, CARTAGO, COSTA RICA.**

Tesis sometida a la consideración del Comité Técnico
de Postgrado y Capacitación del Programa de Enseñanza
en Ciencias Agrícolas y Recursos Naturales del
Centro Agronómico Tropical de Investigación y
Enseñanza, para optar al grado de

MAGISTER SCIENTIAE

POR

CARLOS ROBERTO PAZ MORALES

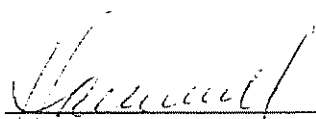
Turrialba, Costa Rica

Enero 1995

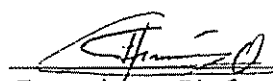
Esta tesis ha sido aceptada en su presente forma, por la Jefatura del Area de Postgrado en Ciencias Agrícolas y Recursos Naturales del CATIE y aprobada por el Comité Asesor del estudiante como requisito parcial para optar al grado de:

MAGISTER SCIENTIAE

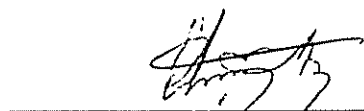
FIRMANTES:



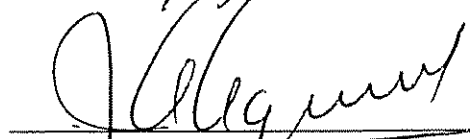
Jorge Faustino Manco, Ph.D.
Profesor Consejero



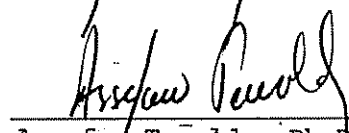
Francisco Jiménez O., Ph.D
Miembro Comité Asesor



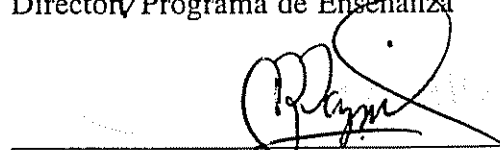
Sergio Velásquez M., M.Sc.
Miembro Comité Asesor



Juan Antonio Aguirre, Ph.D.
Jefe, Area de Postgrado



Assefaw Tewolde, Ph.D.
Director, Programa de Enseñanza



Carlos Roberto Paz Morales
Candidato

DEDICATORIA

Con especial dedicación a mi recordado padre, Ing.Agr. Roberto Paz Abogavir (QEPD), quien me motivó para que realizara este sueño y que no alcanzó a verlo. Igualmente a mi adorada madre Alma Luz Morales Vda de Paz por su amor, apoyo y sabios consejos durante mis años de vida.

A mi amada esposa Barbara Castillo y a mi adorada hija Carla Alejandra, motivo del esfuerzo para superarme; gracias por su amor, dedicación, esfuerzo y paciencia.

A mis hermanos Raúl Ernesto, Ramón Enrique, Alma Jacqueline y a mi cuñada y sobrino con amor.

A mi querida suegra Irma Ruiz y a mis cuñadas Larissa y Mildred, con mucho respeto y cariño.

AGRADECIMIENTOS

A DIOS todopoderoso, por iluminarnos y hacer agradable nuestra estadía en este lindo país, Costa Rica.

A mi profesor consejero y director de tesis Dr. Jorge Faustino M. por su apreciable amistad, por dedicarme su valioso tiempo en la dirección de este trabajo y por sus buenos y oportunos consejos.

A los miembros del Comité Asesor de tesis: especialmente al Dr. Francisco Jiménez O. por su interés y permanente dedicación y apoyo profesional en cada momento y al Dr. Jean Collinet.

A mis amigos Jorge Fernando Navia, compañero de estudios, por su apoyo y acertadas sugerencias y a su esposa Aura Marina e hijos por la linda amistad y calor familiar que nos brindaron durante dos años.

Al Ing. Roger Mendoza (promoción 1994-95), a su esposa Ena Yamileth e hijo por su amistad y gran apoyo, muchas gracias.

Al Dr. Rubén Guevara y Familia, Dr. Carlos Rivas y Familia, Ing. Jonathan y Norma Mendoza de Cornelius, por habernos acogido con cariño, amistad y afecto en su hogar.

Al Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE), y al Proyecto RENARM/manejo de cuencas por permitir cumplir con los sueños de mi formación profesional y por haberme financiado los estudios.

A mis compañeros de la promoción 1993-94, por su compañerismo y grata amistad latinoamericana.

BIOGRAFIA

El autor nació en la ciudad de El Progreso, Departamento de Yoro, República de Honduras, el 29 de diciembre 1960.

Realizó sus estudios secundarios en el Instituto San Francisco en Comayagua M.D.C., Departamento de Francisco Morazán, obteniendo el título de Bachiller en Ciencias y Letras año 1978.

En 1979 ingresó a la Facultad de Agronomía del Centro Universitario Regional del Litoral Atlántico (CURLA) de la Universidad Nacional Autónoma de Honduras, obteniendo el título de Ingeniero Agrónomo en 1984.

Durante el período de 1985-1989 se desempeñó en el cargo de supervisor en el Programa Nacional del Plátano de la Secretaría de Recursos Naturales.

De 1990 a 1992 prestó sus servicios en el Proyecto Mejoramiento del Uso y Productividad de la Tierra (L.U.P.E) como Jefe de Agencia de Extensión.

En enero de 1993, ingresó al Programa de Maestría del Centro Agrónomo Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE), obteniendo el título de *Magister Scientiae* en Manejo Integrado de Recursos Naturales, en la especialidad de Cuencas Hidrográficas.

TABLA DE CONTENIDO

	Pagina
DEDICATORIA	iii
AGRADECIMIENTOS	iv
BIOGRAFIA	v
CONTENIDO	vi
LISTA DE CUADROS	viii
LISTA DE FIGURAS	x
LISTA DE ANEXOS	xi
RESUMEN	xiii
SUMARY	xv
I INTRODUCCION	1
1.1 Objetivos	3
1.1.1 Objetivo General	3
1.1.2 Objetivos Especificos	3
1.2 Hipotesis	4
II REVISION DE LITERATURA	5
2.1 Sostenibilidad	5
2.1.1 Producción	6
2.1.2 Productividad	7
2.1.3 Tiempo	7
2.2 Características Físico-Químicas	8
2.2.1 Fertilidad de suelos	8
2.2.1.1 Potencial de hidrogeno (pH)	9
2.2.1.2 Fosforo (P)	12
2.2.1.3 Calcio (Ca)	14
2.2.1.4 Magnesio (Mg)	15
2.2.1.5 Potasio (K)	16

2.2.1.6 Acidez Extraible	17
2.2.2 Materia orgánica	18
2.2.3 Densidad aparente	20
2.2.4 Textura	21
III MATERIALES Y METODOLOGIA	23
3.1 Localización del estudio	23
3.2 Clima	26
3.3 Suelos	26
3.4 Uso actual de la tierra	26
3.5 Fases metodológicas	28
3.5.1 Fase I: Reconocimiento y caracterización de la zona	28
3.5.2 Fase II: Trabajo de campo	29
3.5.3 Fase III: Análisis de suelo	31
3.5.4 Fase IV: Análisis de la información	33
IV RESULTADOS Y DISCUSION	35
4.1 Caracterización general del sitio de estudio.	35
4.1.1 Preparación del suelo	35
4.1.2 Siembra	36
4.1.3 Control de malezas	36
4.1.4 Fertilización	36
4.1.5 Uso de plaguicidas	36
4.1.6 Cosecha y rendimientos	37
4.1. problemas que afectan la horticultura en la zona.	37
4.2 Comportamiento de las variables evaluadas de acuerdo al uso de la tierra y la pendiente	39
4.2.1 Potencial de hidrogeno (pH)	39
4.2.2 Fósforo	42
4.2.3 Calcio	45
4.2.4 Magnesio	48
4.2.5 Potasio	50
4.2.6 Acidez extraible	54
4.2.7 Materia Orgánica	57
4.2.8 Densidad Aparente	60
4.2.9 Textura	63

V	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	66
VI	BIBLIOGRAFIA	69
VII	ANEXOS	80

LISTA DE CUADROS

Cuadro		página
1	Valores promedio de pH del suelo de acuerdo al uso de la tierra para tres intervalos de pendiente, cuenca media del Río Reventado, Cartago, Costa Rica, 1994.	39
2	Resultado de la prueba Duncan para los datos de pH de acuerdo a los intervalos de pendiente, para el uso de la tierra Fincas.	40
3	Valores promedio de fósforo en el suelo (ug/ml) de acuerdo al uso de la tierra para tres intervalos de pendiente, cuenca media del Río Reventado, Cartago, Costa Rica, 1994.	42
4	Resultado de la prueba de Duncan para los datos de fósforo de acuerdo a los intervalos de pendiente y al uso de la tierra.	44
5	Valores promedio de calcio en el suelo (meq/100 ml-suelo) de acuerdo al uso de la tierra para tres intervalos de pendiente, cuenca media del Río Reventado, Cartago, Costa Rica, 1994.	45
6	Resultado de la prueba Duncan para los datos de calcio de acuerdo a los intervalos pendiente en el uso de la tierra Fincas.	47
7	Valores promedio de magnesio en el suelo (meq/100 ml-suelo) de acuerdo al uso de la tierra para tres intervalos de pendiente, cuenca media del Río Reventado, Cartago, Costa Rica, 1994.	48
8	Resultado de la prueba Duncan para los datos de magnesio de acuerdo a los intervalos de pendiente	49

	para el uso de la tierra Fincas.	
9	Valores promedio de Potasio en el suelo (meq/100- ml suelo) de acuerdo al uso de la tierra para tres intervalos de pendiente, cuenca media del Río Reven- tado, Cartago, Costa Rica, 1994.	51
10	Resultado de la prueba Duncan para los datos de potasio de acuerdo a los intervalos de pendiente para el uso de la tierra.	52
11	Cálculo de los índices de relación entre los cationes Ca, Mg y K.	54
12	Valores promedio de Acidez extraíble del suelo (meq/100 ml suelo) de acuerdo al uso de la tierra para tres intervalos de pendiente, cuenca media del Río Reventado, Cartago, Costa Rica, 1994.	55
13	Resultado de la prueba Duncan para los datos de acidez extraíble de acuerdo a los intervalos de pendiente para el uso de la tierra Fincas.	56
14	Valores promedio del porcentaje de Materia Orgánica de acuerdo al uso de la tierra para tres intervalos de pendiente, cuenca media del Río Reventado, Cartago, Costa Rica, 1994.	57
15	Valores promedio de densidad aparente del suelo (g/cm ³) de acuerdo al uso de la tierra para tres intervalos de pendiente, cuenca media del Río Reventado, Cartago, Costa Rica, 1994.	60
16	Resultado de la prueba Duncan para los datos de densidad aparente de acuerdo a los intervalos de pendiente para el uso de la tierra Finca	61
17	Valores promedio de Textura (%) del suelo de acuerdo al uso de la tierra para tres intervalos de pendiente, cuenca media del Río Reventado, Cartago, Costa Rica, 1994.	63

LISTA DE FIGURAS

Figura		Página
1	Localización de la cuenca del Río Reventado.	24
2	Clases de pendientes, cuenca Río Reventado.	25
3	Uso de la tierra, cuenca Río Reventado.	27
4	Comparación de valores promedio de pH en el suelo entre fincas (cultivo hortalizas) y la referencia (pastos) y para diferentes intervalos de pendiente, cuenca media del Río Reventado.	41
5	Comparación de valores promedio de fósforo en el suelo entre fincas (cultivo hortalizas) y la referencia (pastos) y para diferentes intervalos de pendiente, cuenca media del Río Reventado.	43
6	Comparación de valores promedio de calcio en el suelo entre fincas (cultivo hortalizas) y la referencia (pastos) y para diferentes intervalos de pendiente, cuenca media del Río Reventado.	46
7	Comparación de valores promedio de magnesio en el suelo entre fincas (cultivo hortalizas) y la referencia (pastos) y para diferentes intervalos de pendiente, cuenca media del Río Reventado.	49
8	Comparación de valores promedio de potasio en el suelo entre fincas (cultivo hortalizas) y la referencia (pastos) y para diferentes intervalos de pendiente, cuenca media del Río Reventado.	51
9	Comparación de valores promedio de acidez extraíble en el suelo entre fincas (cultivo hortalizas) y la referencia (pastos) y para diferentes intervalos de pendiente, cuenca media del Río Reventado.	55
10	Comparación de valores promedio de materia orgánica en el suelo entre fincas (cultivo hortalizas) y la referencia (pastos) y para diferentes intervalos de pendiente, cuenca media del Río Reventado.	59

11	Comparación de valores promedio de densidad aparente en el suelo entre fincas (cultivo de hortalizas) y la referencia (pastos) y para diferentes intervalos de pendiente, cuenca media del Río Reventado.	62
12	Comparación de valores promedio de textura en el suelo entre fincas (cultivo hortalizas) y la referencia (pastos) y para diferentes intervalos de pendiente, cuenca media del Río Reventado.	64

LISTA DE ANEXOS

Anexo		Página
1	Encuesta para la caracterización de la zona	81
2	Características del suelo al momento del muestreo en la condición de fincas (cultivo de hortalizas), Tierra Blanca.	84
3	Características del suelo al momento del muestreo en la condición de fincas (cultivo de hortalizas), Llano Grande.	85
4	Características del suelo al momento del muestreo en la condición de referencia (pastos), Tierra Blanca.	86
5	Características del suelo al momento del muestreo en la condición de referencia (pastos), Llano Grande.	87
6	Características del cultivo al momento del muestreo en la condición de finca (cultivo de hortalizas), Tierra Blanca.	88
7	Características del cultivo al momento del muestreo en la condición de finca (cultivo de hortalizas), Llano Grande.	89
8	Características físico-químicas de los suelos, cuenca media del Río Reventado, condición Fincas.	90
9	Características físico-químicas de los suelos, cuenca media del Río Reventado, condición Referencia.	91
10	Condiciones baja, media y alta para las características	92

	de fertilidad de un suelo.	
11	Guía para la interpretación de análisis de suelo utilizada por el CATIE.	93
12	Guía para la interpretación de análisis de suelo utilizada por el MAG.	94

PAZ MORALES, C.R. 1994. Características físico-químicas indicadoras de la sostenibilidad de los suelos en la cuenca media del Río Reventado, Cartago, Costa Rica. Tesis Mag. Sc. Turrialba, C.R., CATIE. 94 p.

Palabras claves: Cuenca, Suelo, Características físico-químicas, Sostenibilidad, Hortalizas, Pastos.

RESUMEN

La mayoría de las cuencas hidrográficas de Centro América evidencian un fuerte deterioro de los recursos naturales, debido entre otras causas, a las prácticas de cultivo inapropiadas. Esta situación es más crítica en áreas de ladera y con agricultura intensiva donde los suelos son sometidos al laboreo continuo y no se siguen prácticas de conservación que garanticen la sostenibilidad productiva de los mismos. Un buen ejemplo de este tipo de agricultura se da en la cuenca media del Río Reventado ubicada en la provincia de Cartago en Costa Rica. Para evaluar la sostenibilidad de un sistema (cuenca) se requieren indicadores que permitan estimar y/o cuantificar el efecto de las intervenciones sobre el sistema.

El objetivo de este estudio fue contribuir al proceso de análisis de la sostenibilidad de la agricultura, en función de los recursos naturales y de su impacto en el manejo de cuencas, mediante la evaluación de características físico-químicas del suelo dedicado a la producción hortícola (condición Fincas) y bajo pastos; esta última considerada como referencia para comparar las variaciones edáficas ocurridas en el sistema de agricultura intensiva (hortalizas).

El estudio se realizó en cuatro etapas metodológicas: fase de reconocimiento y caracterización de la zona mediante una encuesta, fase de campo en la cual se realizaron los muestreos de suelo, fase de análisis de suelo y fase de

análisis de la información. Para el muestreo y análisis de suelo se consideraron tres intervalos de pendiente (0-15%, 16-30% y 31-45%). Para cada uno de esos intervalos se obtuvieron 20 muestras.

La encuesta reveló que la mayoría de las prácticas de cultivo utilizadas por los productores de hortalizas de la cuenca media del Río Reventado no contribuyen a un uso sostenible del recurso suelo y que más bien favorecen la degradación del mismo y la contaminación ambiental.

Los resultados obtenidos sobre las características físico-químicas del suelo muestran que en relación a la condición de referencia, en la condición Fincas el pH, el contenido de magnesio, el contenido de materia orgánica, el contenido de limo fueron menores, mientras que la acidez extraíble fue mayor; diferencias todas estadísticamente significativas ($\alpha=0.05$). Estos resultados evidencian un uso poco sostenible del suelo en la condición Fincas. Otras características como el contenido de fósforo y calcio fue menor en la condición Referencia, sin embargo, la aplicación frecuente de cal y de fertilizantes altos en fósforo no permiten cuantificar objetivamente la evolución de estos nutrientes en términos de la sostenibilidad del suelo.

Para los diferentes intervalos de pendiente se observó que para la condición Fincas hubo diferencias significativas para pH, magnesio, potasio, calcio, fósforo y acidez extraíble, no así para materia orgánica ni contenidos de limo, arena y arcilla. En la condición Referencia hubo diferencias solamente para fósforo y potasio.

PAZ MORALES, C.R. 1994. Physical-chemical characteristics as indicators of soil sustainability in the middle watershed of the Reventado River, Cartago, Costa Rica. Thesis Mag. Sc. Turrialba, C.R., CATIE. 94 p.

Keywords: Watershed, Soil, Physical-chemical characteristics, Sustainability, Vegetables, Pastures.

SUMMARY

The natural resources of the majority of the watersheds of Central America are seriously deteriorated, a situation due amongst other causes to unsuitable agricultural practices. This situation is most critical in areas with steep slopes and intensive agriculture where the soils are continually worked and where the conservation practices which can guarantee their sustainable production are not followed. A good example of this type of agriculture is the middle watershed of the Reventado River in the Province of Cartago, Costa Rica. In order to evaluate the sustainability of a system (watershed) indicators which permit the estimation and/or quantification of the effect on the system of interventions are needed.

The objective of the present study was to contribute to the process of analysis of the sustainability of agriculture, with reference to natural resource use and its impact on watershed management, through the evaluation of physical-chemical characteristics of soil devoted to horticultural use (farm condition) and under pasture. The latter was considered as a reference-point to compare the edaphic variation that occurs under intensive agriculture.

The study was conducted in four methodological steps: the phase of reconnaissance and characterization of the zone through a questionnaire; the field phase during which soil

sample were taken; soil analysis phase; data analysis phase. Three slope intervals (0-15%, 16-30%, 31-45%) were considered for the soil sampling and analysis. Twenty samples were taking per interval.

The questionnaire study revealed that the majority of the agricultural practices employed by the vegetables producers in the middle watershed of the Reventado River do not promote the sustainable use of the soil resources; rather they tend to degrade it and produce environmental contamination.

The results of the physical-chemical analysis of the soil showed that, in comparison with the reference-point condition, in farms pH, magnesium content, organic matter content, and silt were lower, whereas extractable acidity was higher; all differences were statistically significant at 5%. These results demonstrated the low sustainability of current productive systems under farm conditions. Other characteristics such as the phosphorus and calcium content were lower in the reference conditions, however, the frequent application of lime and fertilizers with high phosphorus content do not permit the objective quantification of the evolution of these nutrients in terms of the soil sustainability.

For the different slope intervals it was observed that under farm conditions there were significant differences in pH, magnesium, potassium, calcium, phosphorus and extractable acidity, but not for organic matter content, sand or clay. Under reference conditions there were significant differences only in phosphorus and potassium content.

INTRODUCCION

Las pruebas de que la naturaleza no puede sustentar indefinidamente las demandas crecientes de la humanidad son demasiado contundentes para que podamos ignorarlas. La relación que existe entre la actividad humana y los recursos básicos de la tierra ha llegado a un punto crucial; así el tema de la **agricultura sostenible** es de alta prioridad, tanto en los países desarrollados como en vías de desarrollo (Lebel y Kane, 1990).

El estado actual de deterioro y degradación de las cuencas hidrográficas en Centroamérica, son consecuencia de prácticas inapropiadas en el uso de la tierra, tala de los bosques, expansión de la actividad ganadera, agricultura de ladera, agricultura migratoria, sumado a los problemas socioeconómicos prevaletentes; es considerado como crítico para la mayoría de las cuencas de todos los países. En la mayoría de las cuencas hidrográficas de los países de América Tropical, es evidente la falta de un adecuado manejo de los recursos naturales; esto implica, una deficiente planificación y manejo del uso de la tierra, lo cual, asociado a las características biofísicas adversas, genera una serie de impactos negativos, tanto en las obras y actividades, como en el ambiente natural de dichas áreas (Faustino, 1987).

El logro de la sostenibilidad se basa en el manejo racional de las interacciones entre sus componentes, y por lo tanto tiene énfasis en la región/cuenca y en los sistemas de finca y su integración vertical con otras cadenas de producción.

Hasta mediados del presente siglo muchas zonas de ladera, especialmente en sus niveles más altos, no habían sido explotadas y permanecían como reservas naturales con

una elevada cobertura boscosa. A partir de entonces ha surgido una ocupación sucesiva de zonas cada vez más altas, con la consecuente explotación de madera, establecimiento de pastizales, agricultura, etc. Los efectos de estos cambios en el uso de la tierra (erosión, sedimentación, compactación, etc), se han ido intensificando progresivamente en las áreas afectadas. En tal sentido, la problemática de sostenibilidad en laderas obedece a presiones humanas y a la ausencia de medios adecuados para desarrollar la producción en estas áreas (Lindarte, y Benito, 1991).

Hay urgente necesidad de conservar los recursos de producción agropecuaria, pues ya se han extendido a tierras marginales y los recursos se sobreexplotan. El uso de la tierra debe basarse en una determinación científica de la capacidad de uso y el agotamiento anual del recurso no debe superar la tasa de regeneración del mismo, por lo tanto la base de los recursos naturales de la tierra debe conservarse y mejorarse (De Camino, 1989).

No hay recurso individualmente considerado más importante para la consecución de una agricultura sostenible que el suelo, el cual contiene los nutrientes y almacena el agua indispensable para el desarrollo de las plantas. La forma de manejo de los suelos repercute significativamente en la productividad y sostenibilidad (FAO, 1991).

En la parte media de la cuenca del Río Reventado los suelos son utilizados principalmente para el cultivo de hortalizas tales como papa, cebolla y zanahoria; las prácticas de cultivo utilizadas en esta zona están lejos de ser conservacionistas (Sánchez, 1993).

Uno de los impactos físicos de la cuenca es que en las zonas más inclinadas se observan cárcavas profundas y en las áreas más planas de los terrenos, deposición de sedimentos.

Una de las razones que agrava el problema de la erosión, es que generalmente el inicio de las lluvias coincide con la época en que los suelos se encuentran desnudos debido a que han sido preparados recientemente.

La sostenibilidad de un sistema (cuenca) se establece a través de la evolución de un conjunto de indicadores; que se deben identificar y evaluar (De Camino y Müller, 1993). Para examinar y demostrar si un sistema dado es sostenible, se requieren indicadores, que permitan estimar y/o cuantificar el efecto de las intervenciones sobre factores importantes para la sostenibilidad del sistema.

En el presente trabajo se consideraron algunas características físico-químicas como posibles indicadoras de la sostenibilidad de suelos sometidos al cultivo intensivo de hortalizas y que permitan medir el efecto de la operación del sistema (cuenca) sobre los descriptores (fertilidad, materia orgánica, textura, densidad aparente) como características significativas de un elemento (suelo).

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Objetivo general

Contribuir con el proceso de análisis de la sostenibilidad de la agricultura, en función de los recursos naturales y de su impacto en el manejo de cuencas.

1.1.2 Objetivos específicos

-Evaluar características del sistema suelo en la producción de cultivos hortícolas y en la condición de pastos que puedan representar efectos sensibles en la degradación del suelo y en la producción de los cultivos.

-Analizar la variación de la relación cultivo y suelo, en función de los intervalos de pendiente en la cuenca media del Río Reventado.

-Establecer criterios físico-químicos de integración en el sistema de la cuenca que permitan obtener posibles indicadores de sostenibilidad de los recursos naturales.

1.2 HIPOTESIS

* Es posible identificar características que son indicadores de la sensibilidad en la degradación del suelo y en la producción del cultivo.

* La relación cultivo-suelo afecta el sistema de la cuenca en sus características físico-químicas, situación que puede afectar la sostenibilidad productiva.

* Es posible establecer criterios físico-químicos que permitan obtener indicadores de sostenibilidad a nivel de cuenca.

II- REVISION DE LITERATURA

2.1 SOSTENIBILIDAD

El principal objetivo de la agricultura y el desarrollo rural es aumentar o mantener la producción de alimentos de manera sostenible y mejorar la seguridad alimentaria.

Ante nosotros no hay una pregunta más importante en este globo hoy en día que la de sostenibilidad de sistemas agrícolas, considerando que esto no es un problema americano o del tercer mundo; esto es un desafío mundial que todos debemos enfrentar.

El concepto de desarrollo sostenible brinda nuevas oportunidades a los programas nacionales e internacionales para que manejen nuestros recursos mundiales con prudencia de forma que puedan atender a las necesidades humanas durante el siglo XXI y en épocas posteriores (Label y Kane, 1990).

Se calcula que la población mundial ascenderá a 8.500 millones de personas para el año 2025, por lo tanto la necesidad de aumentar la producción de alimentos para atender a las necesidades crecientes de la población acrecentará enormemente la presión ejercida sobre todos los recursos naturales, entre ellos la tierra.

Durante los últimos años, se ha hecho el intento de contemplar el desarrollo rural como un concepto integral, desde el punto de vista espacial, en forma de manejo de cuencas; así como intersectorial, en forma de una administración integrada de los recursos naturales de agua, suelo y bosque en los aspectos socioeconómicos, considerando los

sistemas de finca, la participación de la población local y el reconocimiento de las formas de vida tradicionales (Müller, 1993).

Sin embargo, cualquier intervención humana implica riesgos e incertidumbre; al querer obtener resultados positivos en términos de ingreso, se arriesga la destrucción de los recursos naturales o se arriesgan efectos directos sobre las personas, derivados de los impactos negativos sobre los recursos. Lo mismo sucede con los ingresos si el énfasis es social o ecológico.

De acuerdo a Label y Kane (1990), en 1983, la Asamblea General de la Naciones Unidas le encomendó a la Comisión Mundial sobre el Medio Ambiente (CMMAD):

- * Definir opciones compartidas sobre los desafíos a largo plazo para el medio ambiente y el desarrollo e idear las formas más eficaces para enfrentarlos;

- * Proponer estrategias a largo plazo para conseguir un desarrollo sostenible, en el que se combinen el progreso mundial en las esferas económica y social, con el respeto de los ecosistemas y de la calidad del medio ambiente.

Según De Camino y Müller (1993); en la definición de sostenibilidad ecológica se desprende que las principales variables que permiten medir hasta que punto un sistema es sostenible a largo plazo son producción, productividad y el tiempo los cuales definimos a continuación así:

2.1.1 Producción : es el resultado de la aplicación de la tecnología a los recursos. La producción es una variable que depende de los recursos y de las tecnologías.

2.1.2 Productividad : la productividad es una función que relaciona la producción con los factores e insumos empleados en ella. La evolución de la productividad con relación a los insumos y los recursos principales es una señal clara de la operatividad del sistema en relación a la tecnología accesible en un momento determinado. La evolución de la productividad, es decir la productividad actual con respecto a la pasada o con respecto a los supuestos de productividad futura es una información importante sobre la sostenibilidad de un sistema.

2.1.3 El tiempo : el concepto de sostenibilidad plantea un problema intergeneracional, el cambio o permanencia de un estado en el tiempo, de manera que la variable central para la determinación de la condición de sostenibilidad es el tiempo. Se trata de relacionar o comparar la situación actual con el pasado (tendencia) o con el futuro previsible (proyección). Prácticamente todas las variables se tienen que relacionar en forma discreta (comparación de dos puntos en el tiempo) o en forma continua (funciones de tendencia o de proyección) con el tiempo.

La explotación irracional y sin control del suelo es una de las causas principales de la degradación y el agotamiento de los recursos de tierras provocando una disminución en la producción.

La degradación de las tierras es grave porque la **productividad** de vastas zonas está disminuyendo precisamente en un momento en que aumenta rápidamente la población y se acrecienta la demanda de tierras para producir más alimentos, fibras y combustibles.

Según Holdridge (1987), las ganancias que resultan del aumento de la productividad, deben utilizarse para levantar

el nivel de vida más bien que para facilitar el aumento de la población.

Las presiones se pueden disminuir parcialmente aumentando la productividad. Pero el aumento de la productividad a corto plazo puede también disminuir la base de la diversidad biológica, salinizar suelos, contaminar el agua con nitratos y pesticidas etc. (De Camino, 1989).

Algunos países en desarrollo, que han usado prácticas agrícolas de subsistencia y subsecuentemente han incrementado sus producciones por la adopción de métodos de alta inversión, están ahora experimentando grandes pestes, enfermedades, problemas de semillas; incremento de la erosión de suelos; peligro en el medio ambiente y presión económica (Edwards, *et al* 1990).

2.2 CARACTERISTICAS FISICO-QUIMICAS DEL SUELO

2.2.1 Fertilidad de suelos

La fertilidad de suelos es la capacidad del suelo para suministrar en proporción adecuada los elementos nutritivos esenciales que las plantas toman normalmente del mismo (Davelouis Mc.Evoy, 1991).

La idea de *fertilidad*, ya sea natural o adquirida gracias al arte del agricultor, implica, antes que nada, la abundancia o cuando menos la existencia en suficiente cantidad de los elementos nutritivos indispensables: evoca entonces una noción de presencia y cantidad. Se sobreentiende correlativamente la ausencia de elementos tóxicos que pueden limitar o suprimir la productividad del suelo; aunque la

noción de cantidad no basta, ya que los elementos pueden encontrarse en el suelo en formas inertes frente a los vegetales. Debe completarse esta noción de cantidad con la de asimilabilidad; por ello, en un suelo fértil, los elementos indispensables se encuentran en estado asimilable y en suficiente cantidad para hacer frente regularmente a las necesidades de la planta (Gaucher, 1971).

Al aumentar la fertilidad de un suelo se mejora el desarrollo de los cultivos, proporcionando una mejor protección al suelo y quedan en él una cantidad mayor de residuos (Thompson, 1962).

2.2.1.1 Potencial de hidrógeno (pH)

La mayoría de los suelos tienen un valor de pH que oscila entre 4 y 8. Casi todos los suelos con pH superior a 8 poseen un exceso de sales o un elevado porcentaje de Na^+ en sus sitios de intercambio catiónico. Los suelos con pH inferior a 4, generalmente, contienen ácido sulfúrico. El pH del suelo influye en la tasa de liberación de nutrientes por meteorización, en la solubilidad de todos los materiales del suelo y en la cantidad de iones nutritivos almacenados en los sitios de intercambio catiónico. El pH es entonces una buena orientación para predecir cuáles son los nutrientes que pueden encontrarse en estado deficitario (Thompson y Troeh, 1982).

Los efectos principales del pH del suelo son biológicos. Algunos organismos tienen una tolerancia bastante pequeña a las variaciones del pH, aunque otros pueden tolerar una amplia gama de variación. Los pH están influenciados en cierta forma por la textura del suelo, la materia orgánica, la estructura entre otros.

El pH puede influir de una manera muy importante en la asimilabilidad y como consecuencia, en la absorción de los micronutrientes por las plantas.

La determinación del pH del suelo es una de las pruebas más importantes que pueden hacerse para diagnosticar problemas del crecimiento de las plantas.

De acuerdo a Bertsch (1987), un nivel óptimo varía entre los valores de 5.5 a 6.5, considerando que si el pH es menor 5.5 la probabilidad de que existan problemas de acidez es muy alta porque el aluminio se vuelve soluble, por lo tanto es capaz de causar toxicidad a las plantas y puede desplazar las bases o cationes mayores, Ca, Mg y K, disminuyendo su disponibilidad y promoviendo su lavado. Según Thompson (1962), con grandes cantidades de carbonato de calcio puede elevarse el pH hasta 8.5, mientras que hay dos factores que tienden a disminuir la saturación básica, tales como: la lixiviación y la acumulación de materia orgánica.

Rodríguez (1985), señala que el pH del suelo disminuye con no labranza y más aún si se usan continuamente fertilizantes que tiendan a acidificar el suelo. Así mismo menciona que el aluminio intercambiable está asociado al pH; si este disminuye el Al aumenta; para esta situación es recomendable el encalado.

Burbano (1989), opina que los suelos volcánicos generalmente son ácidos, debido a la presencia de alofana y otros compuestos amorfos de aluminio; la acidez también es favorecida por la presencia de materia orgánica por contenidos significativos de grupos carboxílicos y fenólicos.

La acidez influye en la disponibilidad de los elementos nutritivos y, por tanto, en la posibilidad de absorción por las raíces de la planta. La presencia de materia orgánica

favorece la acidez en los suelos volcánicos, debido al contenido de cantidades significativas de grupos carboxílicos y fenólicos; también puede favorecerse la acidez por la aplicación intensiva de fertilizantes, principalmente nitrogenados y por la presencia de alófana (Burbano, 1989 ; Bertsch et al, 1989).

Robles (1991), considera que el pH juega un importante papel en la meteorización, puesto que a pH superiores a 7.5 no se produce meteorización por ejemplo del fósforo en forma significativa; una vez que el fósforo está en solución puede ser utilizado por las plantas, eliminado por percolación fuera del perfil, translocado dentro del suelo, o precipitado como fosfato de calcio, aluminio o hierro, según sean las condiciones de pH del medio; por supuesto una pequeña cantidad queda en solución.

En términos generales, los suelos del grupo ando muestran una reacción ácida en los horizontes superficiales, con la tendencia de un incremento en el pH en los horizontes inferiores, La acidez de los suelos enterrados derivados de cenizas volcánicas generalmente no es muy alta; estos varían de 5.0 a 6.5. (Ishizuka y Black, 1980).

Es bien sabido que el pH *per se* no tiene efecto directo en el crecimiento de las plantas, excepto a valores inferiores a 4.2 donde la concentración de iones de hidrógeno puede detener y hasta invertir la absorción de cationes por la raíz (Sánchez, 1981).

La acidez del terreno determina en muchos casos las plantas que en él se pueden cultivar o el tratamiento que es necesario aplicar, también tiene una relación muy importante con la facilidad de absorción de los diversos nutrimentos, por parte de la planta.

2.2.1.2 Fósforo

Para Thompson y Troeh (1982), el fósforo ha sido llamado «la llave de la vida» porque se halla directamente implicado en la mayoría de los procesos vitales. El fósforo se presenta en el suelo, tanto en forma orgánica como inorgánica, participa en las reacciones químicas, pero se mantiene firmemente en su sitio, inaccesible a las plantas, hasta que el material orgánico se descomponga. También comentan que la capa arable suele contener menos de 1 kg de fósforo por hectárea en solución (de un contenido total de fósforo de unos 1000 kg) y que la presencia de grandes cantidades de materia orgánica suele aumentar la provisión de fósforo disponible en el suelo.

El fósforo es relativamente estable en los suelos. No presenta compuestos inorgánicos como por ejemplo los nitrógenados que pueden ser volatilizadas y lixiviadas. De esta alta estabilidad resulta una baja solubilidad, que a veces, causa deficiencias de disponibilidad de P para las plantas, a pesar de la continua mineralización de compuestos orgánicos del suelo. Al realizar el encalado se produce elevación del pH y se acelera la mineralización del P orgánico, pero excesos de cal resultan contraproducentes porque tienden a inmovilizar otras bases como potasio y magnesio (Fassbender, 1993).

Según Burbano (1989), en un estudio realizado en un suelo volcánico en Nariño, Colombia para conocer el efecto del encalado (3t/ha) sobre la evolución del fósforo orgánico se halló que el encalado en dosis de 200 y 400 ppm de P_2O_5 disminuyó la inmovilización del fósforo aplicado y ayudó en la mayor utilización del fósforo por la planta; sin embargo, al nivel de 600 ppm de P_2O_5 este proceso se invierte.

De manera general, el contenido de fósforo total disminuye con la profundidad del suelo, lo que es aplicable por la disminución de la materia orgánica y de los fosfatos orgánicos. Se ha encontrado que el contenido total de fósforo también depende de la textura de los suelos, tanto en áreas de clima templado como tropical, ya que cuanto más fina su textura, mayor es el contenido de fósforo total (Fassbender y Bornemisza, 1987).

Fuentes (1989), señala que el fósforo existente en el suelo procede de los minerales del suelo; la materia orgánica y los abonos fosfóricos. Este se pierde principalmente por extracción de las plantas, por erosión de las capas superficiales y en menor cuantía por el arrastre a capas más profundas mediante el agua que percola. También señala que con este elemento no hay consumo de lujo, esto es, que una fertilización abundante eleva el nivel de fósforo en el suelo, sin que ello suponga que la planta extraiga mayores cantidades de fósforo.

Rodríguez (1985) señala que la cantidad de fósforo disponible en los primeros 10 cm de suelo aumenta bajo el sistema sin labranza en comparación con labranza convencional y más aún cuando se dejan residuos vegetales.

Burbano (1989) afirma que los suelos volcánicos generalmente son ácidos y que la acidez influye en la disponibilidad de los elementos nutritivos y, por tanto en la posibilidad de absorción por las raíces de las plantas. En el caso particular del fósforo el efecto de la acidez es evidente, ya que la máxima disponibilidad del elemento sucede cuando el pH está alrededor de 6.5. Los niveles de fósforo disponible en los suelos volcánicos son bajos debido al fenómeno de fijación y a las bajas o nulas tasas de mineralización del fósforo orgánico.

Bertsch (1987) afirma que los niveles críticos varían mucho según el suelo y el cultivo, por lo que para acercarse a la realidad debería contarse con valores específicos para cada circunstancia. En suelos volcánicos, la deficiencia de fósforo ocurre por la presencia de alófana, y en cualquier condición, la materia orgánica además de liberar fósforo por mineralización, también puede fijarlos. Los valores altos de fósforo en general, son reflejos de fertilizaciones constantes.

Thompson (1982), opina que el pH del suelo tiene tanta influencia sobre la solubilidad del fósforo; que su control constituye una de las razones que, con frecuencia, justifican el encalado de los suelos ácidos. El encalado constituye una alternativa frente a las aplicaciones mayores y más frecuentes de fertilizante fosforado.

2.2.1.3 Calcio

Es un elemento abundante y, en general, su provisión en el suelo es suficiente para cubrir las necesidades de las plantas. Por eso, no se piensa en ellos como fertilizantes y reciben menos atención que el nitrógeno, fósforo y potasio.

Segun Thompson y Troeh (1982) existe una tendencia a que el contenido de calcio en el suelo, descienda gradualmente, conforme progresan la meteorización y el lavado. Las concentraciones más bajas de calcio, ocurren en suelos muy lavados con capacidades de intercambio catiónico bajas; también comentan que la cantidad de calcio y de otros cationes básicos desciende al aumentar la acidez del suelo.

Fassbender y Bornemisza (1987), indican que las pérdidas de calcio son mayores en suelos desnudos en relación a terrenos con cobertura vegetal; mucha de esta pérdida ocurre

por el arrastre superficial, ya que el movimiento vertical del elemento es lento. La mineralización rápida de una parte apreciable de la materia orgánica devuelve una fracción importante del calcio al suelo. Es importante considerar que las lluvias también son fuente de calcio.

Rodríguez (1985), señala que los suelos con altas aplicaciones de nitrógeno y sin labranza redujo el calcio intercambiable, comparado con labranza convencional y sin aplicación de nitrógeno. También señala que el contenido de calcio y magnesio del suelo es mayor en no labranza que en labranza convencional.

López y González (1987) reportan que en un estudio del efecto del encalado sobre características químicas de los suelos, ocurrió que el porcentaje de saturación de bases aumentó al incrementarse la dosis de calcio

2.2.1.4 Magnesio

El magnesio es fácilmente lavado del suelo, debido a que es muy poco retenido por el complejo absorbente del suelo. Se presentan las mayores pérdidas en suelos lavados, ácidos o arenosos (Davelouis, 1991).

Thompson (1982), sostiene que cuando se utilizan calizas cálcicas como material de encalado, tiende a producirse la necesidad de fertilización de magnesio.

Fuentes (1989), considera que en suelos demasiados ácidos, o con excesiva cantidad de K^+ o, incluso, de Ca^{2+} , la absorción del Mg^{2+} por la planta se realiza con dificultad. También comenta que el magnesio del suelo se pierde por: extracción de las cosechas, intensificándose cuando los cultivos son intensivos; por lavado del suelo, de modo más

intenso en suelos ácidos o arenosos debido a que el ión magnesio se mueve con facilidad en el suelo.

Las deficiencias de magnesio afectan a menudo los cultivos hortícolas y son muy probables en suelos arenosos ácidos o en suelos con mucho calcio o con sobreabonamiento de potasio (Chirinos et al , 1977).

En muchos suelos volcánicos, pero no en todos, se han detectado altos niveles de Mg cambiante. Así, estudiando Andepts dedicados a potreros, encontró un promedio de 2.7 cmol.kg^{-1} mientras que en Costa Rica al analizar suelos derivados de materiales de diferentes volcanes, obtuvo promedios entre 0.64 y $1.48 \text{ cmol.kg}^{-1}$. Por el contrario, suelos altamente meteorizados o desarrollados sobre sedimentos pobres en bases, contienen muy bajos niveles de magnesio cambiante, como los de la Amazonía de Brasil, con un promedio de solamente $0.17 \text{ cmol.kg}^{-1}$ (Fassbender y Bornemisza, 1987).

2.2.1.5 Potasio

La principal fuente de potasio para las plantas que crecen bajo condiciones naturales proviene del intemperismo de los minerales que contienen potasio (Davelouis, 1991).

Thompson y Troeh (1982), describen la fijación de potasio como el paso de iones potasio de la solución del suelo al interior de estructuras minerales, donde con frecuencia la fertilización da lugar a una concentración de potasio suficientemente elevada para que ocurra fijación, el cual se debe considerar almacenado, más que perdido. Explican que la liberación de potasio ocurre cuando este pasa de una forma no cambiante a otra que si lo es y que requiere de procesos de meteorización que desmoronen la estructura o que la abran, provocando tensiones en el entramado de las estructuras minerales que facilitan el escape del potasio.

También consideran que la fijación y la capacidad de intercambio catiónico del suelo, son medios tan efectivos para retener el potasio que hacen difícil el lavado de este elemento; explican que varios investigadores han observado que la liberación de potasio es más rápida a pH bajo que alto.

Burbano (1989), indica que los suelos más ácidos presentan los menores contenidos de potasio; el grado de acidez se encuentra asociado con la saturación de calcio, magnesio, sodio y potasio, de tal manera que a pHs más bajos corresponden menores cantidades de bases de cambio. Otro fenómeno que afecta la disponibilidad del potasio es el inherente al fenómeno de la lixiviación, lo cual puede disminuirse con aplicaciones de fosfatos y cal.

2.2.1.6 Acidez extraíble

Fassbender y Bornemisza (1987), señalan que la relación entre porcentaje de saturación de bases y pH, es la suma de las bases cambiables (Ca, Mg, K y Na) expresada como porcentaje de la capacidad total de intercambio catiónico, conocido como el porcentaje de saturación y el tanto por ciento de acidez extraíble (Al y H) correspondería al complemento del anterior hasta el 100%. Consideran que las causas de una acidificación progresiva de los suelos, particularmente cuando se practica una agricultura intensiva, se debe al reemplazo paulatino de las bases cambiables (Ca, Mg, K y Na) por iones H y Al, como resultado de la percolación de agua, de la extracción de los cationes cambiables y del uso de abono de carácter ácido.

Entre más alto es el valor de acidez extraíble, más bajo será el pH del suelo y por lo tanto habrá más presencia de aluminio que ocupará espacio por los demás nutrientes que desplaza.

2.2.2 Materia orgánica

Es uno de los constituyentes más importantes de los suelos. Ayuda a mejorar sus características físicas, promueve el crecimiento de la microflora y actúa como una despensa de nutrientes para los cultivos (Chirinos, *et al* 1977).

Según Fassbender (1969), la materia orgánica está constituida por los compuestos de origen biológico que se presentan en el suelo, consistentes en flora y fauna.

La materia orgánica del suelo contiene proporcionalmente gran cantidad de micronutrientes asimilables y juega un papel muy importante en la nutrición de los cultivos. Los suelos pobres en materia orgánica tienen tendencia a ser igualmente pobres en micronutrientes. Lo contrario, suelos con altos contenidos de materia orgánica pueden tener problemas de asimilabilidad en particular con el caso del cobre, presentándose en este caso fijación.

Chirinos, *et al* (1977) comentan que la materia orgánica puede reducir la capacidad de fijación de fósforo del suelo y por consiguiente, aumentar la eficiencia del fertilizante fosfatado.

Fassbender (1993) menciona que la materia orgánica tiene un CIC alto que le permite fijar y retener cationes, evitando su pérdida por lixiviación, y también es capaz de retener aniones, en especial fosfatos y sulfatos, evitando su pérdida por lavado o precipitación como sales insolubles. Además participa en procesos pedogenéticos debido a sus propiedades de peptización, coagulación y formación de quelatos. También favorece la disponibilidad del N, P, S, por medio de los procesos de mineralización.

La materia orgánica del suelo tiene una importancia fundamental en cuanto a la fertilidad química, la estructura y estabilidad física, la permeabilidad y la capacidad de retención de agua del suelo (MAG, 1991).

Bertsch (1987), considera que los contenidos de materia orgánica descienden con la profundidad y un valor será alto o bajo según el tipo de suelo; en términos generales considera que un 5% es bajo, en un suelo volcánico y son comunes valores entre 10 y 20% y aún mayores.

Labrador et al (1993), señalan que la materia orgánica es decisiva para la conservación de la funcionalidad de los suelos agrícolas. El laboreo convencional a mucha profundidad e intensivo es el origen de graves problemas erosivos y en este caso, no cabe duda de que la materia orgánica proporciona unas condiciones que aumentan la resistencia del terreno, disminuye la escorrentía, aumenta la infiltración, aumenta la formación de agregados a partir de los elementos más finos del suelo y contribuye con la fertilidad orgánica en las tierras de cultivo.

Sánchez (1981), señala que la exposición y aradura dan por resultado un aumento cuádruple a la tasa anual de descomposición del carbono orgánico del suelo, relativo a los valores de equilibrio.

Amézquita y González (1976) indican que las operaciones de labranza causan continua disminución en la estabilidad de los agregados, a menos que el nivel de materia orgánica se mantenga relativamente alto y que el manejo mecánico de los suelos sea realizado en condiciones óptimas de humedad.

2.2.3 Densidad aparente

Es la relación entre la masa (secada al horno) de las partículas del suelo y el volumen total, incluyendo el espacio poroso que ocupan (Forsythe, W. 1980).

Núñez (1981), menciona que la densidad aparente puede llegar hasta valores de 2.0 g/cm^3 en suelos muy compactados, afirmando que como la densidad aparente incluye el espacio poroso, a mayores valores de densidad aparente, disminuye proporcionalmente la porosidad del suelo; por otro lado afirma que la densidad aparente es influenciada también por el contenido de materia orgánica y el material parental que ha dado origen al suelo. Por ejemplo, los suelos derivados de cenizas volcánicas, generalmente tienen una densidad aparente que fluctúa entre 0.7 y 0.98 g/cm^3 ; otro aspecto que influye en la densidad aparente es el nivel de compactación, debido al continuo paso de maquinaria pesada o de animales por un campo, la acción de arada a una profundidad similar todos los años, etc.

La densidad aparente del suelo está afectada por el arreglo de las partículas, por la textura y por la compactabilidad. Igualmente, uno de los factores que afectan la densidad aparente es el contenido de materia orgánica; si su nivel disminuye la densidad aparente aumenta ya que los espacios porosos también aumentan. También sostiene que en suelos andosoles, la densidad aparente es baja, tomando como límites 0.20 y 0.80 g/cm^3 (Legarda, 1989).

Bowen y kratky (1985), afirman que cuanto más alta es la densidad en masa, menor es el porcentaje de poros y más compactado el suelo.

Las labranzas, cualquiera sea el tipo, producen cambios en el suelo con gran alteración de las propiedades físicas.

Generalmente, la densidad aparente y la porosidad total del suelo son las primeras afectadas, incrementando la aireación y el porcentaje total de poros (Vivas, 1984).

La aplicación de cubiertas protectoras puede evitar los efectos dañinos de la compactación. En áreas donde no se practica la aplicación de cubiertas protectoras y de cultivos intercalados debido a que las operaciones agrícolas son en gran escala, se han hecho intentos por corregir la compactación del suelo por medio de una aradura profunda. En Senegal, con una labranza superficial con azadón, la densidad aparente de los primeros centímetros de suelo disminuyó de 1.6 a 1.4 g/cc, mientras que arando con tractor esos mismos valores se obtuvieron a una profundidad de 10 a 30 cm. En estos suelos las disminuciones de 0.1 g/cc en densidad aparente tienen un efecto benéfico en el desarrollo radicular y en el rendimiento de cultivos tales como sorgo y maní (Sanchez, 1981).

2.2.4 Textura

Es la proporción relativa de arena, limo y arcilla; se refiere al tamaño relativo de las partículas de suelo - mayor finura o menor finura (Foth, 1987).

Los suelos con textura fina y de un modo general las fracciones granulométricas más finas (arcillas y limos) derivan de los minerales de más fácil descomposición, que son las principales fuentes de microelementos. Los suelos de texturas gruesas y las fracciones granulométricas mayores (arenas) proceden los minerales más resistentes y pobres en microelementos.

Las proporciones de separados en el suelo (arena, limo y arcilla) influyen en la disponibilidad de los micronutrientes a la solución del suelo con respecto a pérdidas a

través del perfil o fijación, de acuerdo a su textura. Los contenidos y tipos de arcillas asociados a la materia orgánica son los responsables de la disponibilidad a la solución del suelo.

Forsythe (1980), menciona, que algunos suelos derivados de cenizas volcánicas tienen textura de suelo franco-arcillosa pero con una infiltración excesiva, sin embargo tienen la tendencia a una retención muy alta de humedad.

La textura de los suelos volcánicos tienen gran influencia en el movimiento del agua, en la circulación del aire y especialmente en la velocidad de las transformaciones químicas (Legarda, 1989).

La textura del suelo depende del contenido de arena, limo y arcilla. Esta propiedad es determinante en la retención de agua en el suelo e influye en el abastecimiento de nutrimentos y aire para las plantas (Fassbender, 1993)

III MATERIALES Y METODOLOGIA

3.1 LOCALIZACION

El trabajo se realizó en la parte media de la cuenca del Río Reventado, incluyéndolo las comunidades de Tierra Blanca y Llano Grande, en la parte norte de Cartago, en Costa Rica.

La zona cuenta con una red de caminos que permiten el acceso a todas las comunidades y fincas productoras, aunque presentan problemas de mantenimiento en los caminos vecinales. Todas las comunidades cuentan con el servicio de agua potable y energía eléctrica.

La ubicación del área de estudio, corresponde aproximadamente a los 10° latitud norte y $83^{\circ}55'$ de longitud oeste (Melo, 1991), figura 1.

El Río Reventado inicia su curso al sur-oeste y sureste de los cerros Sapper y Retes respectivamente, a unos 2 km al sur-oeste del cráter principal del volcán Irazú, a 3432 metros sobre el nivel del mar. La cuenca media del Río Reventado presenta diferentes grupos de pendientes figura 2, en los cuales están incluidos los intervalos considerados en el presente trabajo. El cauce superior del Río Reventado es un típico río de montaña con un cauce que raramente excede 1 a 2 metros de ancho y 15 cm de profundidad (Sánchez, 1993). La cuenca tiene una extensión de 2.152 has. El cauce principal tiene una longitud de 12 km con pendientes fuertes y un corto período de concentración.

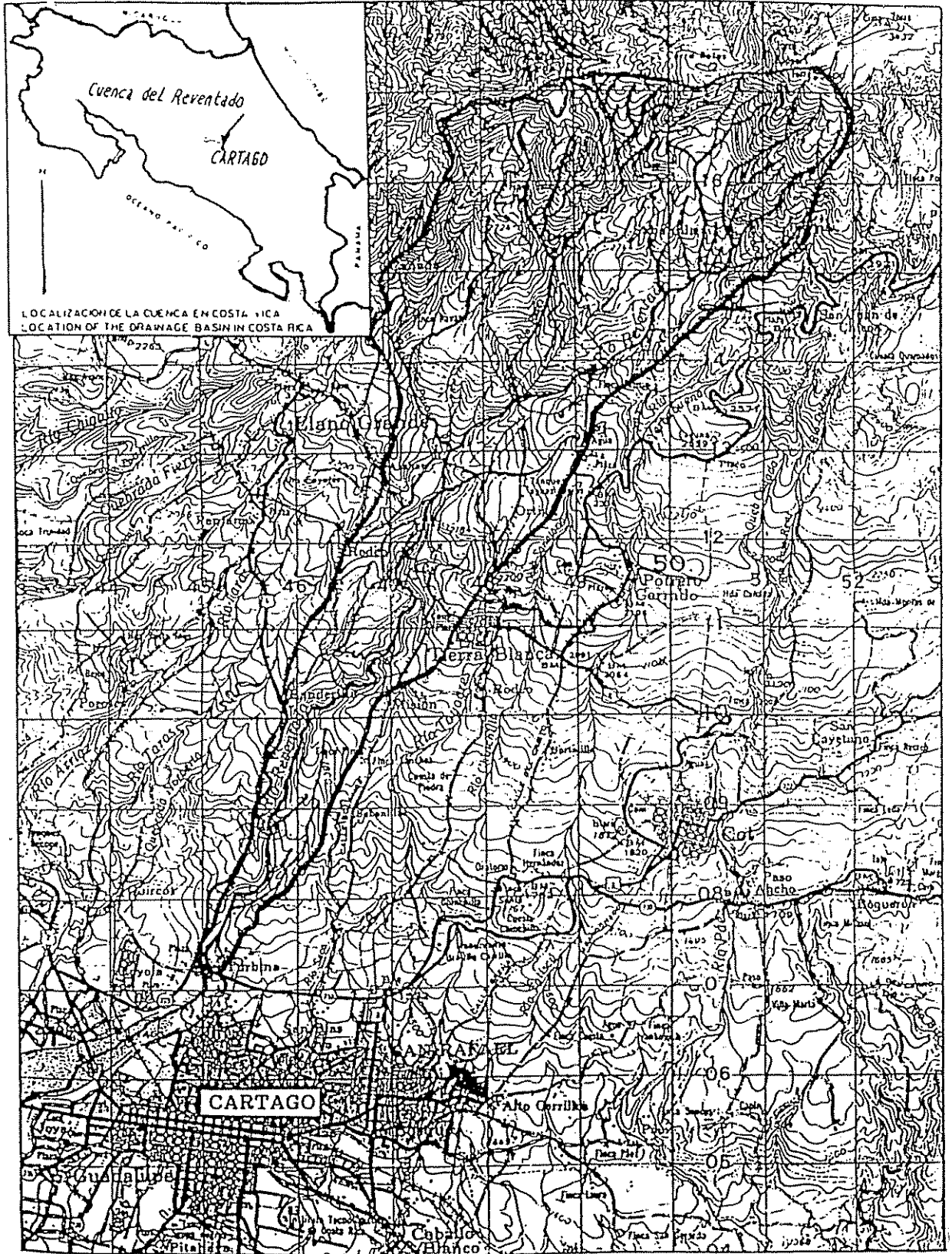


Figura 1 Localización de la cuenca del Río Reventado ,
Fuente: Sánchez (1993).

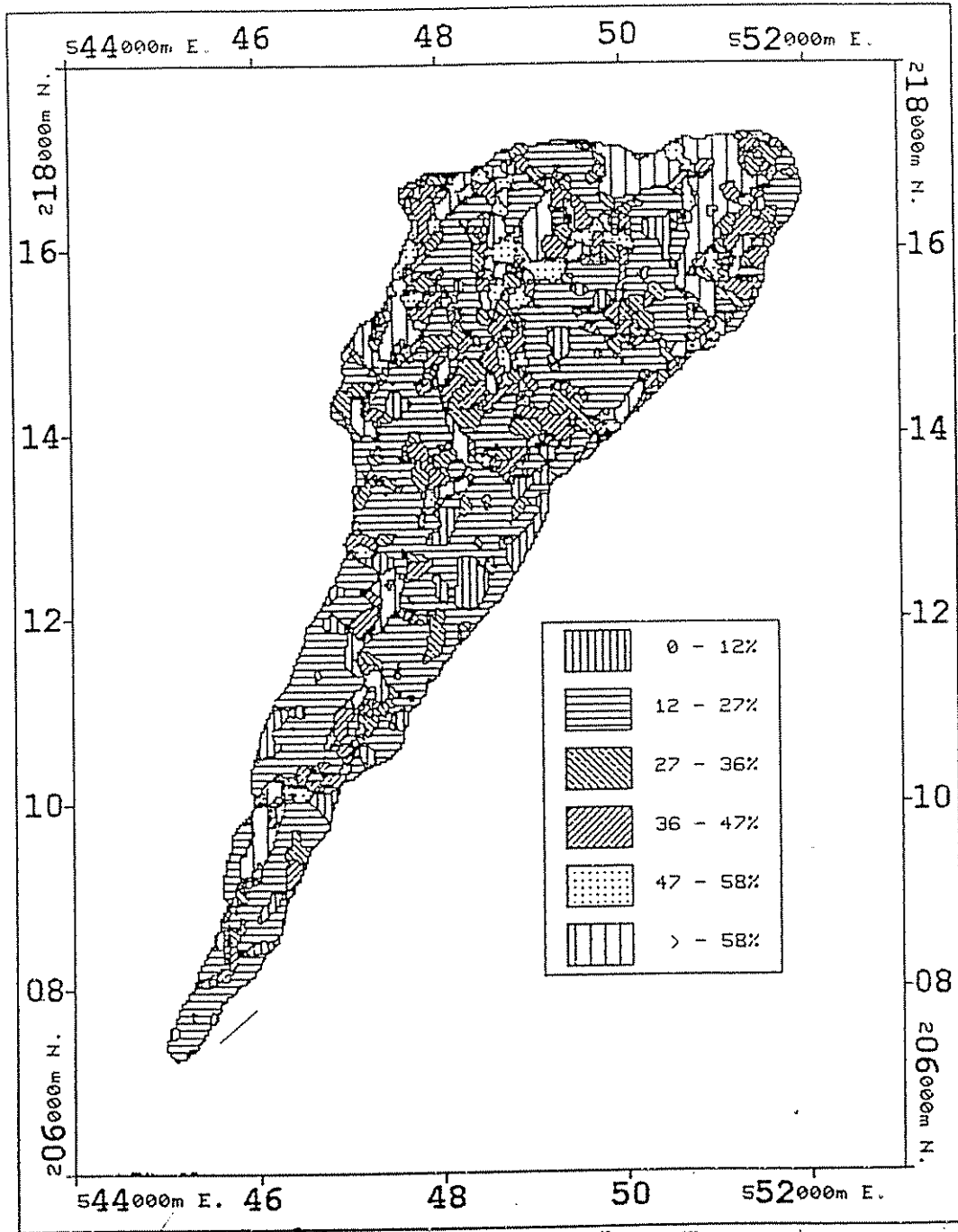


Figura 2 Clases de pendientes, cuenca Río Reventado

Fuente: Sánchez (1993).

En lo referente al uso de la tierra, la principal actividad es la horticultura figura 3, predominando los cultivos de papa (*Solanum tuberosum*), cebolla (*Allium cepa*) y zanahoria (*Daucus carota*). Los productores son en su mayoría propietarios de las parcelas donde trabajan. El tamaño promedio de los lotes dedicados a la producción de hortalizas es de 3 has (Sánchez, 1993).

3.2 CLIMA

La precipitación promedio anual es de 1687 mm; la época seca se extiende desde enero hasta abril y la época lluviosa va desde mayo a diciembre. El mes más seco es marzo con 10 mm de promedio y el más lluvioso es octubre con 274 mm.

La temperatura anual oscila aproximadamente entre 1°C en enero y febrero y 26.5°C en junio. La temperatura promedio anual es de 13°C.

3.3 SUELOS

La mayoría de los suelos se han desarrollado en general de materiales volcánicos recientes, algunos de los cuales se clasifican actualmente como Andisoles.

Son suelos de origen volcánico (Andosoles), profundos, de texturas medias o livianas, porosos bien drenados, fértiles. Los suelos son utilizados para el cultivo de hortalizas con prácticas poco conservacionistas (Melo, 1991).

3.4 USO ACTUAL DE LA TIERRA.

Sistemas de cultivo en limpio, usados en sucesiones continuas para la producción de hortalizas (papa, cebolla,

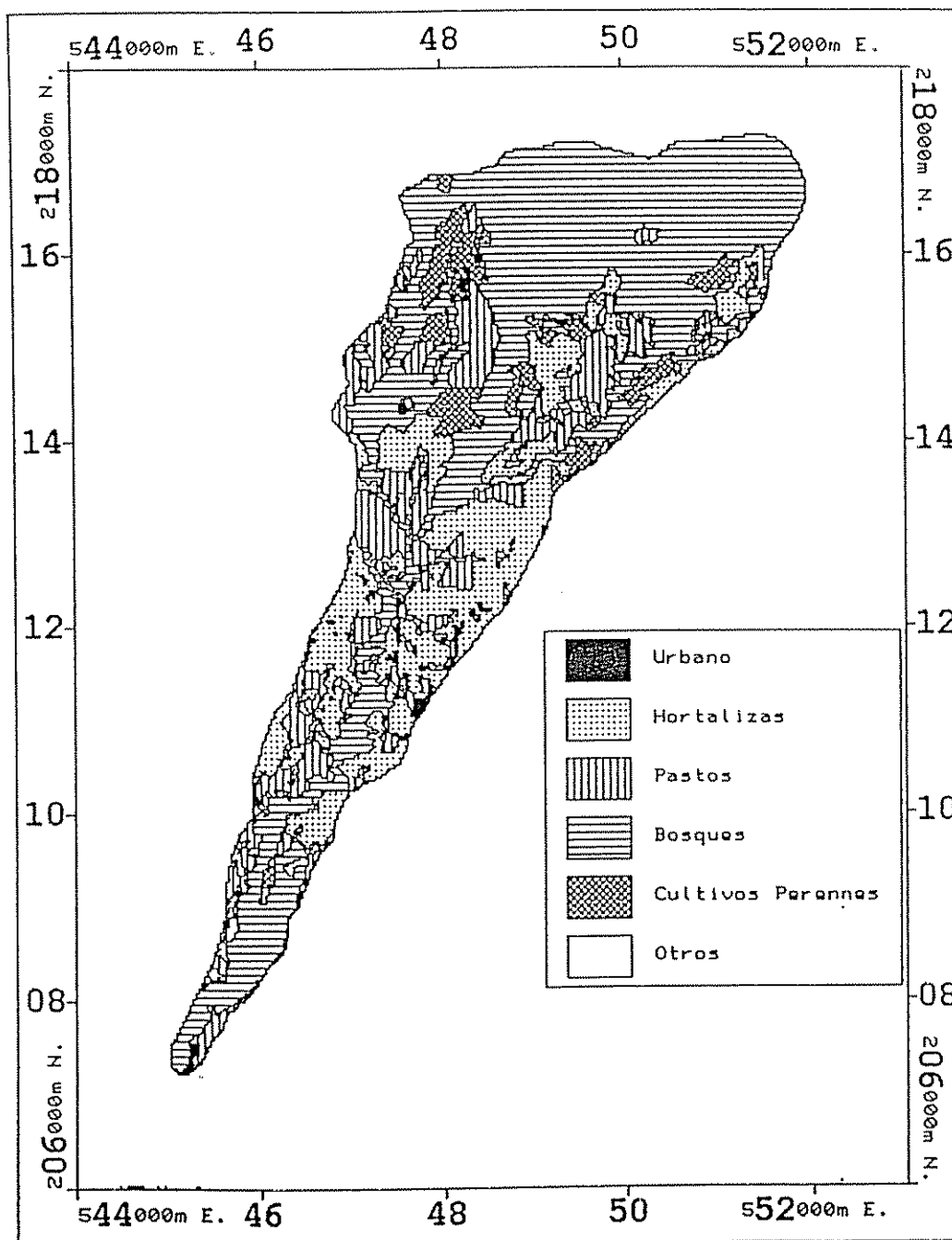


Figura 3 Uso de la tierra, cuenca Río Reventado

Fuente: Sánchez (1993).

zanahoria, remolacha, etc.). En menor porcentaje se encuentran las praderas y escasos productos de bosques secundarios, que se observa a orillas de ríos y quebradas. La capacidad de uso de las tierras se ubica dentro de la clase IV en donde la limitante es su topografía.

3.5 FASES METODOLOGICAS

3.5.1 FASE I: RECONOCIMIENTO Y CARACTERIZACION DE LA ZONA

1) Se realizaron visitas a la zona de estudio; con el objetivo de reconocer y ubicarse en la zona, así como para determinar el sitio para realizar el estudio.

2) Se diseñó una encuesta general (anexo 1), que permitió caracterizar la zona para obtener áreas, pendientes, preparación de suelo, uso de prácticas de conservación de suelo, uso de riego, tipo de cultivos, insumos usados, rendimientos, etc.

3) Se visitaron los productores y sus fincas para realizar la encuesta, lo que permitió un mejor conocimiento sobre el área de estudio.

4) Usos de tierra: para efectos de este estudio y con el objetivo de comparar las características del suelo sometido a cultivo intensivo (condición Fincas), se seleccionó el uso de la tierra bajo pasto (condición Referencia), debido a que es el sistema menos alterado que se encontró en el sitio de estudio, pues no existen bosques naturales que hubiera sido la condición ideal. Dadas las características del suelo observadas como una topografía variable, uso y preparación de los suelos, inestabilidad, clima etc. se decidió considerar para este trabajo tres intervalos de

pendiente: 0-15% (A), 16-30% (B) y 31-45% (C) para las condiciones Finca y Referencia.

5) Las variables evaluadas fueron las siguientes: Potencial de hidrógeno, contenido de materia orgánica, de fósforo, de calcio, de magnesio, de potasio, acidez extraíble, densidad aparente y textura.

También se consideraron características del suelo y cultivo al momento del muestreo para los usos de tierra finca y referencia.

3.5.2 FASE II: TRABAJO DE CAMPO

6) Se comenzó visitando las fincas de los productores encuestados iniciando la toma de datos: primeramente se procedió a la elaboración de un croquis de campo con la ubicación de las pendientes en cada finca y luego se hicieron las lecturas de inclinación de las pendientes, mediante el clinómetro, las cuales fueron anotadas en el croquis. Este paso se realizó durante varios días en las comunidades involucradas (Tierra Blanca y Llano Grande).

7) De los productores encuestados, se realizó una escogencia de fincas de acuerdo a tres intervalos de pendientes. Se escogieron veinte (20) pendientes para cada uno de los intervalos, en cuya preparación se utiliza el tractor o una combinación de tractor y bueyes; Para la condición de Referencia se consideraron tres intervalos de pendiente igual que para fincas.

8) Una vez seleccionadas las fincas de acuerdo a los intervalos de pendiente de interés para el estudio, se inicio con las visitas a éstas y se procedió dentro de las pendientes escogidas a la toma de muestras de suelo. A partir de la parte media de la pendiente se marcaron tres

puntos de muestreo en cada tipo de pendiente; se introdujo un barreno a una profundidad de 20 cm considerando la profundidad radical de desarrollo de los cultivos (papa y cebolla); se tomaron tres submuestras en cada punto, las que fueron depositadas en un balde y se procedió a su homogenización para formar una sola muestra. Luego en una bolsa plástica identificada con un marcador se introdujo aproximadamente un kilo del suelo homogenizado.

Para la densidad aparente se utilizó el método del cilindro de volumen conocido (5 cm diámetro x 5 cm altura). En cada uno de los tres puntos escogidos se introdujo el cilindro en el suelo y se sacó la muestra de volumen conocido la cual fue depositada en una bolsa plástica debidamente identificada con marcador.

9) Para la condición de Referencia (pastos), se consideraron áreas con pendientes comprendidas dentro de los tres intervalos escogidos, situadas en algunas de las fincas seleccionadas o áreas aledañas. Luego se procedió a marcar tres puntos de muestreo, ubicados en la parte media de la pendiente. Con un machete se cortó el pasto y luego se introdujo el barreno a una profundidad de 20 cm y se tomaron tres submuestras en cada punto, las cuales fueron depositadas en un balde donde se homogenizó la muestra para luego depositar un kilo de suelo en una bolsa plástica identificada con marcador.

Para la densidad aparente, se escogieron tres puntos en la parte media de la pendiente, donde con una cinta métrica se midió un cuadro de 30 x 30 centímetros en cada punto. Luego con una macana se hizo un corte a una profundidad de 20 cm que permitiera manipular con facilidad el cilindro, el cual fue introducido en el suelo a tres profundidades: 0-5, 5-10 y 10-15 cm. En cada una de las tres profundidades fue necesario utilizar una navaja para cortar las raíces a los lados y en la parte de abajo del cilindro para sacarlo sin

alterar la muestra. Seguidamente el suelo contenido en cada cilindro se introdujo en una bolsa plástica identificada.

10) Otras características del suelo y de los cultivos identificadas fueron:

a) Características del suelo en la condición Fincas (cultivo de hortalizas): la profundidad de compactación (procomp) en los camellones de siembra, la afloración de terrones expresada en porcentaje, la distribución de tamaño de terrones (mm), el tipo de tamaño de terrones predominantes (mm), la organización estructural superficial (OES) expresado en milímetros y el grado de cohesión, *anexos 2 y 3*.

b) Características del suelo en la condición de Referencia (pastos): el color, estructura (desarrollo, forma, tamaño), raíces (cantidad y espesor), y presencia biológica, *anexos 4 y 5*.

c) Características del cultivo para la condición Fincas. Se tomaron datos sobre: la altura de plantas (cm), el grado de cobertura vegetal (%), la densidad y geometría (DENGE0: ancho de camellón, ancho del intercamellón, distribución entre líneas de plantas, *Anexos 6 y 7*.

3.5.3 FASE III: ANALISIS DE SUELO

12) Se entregaron las muestras de suelo al laboratorio, en bolsas debidamente identificadas por sitio, finca e intervalo de pendiente para los dos usos de la tierra: Finca (Cultivo de hortalizas) y Referencia (Pastos). El resultado detallado del análisis de todo el conjunto de muestras aparecen en los *anexos 8 y 9*.

13) Las metodologías para el análisis de suelo usadas en el laboratorio del CATIE, fueron las siguientes:

a) Potencial de hidrógeno (pH):

La determinación del pH, se realizó mediante el método descrito por Díaz-Romeou y Hunter (1978); la medición se realizó con potenciómetro para una suspensión suelo/agua en una relación 10:25.

b) Fósforo (P):

La determinación de fósforo en mg/l, fue colorimétrica, utilizando molibdato de amonio y cloruro de estaño II (SnCl_2). Se hizo la extracción con solución de Olsen Modificado pH 8.5. La relación suelo: la solución utilizada fue 2.5:25 (Díaz-Romeou y Hunter, 1978).

c) Calcio (Ca):

La determinación de calcio, se hizo por absorción atómica, y la extracción con KCl 1N. La relación suelo: solución utilizada fue 2.5:25 (Díaz-Romeou y Hunter 1978).

d) Magnesio (Mg):

La determinación de magnesio, se realizó por absorción atómica, y la extracción con KCl 1N. La relación suelo: solución utilizada fue 2.5:25 (Díaz-Romeou y Hunter 1978).

e) Potasio (K):

La determinación de potasio, se realizó por absorción atómica, la extracción se efectuó con solución Olsen Modifi-

cado pH 8.5. La relación suelo: solución utilizada fue 2.5:25 (Díaz-Romeou y Hunter 1978).

f) Acidez extraíble:

La determinación se hizo titulando el extracto con hidróxido de sodio (NaOH) 0.01N. La extracción se realizó con KCl 1N. La relación suelo: solución utilizada fue 2.5:25 (Díaz- Romeou y Hunter 1978).

g) Materia orgánica:

La determinación se realizó mediante el método descrito por Walkey y Black (Allison, 1965). La medición se realizó mediante el método de digestión húmeda, utilizando dicromato de potasio ($K_2Cr_2O_7$) 1N en medio ácido. El remanente de dicromato de potasio se determinó por titulación con sal de Mohr (sulfato ferroso de amonio).

h) Densidad aparente:

Se tomaron las muestras directamente en el campo con cilindros de volumen conocido y se secaron en el horno a 105 °C durante 48 horas.

i) Textura:

Se utilizó el Método de Bouyoucus, dispersando el suelo con hexametáfosfato de sodio al 10%. Se tomaron lecturas a los 40 segundos y a las 2 horas con el hidrómetro calibrado.

3.5.4 FASE IV: ANALISIS DE LA INFORMACION

14) La información se ordenó en cuadros y en columnas por cada variable estudiada y de acuerdo al uso de la tierra

y a los intervalos de pendiente; A los datos se les calculó el promedio, la desviación estándar y el coeficiente de variación.

15) Se realizaron análisis estadísticos utilizando los paquetes informáticos Quattro Pro y SAS, donde se aplicó la prueba Duncan para verificar y comparar las diferencias entre medias de usos de la tierra para cada variable y la diferencia entre intervalos de pendiente por uso de la tierra.

IV RESULTADOS Y DISCUSION

4.1 CARACTERIZACION GENERAL DEL SITIO DE ESTUDIO

Se realizaron 60 encuestas en la zona de estudio, en el área que comprende la cuenca media del Río Reventado. De los productores encuestados para el estudio se obtuvo la siguiente información:

4.1.1 Preparación del suelo

Un 86% de los productores preparan sus terrenos en forma mecanizada, mediante arados, rastras, rotavator y bueyes para marcar canales de desagüe. Casi siempre esta labor se hace a favor de la pendiente. Debido al cultivo intensivo este tipo de preparación se efectúa de 2-3 veces por año. Los productores aseguran que incorporan los residuos de cosecha. La mayoría es conciente que la erosión se agrava más debido a una inadecuada preparación del terreno. Ellos observan corrientes de agua color café dentro de sus terrenos pero no les preocupa tanto estas pérdidas de suelo debido a lo profundo de los mismos. De acuerdo a la encuesta, un 78% de ellos realizan medidas de conservación de suelos, mediante las curvas de nivel (al ojo), zisas y desagües pero sin un criterio técnico.

4.1.2 Siembra

El 45% de los productores encuestados cultivan papa y cebolla dentro de la misma finca y un 33% alternan entre papa-cebolla-zanahoria, lo que significa que un 78% de ellos siembran papa y cebolla y un 22% se dedican a otros cultivos. La siembra la realizan manualmente de 2-3 veces por año. El 53% dispone de riego mediante el sistema por aspersión, pagando una concesión al SENARA por el uso del mismo.

4.1.3 Control de malezas

EL 92% de los productores encuestados realizan el control de malezas con productos químicos, de estos un 25% combinan la forma manual y química y solo un 8% lo hace en forma manual. Los herbicidas que más utilizan son: glifosato (roundup), paraquat (gramoxone), metribuzin (sencor), oxifluorfen (Goal) y linurón (afalón).

4.1.4 Fertilización

El 100% de los productores encuestados informaron que utilizan con mucha frecuencia, fórmulas completas con alto contenido de fósforo, entre ellas están: 10-30-10, 12-24-12, 15-15-15. Son concientes que hoy día aplican mayores cantidades de fertilizantes, que en el pasado, siendo esto un indicio de la pérdida de fertilidad de estos suelos. Un pequeño grupo de productores opinan que actualmente están aplicando la misma cantidad de fertilizante respecto al pasado, por lo que han disminuído los rendimientos; también aplican fertilizantes foliares.

4.1.5 Uso de plaguicidas

El 100% de los productores encuestados confirmaron el uso de productos químicos para el control de plagas los que

aplican con mucha frecuencia y altas dosificaciones. Los insecticidas más usados entre los productores son: metamidofos (tamarón), decametrina (decis), endosulfan (tiodan), y oxamyl (vidate). Parece que las plagas están presentando resistencia a esos químicos posiblemente porque los productores no acostumbran la rotación de plaguicidas.

4.1.6 Cosecha y rendimientos

La cosecha se realiza manualmente. En lo referente a rendimientos y de acuerdo a la información que el productor ofrece, el promedio para cebolla es de 30.000 kg/ha y para la papa reportaron un promedio de 25.000 kg/ha. Los productores en su mayoría comentan que actualmente los rendimientos han bajado y un pequeño grupo opina que los rendimientos son iguales respecto al pasado, pero todos opinaron que los costos actuales de producción son más altos.

4.1.7 Problemas que afectan la horticultura en la zona

Los principales problemas que están afectando la horticultura en la zona de estudio de acuerdo a la opinión de los productores y de acuerdo a la frecuencia de su respuesta son en su orden los siguientes: plagas, precios de mercado, costo de agroquímicos, calidad de semilla y lavado del suelo.

De lo presentado anteriormente en general se puede concluir que los agricultores preparan los suelos en forma mecanizada pero de manera inadecuada: aran a favor de la pendiente, lo que ocasiona mayores pérdidas de suelo por erosión; además se observa que los agricultores realizan pocas prácticas de conservación de suelo en sus parcelas y sin criterio técnico.

La siembra es realizada manualmente 2 a 3 veces por año con los cultivos de papa y cebolla en mayor escala, no existiendo una temporada fija para esta labor; la decisión para elegir la temporada de siembra y el cultivo está basada en los rumores de exportación o de buenos precios en los mercados del país.

Para el control de malezas, plagas y fertilización hacen un uso irracional de agroquímicos y fertilizantes con la consecuente aparición de plagas que se están volviendo resistentes a los pesticidas, todo esto conlleva a una baja en la rentabilidad de los cultivos disminuyendo el nivel económico de la familia y exponiendo la salud del agricultor al usar mucho agroquímico. Las aplicaciones de agroquímicos y fertilizantes se realizan bajo la orientación de cada agricultor basado en la experiencia acumulada por muchos años de tradición o siguiendo las instrucciones de los distribuidores que no conocen los cultivos, pero que requieren cumplir con los volúmenes de venta.

Los problemas que más están afectando a los productores son la presencia de plagas, precios de mercado, costo de agroquímicos, calidad de semillas y lavado del suelo como principales entre otros.

Los resultados de la encuesta parecen poner en evidencia que el tipo de agricultura que se desarrolla en la zona de estudio es poco sostenible, principalmente a largo plazo, debido a que la mayoría de prácticas de cultivo favorecen la degradación de los suelos y la contaminación ambiental.

4.2 COMPORTAMIENTO DE LAS VARIABLES EVALUADAS DE ACUERDO AL USO DE LA TIERRA Y LA PENDIENTE

4.2.1 Potencial de hidrógeno (pH)

En el *cuadro 1* se presentan los resultados correspondientes al promedio, desviación estándar y coeficiente de variación del pH del suelo de acuerdo al uso de la tierra y al grado de pendiente dentro de cada uso. Se encontró diferencia significativa ($\text{Alpha}=0.05$) entre el pH promedio del uso fincas (5.2) y el de la referencia (6.0).

Cuadro 1. Valores promedio de pH del suelo de acuerdo al uso de la tierra para tres intervalos de pendiente, cuenca media del Río Reventado, Cartago, Costa Rica, 1994.

USO DE TIERRA	n	INTERVALOS DE PENDIENTE (%)									Promedio
		0-15 (A)			16-30 (B)			31-45 (%)			
		Media	STD	CV	Media	STD	CV	Media	STD	CV	
FINCAS (Cult. hortal.)	20	5.1	0.2	4.8	5.3	0.4	7.3	5.3	0.3	6.2	5.2 a *
REFERENCIA (Pastos)	5	6.0	0.2	2.8	6.1	0.2	2.6	5.9	0.2	3.1	6.0 b

* Valores con igual letra en una misma columna no difieren estadísticamente entre sí ($\text{alfa}=0.05$).

Para los diferentes intervalos de pendiente para cada uso de la tierra, los resultados indican que para fincas hubo diferencias significativas entre el intervalo A (0-15%) y los intervalos B (16-30%) y C (31-45%) como se muestra en el *cuadro 2*, siendo menor el pH en el intervalo A. Para la condición de referencia no se encontraron diferencias significativas entre intervalos.

Cuadro 2. Resultados prueba Duncan para los datos de pH de acuerdo a los intervalos de pendiente, para el uso de la tierra Fincas.

Uso de la tierra	Intervalos de pendiente	Número de observaciones	pH Promedio
FINCAS	16-30 (B)	20	5.3 a *
	31-45 (C)	20	5.3 a
	0-15 (A)	20	5.1 b

* Valores con igual letra en una misma columna no difieren estadísticamente ($\alpha=0.05$).

Las diferencias de pH entre los usos fincas y referencias, se debe probablemente a una preparación inadecuada de los suelos que permite una erosión más acelerada y que va en aumento en la medida que las pendientes son más fuertes y por ende el lavado de bases, lo que hace más ácidos a los suelos. También puede estar influyendo las indiscriminadas fertilizaciones nitrogenadas que contribuyen a la acidificación de los suelos (Blevins et al, 1983).

En la condición de pastos resultó un pH más alto (6.0) posiblemente debido a una menor alteración de sus suelos que conlleva a una menor pérdida de bases. Además no existen aplicaciones sistemáticas de fertilizante que contribuyan a acidificarlos.

En la *figura 4*, se nota que en los tres intervalos de pendiente el valor de pH fue menor en la condición de finca. Se observa además que hay muy poca variación dentro de cada uno de los usos de la tierra de acuerdo a intervalos de pendiente, situación que se manifiesta finalmente en los valores promedio de pH.

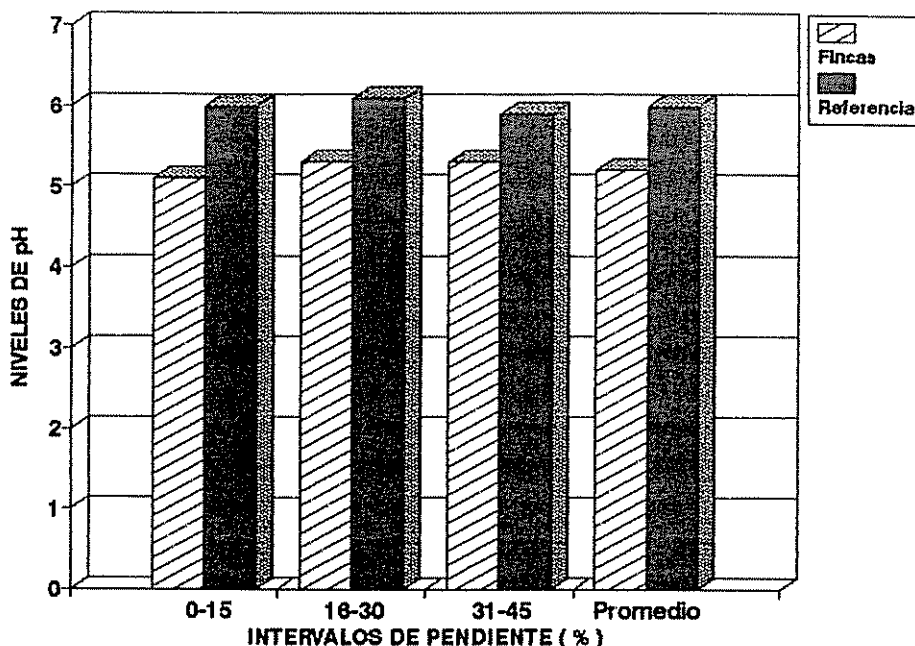


Figura 4. Comparación valores promedio de pH del suelo entre fincas (cultivo hortalizas) y la referencia (pastos) y para diferentes intervalos de pendiente, cuenca media del Río Reventado.

Con base en las guías de interpretación de análisis de suelo utilizadas por el MAG (Costa Rica) y el CATIE (*anexos 10,11,12*), el resultado promedio para la condición Fincas (pH=5.2) cae dentro de la categoría "baja", representando un problema potencial en la actividad agrícola, con una probabilidad alta de que se presenten problemas ligados a toxicidad por aluminio, predominancia de formas no disponibles de fósforo, baja disponibilidad de molibdeno y alta disponibilidad de algunos micronutrientes (hierro, manganeso, boro y zinc) que por ser requeridos en cantidades muy pequeñas por las plantas podrían llegar a ser tóxicos.

Analizando estos resultados en términos de sostenibilidad productiva de los suelos, parece que el cultivo intensivo de hortalizas en la región de estudio está afectando de manera evidente y negativa esta productividad mediante la acidificación, situación que de continuar podría llegar a

ser crítica y requeriría grandes inversiones en la aplicación de cal para recuperar los suelos; esto tiene lógicamente una fuerte repercusión sobre la rentabilidad de la actividad.

4.2.2) Fósforo

En el cuadro 3, se presentan los resultados correspondientes al promedio, desviación estándar y coeficiente de variación del contenido de fósforo en el suelo de acuerdo al uso de la tierra y al grado de pendiente dentro de cada uso. Se encontró diferencia significativa ($\text{Alpha}=0.05$) entre el contenido promedio de fósforo del uso de la tierra fincas (169 mg/l) y el de la referencia (70 mg/l).

Cuadro 3. Valores promedio de fósforo en el suelo (mg/l) de acuerdo al uso de la tierra para tres intervalos de pendiente, cuenca media del Río Reventado, Cartago, C.R., 1994.

USO DE TIERRA	n	INTERVALOS DE PENDIENTE (%)									Promedio
		0-15 (A)			16-30 (B)			31-45 (%)			
		Medin	STD	CV	Medin	STD	CV	Medin	STD	CV	
FINCAS (Cult. hortal.)	20	229	77	34	159	66	41	120	71	59	169 a *
REFERENCIA (Pastos)	5	106	34	32	55	19	34	49	26	52	70 b

* Valores con igual letra en una misma columna no difieren estadísticamente entre sí ($\text{Alfa}=0.05$).

Estos resultados se pueden considerar lógicos, puesto que el fósforo es un elemento que en la zona de estudio se acostumbra aplicar en grandes cantidades en la producción hortícola, a través de fertilizaciones con fórmulas completas altas en fósforo, tales como 10-30-10, 12-24-12, 15-15-

15 etc; esto es originado posiblemente por la falta de análisis de suelo y a la falta de orientación técnica en la zona para los productores. Esta situación no ocurre en la condición pastos, en la cual no existe aplicación de fertilizantes fosforados y se nota que el contenido de fósforo se sitúa dentro del límite óptimo para los cultivos, según la guía de interpretación de la fertilidad de suelos utilizada por el CATIE (anexo 11).

En la *figura 5* se observa que para la condición de Fincas, el contenido de fósforo disminuye conforme aumenta la pendiente. En la condición de Referencia en el intervalo de pendiente 0-15% (A) se observan valores bastante superiores con respecto a los otros dos intervalos, que son muy similares. Para todos los intervalos de pendiente, el contenido de fósforo en la condición fincas fue más de 100% superior al obtenido en la referencia.

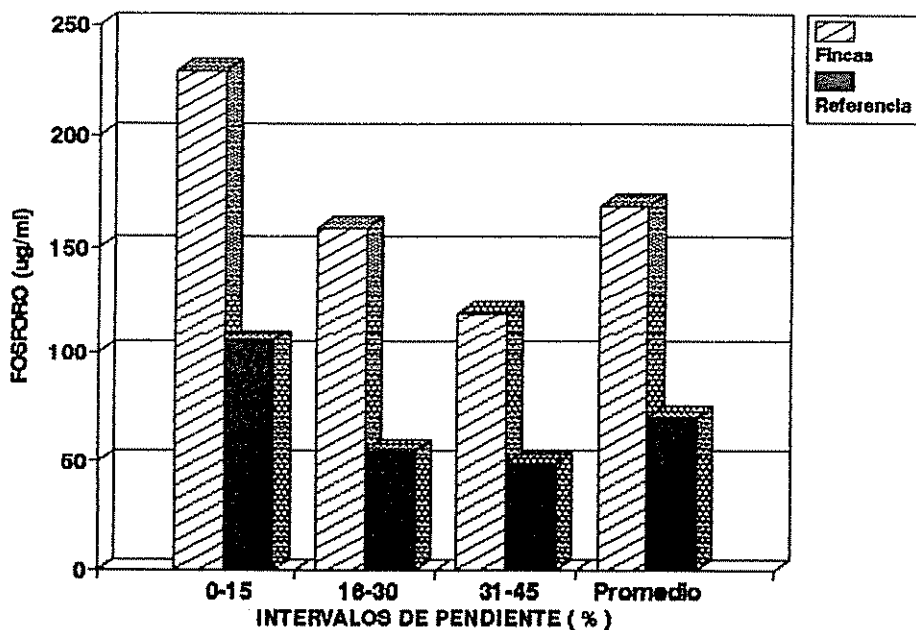


Figura 5. Comparación valores promedio de fósforo en el suelo entre fincas (cultivo hortícolas) y la referencia (pastos) y para diferentes intervalos de pendiente. cuenca media Río Reventado.

Para los diferentes intervalos de pendiente para cada uso de la tierra los resultados indican que para ambos usos de la tierra hubo diferencias significativas entre el intervalo A (0-15%) y los intervalos B (16-30%) y C (31-45%) como se muestra en el cuadro 4. estas diferencias pueden obedecer al menos en el caso de la condición fincas a que la erosión hídrica remueve la capa superficial del suelo de las partes de mayor pendiente hacia las de menor, acarreando así parte de fósforo que ha sido aplicado mediante los fertilizantes y del fósforo contenido previamente en el suelo.

Resulta complejo analizar los datos de contenido de fósforo obtenidos en relación a la sostenibilidad productiva de los suelos, puesto que a pesar que este elemento parece que se encuentra en cantidades excesivas en la condición Fincas, difícilmente llega a ser tóxico para las plantas .

Cuadro 4. Resultado de la prueba de Duncan para los datos de fosforo de acuerdo a los intervalos de pendiente y uso de la tierra.

Uso de la tierra	Intervalos de pendiente (%)	Número de observaciones	Contenido promedio de Fósforo
FINCAS	0-15 (A)	20	229 a *
	16-30 (B)	20	159 b
	31-45 (C)	20	120 b
REFERENCIA	0-15 (A)	5	106 a
	16-30 (B)	5	55 b
	31-45 (C)	5	49 b

* Valores con la misma letra en una misma columna no difieren estadísticamente ($\alpha = 0.05$).

En todo caso muestra que posiblemente muchos agricultores están desperdiciando muchos recursos económicos al aplicar grandes cantidades de fósforo al suelo sin que realmente sea necesario o quizás sería preferible mejorar la disponibilidad de fósforo en el suelo y su fertilidad general a través de disminuir la acidez (elevar el pH). Se podría argumentar entonces que indirectamente esa situación conduce a que el agricultor deje de hacer algunas prácticas, por ejemplo de conservación de suelos, que podrían ayudar a evitar el deterioro del mismo debido a la menor disponibilidad de recursos económicos.

4.2.3 Calcio

En el *cuadro 5* se presentan los resultados correspondientes al promedio, desviación estándar y coeficiente de variación del contenido de calcio en el suelo de acuerdo al uso de la tierra y al grado de pendiente dentro de cada uso. Se encontró diferencia significativa ($\text{Alpha}=0.05$) entre el contenido de calcio promedio del uso fincas (6.2) y el de la referencia (5.6).

Cuadro 5. Valores promedio de calcio en el suelo (meq/100 ml suelo) de acuerdo al uso de la tierra para tres intervalos de pendiente, cuenca media del Río Reventado, Cartago, Costa Rica, 1994.

USO DE TIERRA	n	INTERVALOS DE PENDIENTE (%)									Promedio
		0-15 (A)			16-30 (B)			31-45 (%)			
		Media	STD	CV	Media	STD	CV	Media	STD	CV	
FINCAS (Cult. hortal.)	20	4.9	1.7	35.0	6.8	3.1	47.0	7.0	4.0	57.0	6.2 a *
REFERENCIA (Pastos)	6	5.9	1.4	22.9	5.5	0.9	16.6	5.4	0.9	16.6	5.6 b

* Valores con la misma letra en una misma columna no difieren estadísticamente ($\text{Alfa}=0.05$)

En la *figura 6*, se observa que en el intervalo de 0-15 (A) el contenido de calcio fue mayor en la condición de referencia, situación contraria en los intervalos de 16-30 (B) y 31-45 (C), en los cuales el contenido de Ca fue superior en la condición de finca y esto trae como consecuencia que en promedio, el contenido de Ca sea superior en Fincas con respecto a la Referencia. Se observa en los tres intervalos de pendiente que el contenido de Ca es más estable en la condición de Referencia, mientras que en la condición de Fincas tiende a aumentar su contenido con el grado de pendiente.

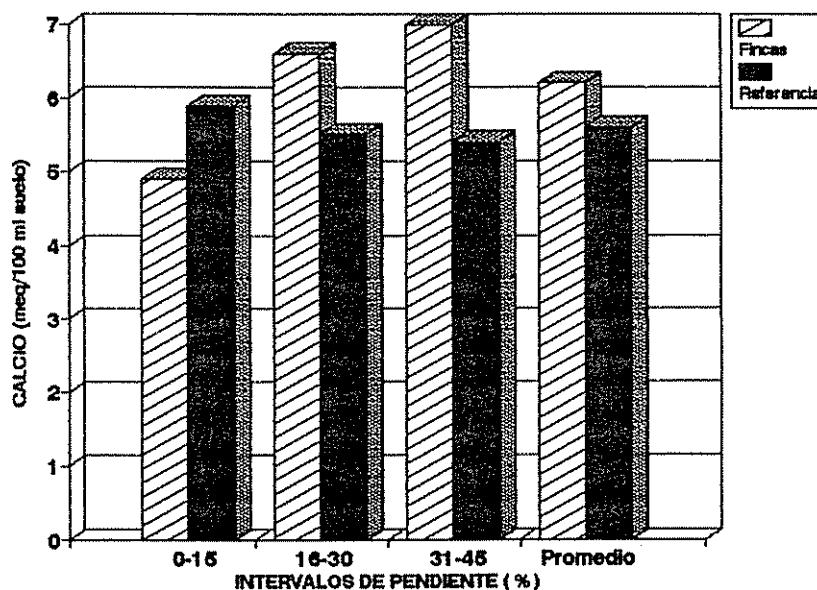


Figura 6. Comparación valores promedio de calcio en el suelo entre fincas (cultivo hortalizas) y la referencia (pastos) y para diferentes intervalos de pendiente. cuenca media Río Reventado.

Para los diferentes intervalos de pendiente para cada uso de la tierra, los resultados indican que para fincas hubo diferencias significativas entre el intervalo A (0-15%) y el intervalo C (31-45%) como se muestra en el *cuadro 6*, siendo mayor el contenido de calcio en el intervalo C. Para la condición de referencia no se encontraron diferencias significativas entre los intervalos.

Cuadro 6. Resultado de la prueba Duncan para los datos de calcio de acuerdo a los intervalos de pendiente en el uso de la tierra Fincas.

Uso de la tierra	Intervalo de pendiente	Número de observaciones	Contenido promedio de calcio
FINCAS	31-45 (C)	20	7.0 a *
	16-30 (B)	20	6.6 ba
	0-15 (A)	20	4.8 b

* Valores con igual letra en una misma columna no difieren estadísticamente ($\alpha=0.05$)

De acuerdo a la guía para interpretación de análisis de suelo utilizada por el CATIE, los niveles de Ca tanto en la condición de Fincas como Referencia están en la categoría baja dentro del nivel óptimo. Sin embargo, como se pudo apreciar en las visitas, los agricultores de hortalizas aplican con frecuencia cal, lo que indica que es un elemento que se pierde mucho por lavado en este tipo de agricultura intensiva. Un resultado curioso obtenido es que, el contenido de calcio en la condición Fincas, fue mayor conforme aumentó la pendiente. De acuerdo a una comunicación personal con el Dr. Donald Kass, se puede dar el caso de que estos suelos estén sobre rocas calcáreas o calizas, a bien que haya suelos enterrados con cenizas más descompuestas que producto de la mayor erosión en las partes con más pendiente, lo que antes era un horizonte superior rico en material calcareo (que puede darse en los intervalos B y C) este ahora expuesto como consecuencia de las prácticas inadecuadas en la preparación del suelo. Además, en el intervalo 0-15% (A) el contenido de calcio es más bajo porque está más sujeto a la lixiviación por ser un material nuevo, menos estable y que puede ser lavado.

4.2.4 Magnesio

En el cuadro 7, se presentan los resultados correspondientes al promedio, desviación estándar y coeficiente de variación del contenido de magnesio en el suelo de acuerdo al uso de la tierra y al grado de pendiente dentro de cada uso. Se encontró diferencias significativas ($\text{Alpha}=0.05$) entre el contenido promedio de magnesio del uso Fincas (1.8) y el de la Referencia (2.8).

Cuadro 7. Valores promedio de magnesio del suelo (meq/100 ml suelo) de acuerdo al uso de la tierra para tres intervalos de pendiente, cuenca media del Río Reventado, Cartago, Costa Rica, 1994.

USO DE TIERRA	n	INTERVALOS DE PENDIENTE (%)									Promedio
		0-15 (A)			16-30 (B)			31-45 (%)			
		Media	STD	CV	Media	STD	CV	Media	STD	CV	
FINCAS (Cult. hortal.)	20	1.1	0.6	47.6	1.9	1.6	83.6	2.6	1.8	70.7	1.8 b *
REFERENCIA (Pastos)	6	2.9	0.7	22.5	2.3	0.6	33.8	3.0	0.4	11.9	2.8 a

* Valores con igual letra en una misma columna no difieren estadísticamente ($\text{Alpha}=0.05$).

En la figura 7 se puede observar que el contenido de Mg fue inferior en la condición Fincas para todos los intervalos de pendiente. Así mismo existe una clara tendencia de aumento de Mg a conforme aumenta la pendiente en el uso de la tierra antes mencionado. En el caso de la referencia no se observa un patrón de variación definido del contenido de Mg en función de la pendiente; la cantidad menor de Mg en el intervalo B puede considerarse normal dado la heterogeneidad natural del suelo como lo muestra el elevado coeficiente de variación de los datos (cuadro 7)

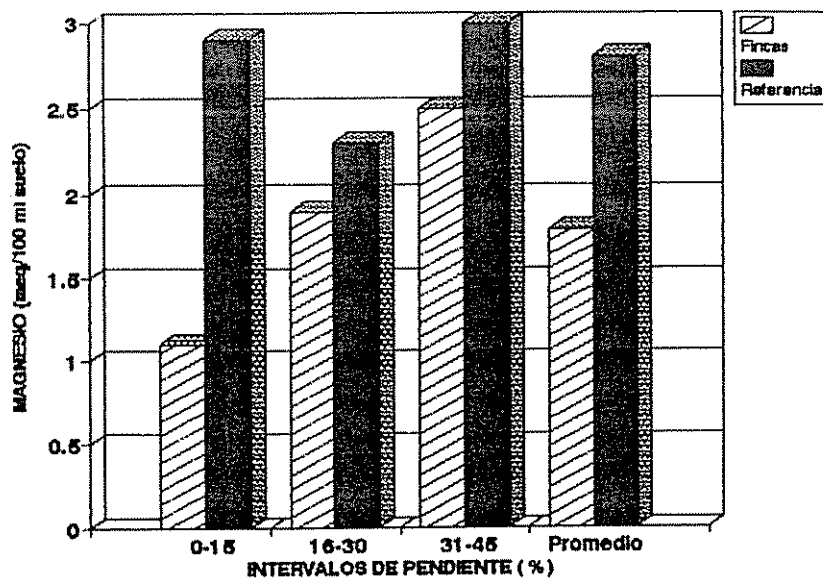


Figura 7. Comparación valores promedio de magnesio en el suelo entre fincas (cultivo hortalizas) y la referencia (pastos) y para diferentes intervalos de pendiente. cuenca media del Río Reventado.

Para los diferentes intervalos de pendiente para cada uso de la tierra, los resultados indican que para fincas hubo diferencias significativas entre el intervalo A (0-15%) y el intervalo C (31-45%) como se muestra en el cuadro 8, siendo menor el contenido de magnesio en el intervalo A. Para la condición de referencia no se encontraron diferencias significativas entre intervalos.

Cuadro 8. Resultado de la prueba Duncan para los datos de magnesio de acuerdo a los intervalos de pendiente para el uso de la tierra Fincas.

Uso de la tierra	Intervalo de pendiente	Número de observaciones	Contenido promedio de magnesio
FINCAS	31-45 (C)	20	2.5 a *
	16-30 (B)	20	1.9 ba
	0-15 (A)	20	1.2 b

* Valores con la misma letra en una misma columna no difieren estadísticamente ($\alpha=0.05$)

De acuerdo a la guía para interpretación de análisis de suelo utilizada por el CATIE, el contenido de magnesio para fincas está por debajo del óptimo, situándose en un nivel crítico; por el contrario para las referencias el resultado promedio se sitúa dentro del óptimo.

El comportamiento del contenido de magnesio en la condición de Referencia y Fincas podría resultar un buen indicador para analizar la sostenibilidad productiva del suelo en la región de estudio como consecuencia del uso de la tierra, ya que normalmente no se hacen aplicaciones de este elemento. Los datos obtenidos muestran claramente que el uso intensivo de la tierra para la producción de hortalizas en la cuenca media del Río Reventado repercute negativamente la disponibilidad de magnesio.

Morwunye y Melsted citados por Thompson y Troeh (1982), comprobaron que la meteorización severa, la erosión y la eluviación de la arcilla tienden a reducir el contenido de magnesio en los horizontes superficiales del suelo, además los suelos muy lavados pueden presentar un nivel de deficiencia, tendencia que se observa en la condición de Fincas.

4.2.5 Potasio

En el *cuadro 9*, se presentan los resultados correspondientes al promedio, desviación estándar y coeficiente de variación del contenido de potasio en el suelo de acuerdo al uso de la tierra y al grado de pendiente dentro de cada uso. Se encontró diferencia significativa ($\text{Alpha}=0.05$) entre el contenido promedio de potasio del uso Fincas (0.9) y el de la Referencia (1.3).

Cuadro 9. Valores promedio de potasio del suelo (meq/100 ml suelo) de acuerdo al uso de la tierra para tres intervalos de pendiente, cuenca media del Río Reventado, Cartago, Costa Rica, 1994.

USO DE TIERRA	n	INTERVALOS DE PENDIENTE (%)									Promedio
		0-15 (A)			16-30 (B)			31-45 (C)			
		Media	STD	CV	Media	STD	CV	Media	STD	CV	
FINCAS (Cult. hortal.)	20	1.1	0.2	21.4	0.9	0.3	33.7	0.8	0.2	29.4	0.9 b *
REFERENCIA (Pastos)	5	1.8	0.4	28.0	1.2	0.2	14.1	1.0	0.4	35.9	1.3 a

* Valores con la misma letra en una misma columna no difieren estadísticamente (Alfa=0.05).

En la *figura 8*, se observa que el mayor contenido se presentó en el intervalo 0-15 (A) en ambos usos de la tierra. El contenido promedio de potasio disminuye conforme aumenta la pendiente en ambos usos de la tierra, condición que se da en los tres intervalos. Es un elemento más sujeto a lixiviación que el calcio y magnesio, aunque puede protegerse de este fenómeno fijándose entre capas, las cantidades de material parental no se mantienen por lo que se disminuyen de acuerdo con las pendientes.

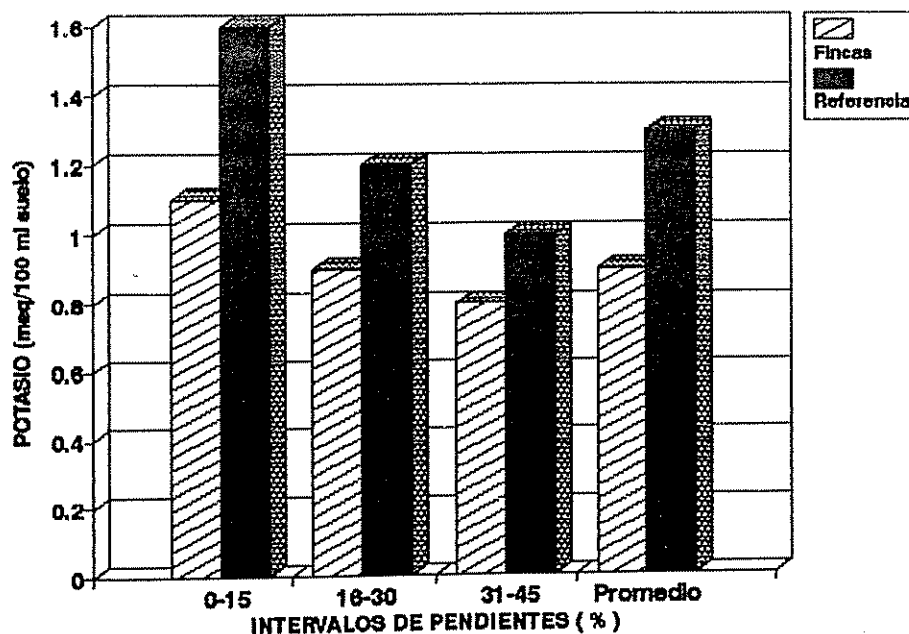


Figura 8. Comparación valores promedio de potasio en el suelo entre fincas (cultivo hortalizas) y la referencia (pastos) y para diferentes intervalos de pendiente: cuenca media del Río Reventado.

Para los diferentes intervalos de pendiente, los resultados indican que para Fincas y Referencia hubo diferencias significativas entre el intervalo A (0-15%) y el intervalo C (31-45%), como se muestra en el *cuadro 10*, siendo mayor el contenido de potasio en el intervalo A.

Cuadro 10. Resultado de la prueba Duncan para los datos de potasio de acuerdo a los intervalos de pendiente y uso de la tierra.

Uso de la tierra	Intervalos de pendiente	Número de observaciones	Contenido promedio de potasio
FINCAS	0-15 (A)	20	1.1 a *
	16-30 (B)	20	0.9 ba
	0-15 (A)	20	0.8 b
REFERENCIA	0-15 (A)	5	1.6 a
	16-30 (B)	5	1.2 ab
	31-45 (C)	5	1.0 b

* Valores con la misma letra en una misma columna no difieren estadísticamente ($\alpha = 0.05$).

Se observa en ambos usos de la tierra un comportamiento descendente en la medida que aumenta el grado de pendiente.

De acuerdo a la guía de interpretación por CATIE y citada por Bertsch (1987), los resultados de niveles de potasio para fincas y referencias están comprendidos dentro del óptimo, que varía entre 0.4 a 3.0 meq/100 ml suelo. También afirma sobre el potasio, que no necesariamente lo que se extrae (adsorbido a la superficie coloidal y soluble) corresponde con lo que está disponible, debido a que existe una fracción de potasio fijado entre las capas de arcilla,

que actúa en forma moderadamente disponible y que no es considerada por el método de análisis usado (Olsen modificado). Por ello no es un indicador del todo representativo de la fracción de nutrimento disponible a la planta, constituyendo una guía preliminar.

A pesar de las constantes aplicaciones de fertilizantes que contienen potasio, muestran los datos que hay una alta absorción por los cultivos horticolas en comparación a los pastos, donde hay menos lixiviación del elemento y además según Sánchez (1981), alrededor del 80% del potasio que los animales consumen vuelve al suelo por medio de las excreciones. Al igual que con otros elementos como Ca, Mg y P y otros indicadores como pH, se nota que con el potasio también, la producción hortícola esta ocasionando una degradación de la productividad de los suelos en el área de estudio.

Relación entre cationes básicos (Ca, Mg y K)

Es importante considerar que el grado de disponibilidad de los cationes básicos (Ca, Mg y K) no solamente depende de la concentración de la forma disponible en el suelo, sino también de su equilibrio en la cubierta catiónica del complejo de intercambio. En el cuadro 11 se presentan las relaciones entre Ca, Mg y K para condición Fincas y Referencia.

La relación de equilibrio Ca/Mg y Ca/K en la condición de Fincas presentan equilibrio situándose en la categoría "media", en donde predomina la absorción de calcio sobre magnesio y potasio; situación contraria ocurre en las relaciones Mg/K y Ca+Mg/K donde se presenta desequilibrio predominando la presencia de potasio sobre el magnesio y calcio más magnesio. Por otro lado para la condición de referencia se presentó desequilibrio de cationes en las relaciones Ca/Mg, Ca/K, Mg/K y Ca+Mg/K.

CUADRO 11. CALCULO DE LOS INDICES DE RELACION ENTRE LOS CATIONES Ca, Mg y K.

Uso de la tierra	Relación de cationes basicos	Indice de la relación	Categoria	Antagonismo
Fincas	Ca/Mg	3.4	media	-
	Ca/K	6.9	media	-
	Mg/K	2.0	baja	Mg<K
	Ca+Mg/k	8.9	baja	Ca+Mg<K
Referencia	Ca/Mg	2.0	baja	Ca<Mg
	Ca/K	4.3	baja	Ca<K
	Mg/K	2.2	baja	Mg<K
	Ca+Mg/K	6.5	baja	Ca+Mg/K

* Antagonismo: dificultad de absorción que sufre un nutrimento debido a la presencia de otro en grandes proporciones.

4.2.6 Acidez extraíble

En el *cuadro 12*, se presentan los resultados correspondientes al promedio, desviación estándar y coeficiente de variación de la **acidez extraíble** del suelo de acuerdo al uso de la tierra y al grado de pendiente dentro de cada uso. Se encontró diferencia significativa ($\text{Alpha}=0.05$) entre la acidez extraíble promedio del uso Fincas (0.26) y el de la Referencia (0.11). Estos resultados son consecuentes con los de pH mostrados anteriormente.

Cuadro 12. Valores promedio de acidez extraíble del suelo (meq/100 ml suelo) de acuerdo al uso de la tierra para tres intervalos de pendiente, cuenca media del Río Reventado, Cartago, Costa Rica, 1994.

USO DE TIERRA	n	INTERVALOS DE PENDIENTE (%)									Promedio
		0-15 (A)			16-30 (B)			31-45 (C)			
		Media	STD	CV	Media	STD	CV	Media	STD	CV	
FINCAS (Cult.hortal)	20	0.3	0.2	52.4	0.2	0.1	57.7	0.2	0.2	78.0	0.26 a *
REFERENCIA (Pasto)	5	0.1	0.0	20.4	0.1	0.0	18.2	0.1	0.0	0.0	0.11 b

* Valores con la misma letra en una misma columna no difieren estadísticamente ($\alpha=0.05$).

En la figura 9, se observa que en los tres intervalos de pendiente para la condición referencia se presenta poca variación de la acidez extraíble. Además su valor es muy bajo. Para la condición de fincas, en el intervalo de 0-15% (A) se presentó el valor más alto (0.3 meq/100 ml de suelo) y prácticamente no hubo diferencias entre los intervalos B y C.

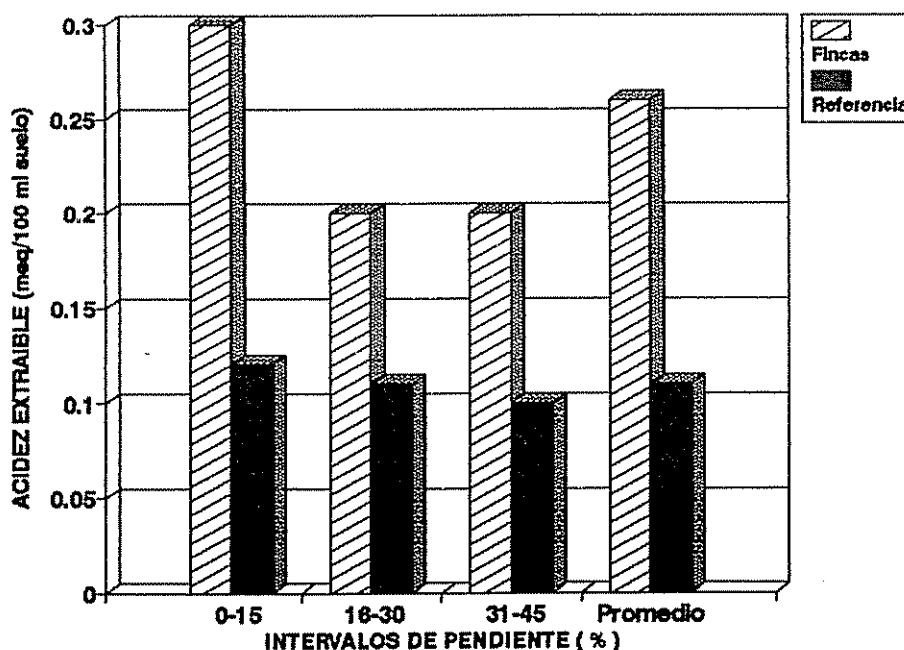


Figura 9. Comparación de valores promedio de acidez extraíble en el suelo entre fincas (cultivo hortalizas) y la referencia (pastos) y para diferentes intervalos de pendiente, cuenca media del Río Reventado.

Para los diferentes intervalos de pendiente para cada uso de la tierra, los resultados indican que para Fincas hubo diferencias significativas entre el intervalo A (0-15%) y el intervalo C (31-45%) como se muestra en el cuadro 13, siendo mayor la acidez extraíble en el intervalo A. Para la condición de Referencia no se encontraron diferencias significativas entre intervalos.

Cuadro 13. Resultado de la prueba Duncan para los datos de acidez extraíble de acuerdo a los intervalos de pendiente para el uso de la tierra Fincas.

Uso de la tierra	Intervalos de pendiente	Número de observacion	Acidez extraíble promedio
FINCAS	0-15 (A)	20	0.33 a *
	16-30 (B)	20	0.23 ba
	31-45 (C)	20	0.22 b

* Valores con la misma letra en una misma columna no difieren estadísticamente ($\alpha = 0.05$)

Si bien la acidez extraíble para ambas condiciones, (Fincas y Referencia) está por debajo de los límites aceptados como perjudiciales para la producción agrícola (Bertsch, 1986), se nota claramente en los resultados, que existe una mayor acidez en los suelos bajo producción hortícola intensiva; de mantenerse esa tendencia, es posible que en pocos años pueda llegar a ser un factor que limite la producción a

consecuencia del aumento en la solubilidad del aluminio que puede llegar a ser tóxico para las plantas. Sin embargo, por el momento, la sumatoria de cationes básicos (Ca, Mg y K) y el porcentaje de saturación de acidez indican que no hay problema de acidez debido al aluminio. En todo caso se podría considerar que desde el punto de vista de la acidez extraíble el suelo de la condición Fincas tiene una tendencia hacia una situación de fertilidad menos adecuada (sostenible) que la referencia.

4.2.7 Materia orgánica

En el cuadro 14, se presentan los resultados correspondientes al promedio, desviación estándar y coeficiente de variación de la materia orgánica del suelo de acuerdo al uso de la tierra y al grado de pendiente dentro de cada uso. Se encontró diferencias significativas ($\text{Alpha}=0.05$) entre el contenido promedio de materia orgánica del uso Fincas (3.5%) y el de la Referencia (8.4%).

Cuadro 14. Valores promedio del porcentaje de materia orgánica de acuerdo al uso de la tierra para tres intervalos de pendiente, cuenca media del Río Reventado, Cartago, Costa Rica, 1994.

USO DE TIERRA	n	INTERVALOS DE PENDIENTE (%)									Promedio
		0-15 (A)			16-30 (B)			31-45 (%)			
		Media	STD	CV	Media	STD	CV	Media	STD	CV	
FINCAS (Cult. hortal.)	20	3.6	0.7	20.2	3.4	0.7	19.4	3.5	1.0	27.7	3.5 b *
REFERENCIA (Pastos)	5	9.7	2.0	20.6	7.2	2.2	29.8	8.2	2.0	24.5	8.4 a

* Valores con igual letra en una misma columna no difieren estadísticamente ($\text{alfa}=0.05$).

Para los diferentes intervalos de pendiente para cada uso de la tierra, los resultados indican que para fincas y referencias no hubo diferencias significativas entre alguno de los tres intervalos, aunque en el caso del suelo bajo pasto se observa una tendencia hacia un mayor contenido de materia orgánica en la parte más plana del terreno (intervalo A).

Es de considerar que el porcentaje de materia orgánica en fincas es más bajo que el de la referencia, probablemente influido por el laboreo continuo del suelo que en consecuencia permite una descomposición más rápida con respecto al suelo bajo pastos y sin laboreo o por lavado (erosión) de la capa superficial que contiene la mayor parte de la materia orgánica. Es importante resaltar que por tratarse de suelos volcánicos (andisoles), el contenido de materia orgánica en la condición Fincas es sumamente bajo.

Posiblemente como consecuencia del elevado uso de pesticidas y el bajo contenido de materia orgánica en la condición Fincas, no se encontró actividad biológica, la cual si se presentó en suelos con pasto (jobotos, lombrices, hormigas y otros). Por otra parte un bajo contenido en materia orgánica favorece la intensidad del lavado, y no contribuye a mantener la fertilidad de los suelos, favoreciendo su degradación.

En la *figura 10*, se observa que, el contenido de materia orgánica se mantiene uniforme en los tres intervalos de pendiente y en una baja proporción para la condición de finca, resultado de una mayor oxidación debido al intenso laboreo mecanizado que además destruye la estructura, la cual podría retener materia orgánica en sus coloides; por otro lado influye la topografía porque, parte de la materia orgánica producida es transportada por erosión de las pendientes fuertes, sobre todo en su parte superior, hacia las partes más planas en los terrenos menos protegidos.

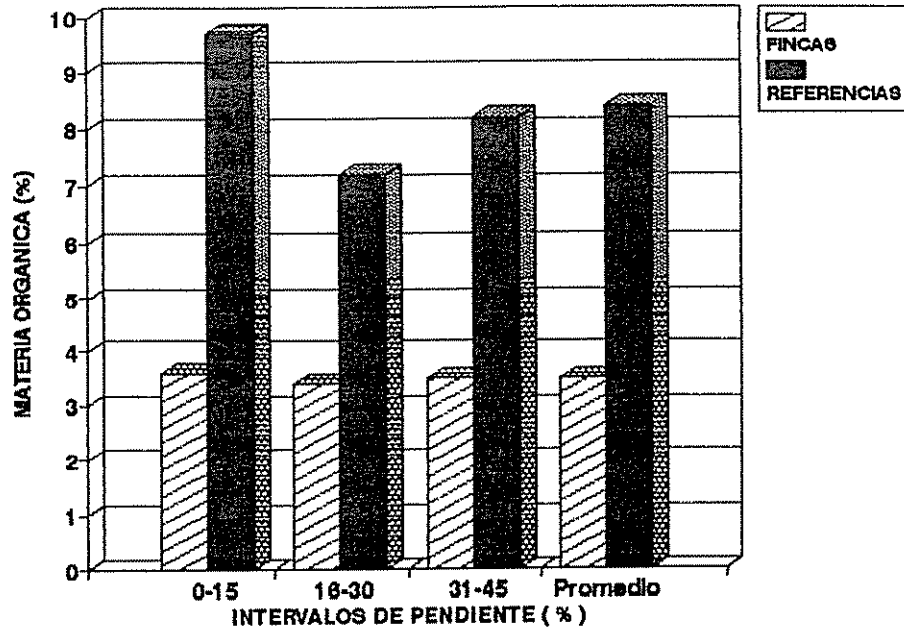


Figura 10. Comparación valores promedio de materia orgánica en el suelo entre fincas (cultivo hortalizas) y la referencia (pastos) y para diferentes intervalos de pendiente. Cuenca media del Río Reventado.

Si se parte del hecho que, en términos generales, la condición ideal para un suelo es un alto contenido de materia orgánica (Bertsch, 1986) por los múltiples beneficios que este componente aporta al comportamiento hidrodinámico, biológico, físico y a la fertilidad del suelo, los resultados antes indican que el manejo del suelo en la condición Fincas atenta contra la sostenibilidad productiva del mismo en la cuenca media del Río Reventado. Debido a que en este sitio no existen incorporaciones externas de materia orgánica al sistema, su determinación se presenta como un buen indicador para comparar usos de la tierra en relación a la degradación físico-química del suelo.

4.2.8 Densidad aparente

En el *cuadro 15*, se presentan los resultados correspondientes al promedio, desviación estándar y coeficiente de variación de la densidad aparente del suelo de acuerdo al uso de la tierra y al grado de pendiente dentro de cada uso. Se encontró diferencias significativas ($\text{Alpha}=0.05\%$) entre la densidad aparente promedio del uso Fincas (0.85) y el de la Referencia a tres profundidades (0-5 cm=0.76), (5-10 cm=0.94), (10-15 cm=1.03), mostrando en la condición de referencia, un aumento en la densidad aparente en la medida que aumenta la profundidad, lo que nos indica que a mayor profundidad se hace más evidente la compactación.

Cuadro 15. Valores promedio de densidad aparente del suelo (g/cc) de acuerdo al uso de la tierra para tres intervalos de pendiente, cuenca media del Río Reventado, Cartago, Costa Rica, 1994.

USO DE TIERRA	n	INTERVALOS DE PENDIENTE (%)									Promedio
		0-15 (A)			16-30 (B)			31-45 (%)			
		Media	STD	CV	Media	STD	CV	Media	STD	CV	
FINCAS (Cult. hortal.)	20	0.9	0.1	8.4	0.8	0.1	12.4	0.8	0.1	10.1	0.85 c *
REFERENCIA (Pastos)	5										
Prof.(0-5 cm)		0.6	0.1	18.2	0.8	0.1	11.0	0.8	0.2	18.6	0.76 d
Prof.(5-10 cm)		0.9	0.1	6.4	1.0	0.1	7.7	0.9	0.2	17.6	0.94 b
Prof.(10-15 cm)		1.0	0.1	7.8	1.1	0.0	4.0	1.0	0.1	10.8	1.03 a

* Valores con la misma letra en una misma columna no difieren estadísticamente ($\text{Alfa}=0.05$)

Para los diferentes intervalos de pendiente para cada uso de la tierra, los resultados indican que para Fincas hubo diferencias significativas entre el intervalo A (0-15%)

y el intervalo C (31-45%) como se muestra en el cuadro 16, siendo más alta la densidad aparente en el intervalo A. Para la condición de referencia no se encontraron diferencias significativas entre intervalos.

Cuadro 16. Resultado de la prueba Duncan para los datos de densidad aparente de acuerdo a los intervalos de pendiente para el uso de la tierra Fincas.

Uso de la tierra	Intervalos de pendiente	Número de observaciones	Densidad aparente promedio
FINCAS	0-15 (A)	20	0.89 a *
	16-30 (B)	20	0.85 ba
	31-45 (C)	20	0.80 c

* Valores con la misma letra en una misma columna no difieren estadísticamente ($\alpha = .05$)

En la figura 11, se observa uniformidad en la densidad aparente de la condición de fincas, donde los resultados son similares en los tres intervalos de pendientes. En la condición de referencia se observa, que en cada intervalo de pendiente se incrementa la densidad aparente en relación a la profundidad; en el resultado promedio se observa, que la densidad aparente a 5 cm de profundidad fue mayor en la condición de fincas, debido a la actividad del sistema radicular del pasto, que favorece la formación de macro y microporos, pero a 10 y 15 cm de profundidad se manifiesta un incremento en la densidad aparente debido a que la actividad de las raíces del pasto no es tan notoria, y la compactación posiblemente es mayor.

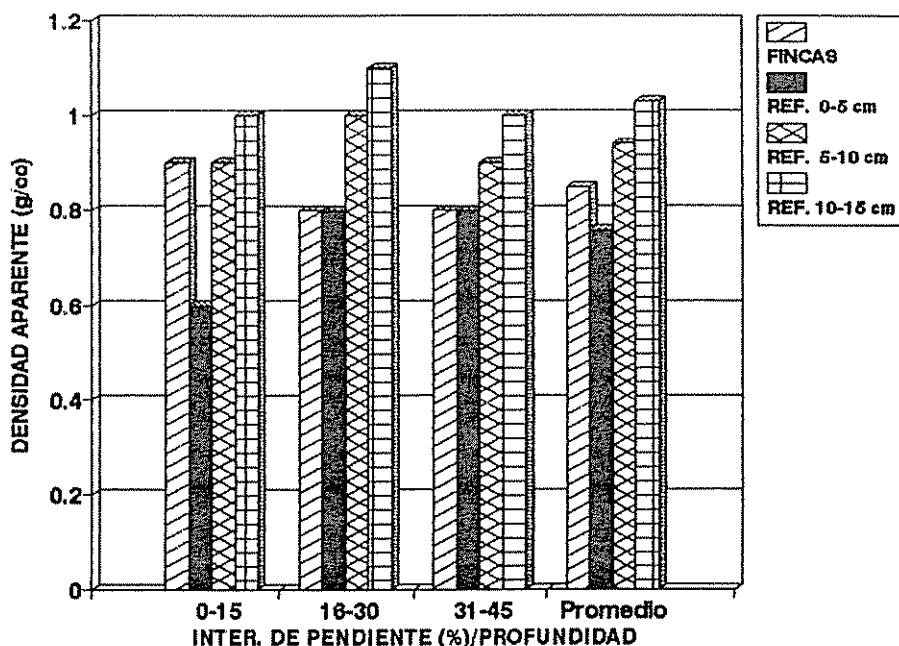


Figura 11. Comparación valores promedio de densidad aparente en el suelo entre fincas (cultivo hortalizas) y la referencia (pastos) y para diferentes intervalos de pendiente, cuenca media del Río Reventado.

Según Nuñez (1981), los suelos derivados de cenizas volcánicas generalmente tienen una densidad aparente que fluctúa entre 0.7 y 0.98 g/cm^3 . Resultados similares a los obtenidos en este estudio fueron reportados por Sánchez E. (1993), referidos a la misma zona. Se ha demostrado que un suelo con una densidad aparente de 1.9 g/cm^3 o mayor no permiten la penetración de raíces (Molina D. 1977).

Los resultados antes presentados no parecen evidenciar problemas de densidad aparente que puedan afectar la aireación adecuada del suelo y el movimiento de agua en el mismo. En este sentido no parece bajo las condiciones de estudio un buen indicador de la sostenibilidad productiva del suelo.

4.2.9 Textura

En el *cuadro 17*, se presentan los resultados correspondientes al promedio, desviación estándar y coeficiente de variación de los principales componentes granulométricos del suelo, de acuerdo al uso de la tierra y al grado de pendiente dentro de cada uso. Se encontró diferencias significativas ($\alpha=0.05$) en el contenido promedio de limo del uso Fincas (29.3%) y el de la Referencia (36.0%) y en el contenido promedio de arcilla del uso finca (19.6%) y el de la referencia (12.9%). Para los diferentes intervalos de pendiente en cada uso de la tierra no hubo diferencias significativas en el contenido porcentual de arena, limo y arcilla.

Cuadro 17. Valores promedio de textura del suelo (%) de acuerdo al uso de la tierra para tres intervalos de pendiente cuenca media del Río Reventado, Cartago, Costa Rica, 1994.

COMPOSICION DEL SUELO:	INTERVALOS DE PENDIENTE (%)						Promedios	
	0-15 (A)		16-30 (B)		31-45 (C)		Fincas	Referer.
	Fincas	Referencia	Fincas	Referencia	Fincas	Referencia		
ARENA (%)	53.8	50.4	49.5	51.2	50.1	51.6	51.13 a *	51.07 a
LIMO (%)	27.5	36.4	29.5	34.8	30.9	38.8	29.27 b	36.00 a
ARCILLA (%)	18.8	13.2	21	14	19	11.8	19.60 a	12.93 b
TEXTURA	Franco arenoso	Franco	Franco	Franco	Franco	Franco	Franco	Franco

* Valores con igual letra dentro de una misma fila no difieren estadísticamente ($\text{Alfa}=0.05$)

Fincas: n= 20 Referencia: n= 5

En la *figura 12*, se observa que en promedio, el contenido de arena, tanto en la condición de Fincas como en la de Referencia presentan una proporción similar. Esto se puede explicar debido a que estas partículas por su tamaño (>2 mm) aumentan la velocidad de infiltración, situación que reduce

la erosión. Según Gavande (1982), en la estación experimental de Maine, se mostró que cuando se quita el material mayor de 2 mm en dos tipos de suelos diferentes, aumenta considerablemente la erosionabilidad de dichos suelos. Los contenidos de limo y arcilla presentaron diferencias en su contenido, siendo mayor el de limo para la condición de Referencia debido a que los pastos ofrecen una mayor protección contra la erosión eólica, que es causante de grandes pérdidas de limo en los suelos más expuestos como el caso de la condición de Fincas; a esto se debe agregar las pérdidas causadas por el agua de escurrimiento, ya que la época de preparación del suelo coincide con la lluviosa, y al igual que con la erosión eólica, el limo es la partícula más susceptible a la erosión hídrica (Suarez de Castro, 1982). Como consecuencia lógica de lo anterior, el % de arcilla fue mayor en la condición Fincas.

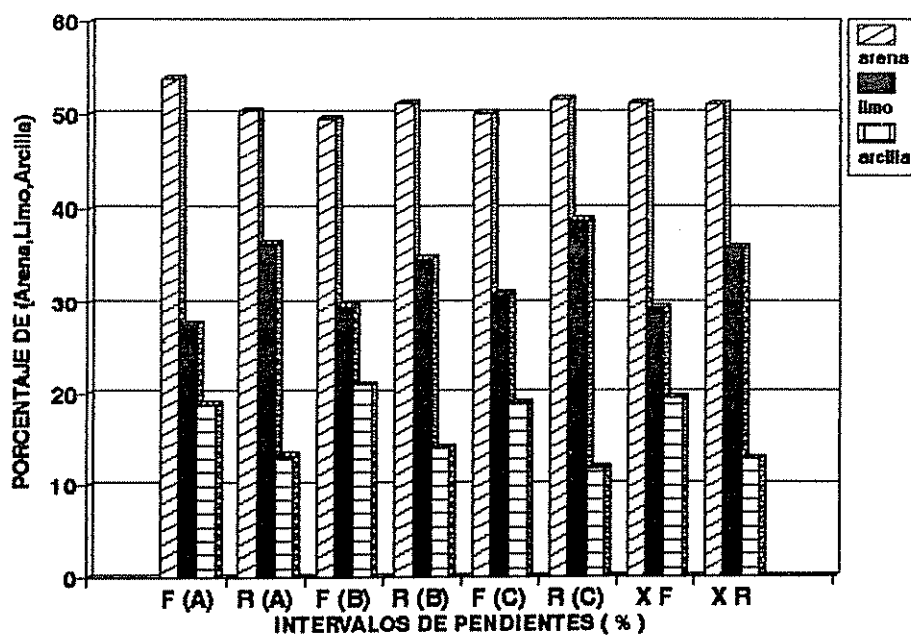


Figura 12. comparación de valores promedio de textura en el suelo entre fincas (cultivo hortalizas) y la referencia (pastos) y para diferentes intervalos de pendiente. cuenca media del Río Revantado. F=Finca, R=Referencia, (A),(B) y (C)=intervalos de pendiente 0-15, 18-30 y 31-45% respectivamente. X=Promedio.

Los resultados anteriores muestran claramente que el contenido de limo es mayor en la condición de Referencia y que el de arena es bastante similar en Fincas y Referencias. La literatura indica que la partícula del suelo más susceptible a la erosión es el limo (Wischmeier y Mannering, 1969). Con base en esta información se podría afirmar que existe más erosión en la condición Fincas, lo que repercutiría en una menor sostenibilidad productiva de los suelos bajo ese uso.

V CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. CONCLUSIONES

1- Para la zona de estudio, las variables que tienen mas potencial como indicadoras de la sostenibilidad del suelo fueron el pH, contenido de materia orgánica y el contenido de limo.

2- El suelo bajo pastos utilizado para comparar la degradación del suelo en la condición bajo agricultura hortícola intensiva (Fincas) mostró en este estudio ser adecuado como referencia.

3- En la cuenca media del Río Reventado, los suelos utilizados para la producción hortícola están siendo paulatinamente degradados; por el contrario los suelos con cobertura de pastos conservan mejor su capacidad productiva.

4- Algunas características físico-químicas: pH, contenido de materia orgánica, contenido de magnesio y contenido de limo mostraron ser buenos indicadores de la degradación del suelo y por lo tanto de la sostenibilidad del mismo y de la cuenca como un todo.

5- Algunas características que son modificadas por la fertilización u otras prácticas de cultivo en la condición de agricultura hortícola intensiva, tales como contenido de fósforo, potasio, calcio y densidad aparente no permitieron un análisis objetivo de su papel como posibles indicadores de la sostenibilidad del suelo y de la cuenca como sistema.

6- Los métodos inadecuados de preparación del suelo, el uso excesivo de plaguicidas y la falta de métodos de conservación de suelos fueron identificados mediante una encuesta

como los factores que más afectan la consecución de una agricultura sostenible en la cuenca media del Río Reventado.

7- En los suelos bajo producción hortícola se encontró una variación fuerte de las características en función del grado de pendiente como en el caso de calcio, magnesio y acidez extraíble, aunque en casos como el contenido de calcio, los resultados son contrarios a los esperados, lo que supone la existencia de suelos enterrados ricos en este elemento que han aflorado primero en las partes de mayor pendiente.

5.2. RECOMENDACIONES

1- En investigaciones futuras en la zona de estudio y con el fin de ahorrar tiempo y recursos, se recomienda utilizar solamente el pH, contenido de materia orgánica y contenido de limo como indicadores de la sostenibilidad de los suelos.

2- Recurrir a los análisis de suelo, indispensables para la orientación del usuario y/o del agricultor sobre el estado físico-químico, que le permita realizar un manejo adecuado del suelo y de las prácticas de cultivo, contribuyendo de esta manera con la sostenibilidad del suelo.

3- Realizar pruebas adicionales en invernadero con los mismos suelos que permitan verificar si la tendencia observada en el campo se manifiesta en la respuesta biológica.

4- Hacer un uso racional de los agroquímicos (dosis, época, aplicación) bajo criterios técnicos y de esta manera reducir los altos costos de producción para que sea rentable el cultivo, aumentar el nivel económico de la familia, reducir riesgos de salud y disminuir resistencia a plagas y enfermedades.

5- Agruparse en una organización y dejar a un lado el individualismo, la autosuficiencia, la falta de conciencia del trabajo en grupo y de conservación de la naturaleza, la mentalidad corto-placista, para que puedan ser orientados por instituciones que apoyan a grupos organizados y que no pueden dar solución a los problemas individuales.

6- Para las características calcio, magnesio y acidez extraíble que presentaron un alto coeficiente de variación, se recomienda hacer pruebas en otros sitios para verificar si se da mucha variación en sus resultados.

VI BIBLIOGRAFIA CONSULTADA

- ARRUE, J.L.; LOPEZ, M.V. 1991. Laboreo de conservación: tendencias y prioridades de investigación. Suelo y Planta (España) 1 (4): 555-564.
- ASHBURNER, J.E.; SIMS, B.G. 1984. Elementos de diseño del tractor y herramientas de labranza. San José, C.R., IICA. 473 p. (Libros y materiales educativos N^o56).
- BARTHOLOMEW, W.V. 1975. El nitrógeno y la materia orgánica de los suelos. IN Suelos de las regiones tropicales húmedas (1975, Buenos Aires, Arg.), Ediciones Marymar. p. 85-108
- BAVER, L.D. 1975. Propiedades físicas de los suelos. IN Suelos de las regiones tropicales húmedas (1975, Buenos Aires, Arg.), Ediciones Marymar. p. 69-84.
- BEJARANO, W.; LAINEZ, J.; PORTCH, S.S. 1975. El empleo correcto de fertilizantes en cultivos perennes y anuales. IN Seminario sobre Manejo de suelos y el proceso de desarrollo en América Tropical (1974, Cali, Col.) Manejo de Suelos en la América Tropical. Eds. E. Bornemisza; A. Alvarado. Raleigh, N.C. North Carolina State University. p.517-532.
- BERLIJN, J.D. 1978. Preparación de tierras agrícolas. Mexico, DGETA. 45 p. (Serie de manuales para la educación agropecuaria (Mecánica Agrícola), n^o 102/201).
- BERTSCH, F. 1982. Fertilidad de nueve suelos clasificados como Typic Dystrandept en Costa Rica. Thesis Mag. Sc. Turrialba, C.R., Universidad de Costa Rica/CATIE. 122 P.

- BERTSCH, F.; CHAVARRIA, A.C.; HENRIQUEZ, C.R. 1990. Fertilidad e interpretación de análisis de suelos y plantas para café. IN VIII Curso regional sobre fundamentos de la caficultura moderna (módulo IV) Ed. J. Arcilla p. CATIE, Turrialba, C.R. s/p.
- BLEVINS, R.L. et al. 1983 Influence of conservation tillage on soil properties. Journal of soil and water conservation 38(3):301-304.
- BOYER, J. 1975. El potasio del suelo. IN Suelos de las regiones tropicales húmedas (1975, Buenos Aires, Arg.), Ediciones Marymar. p. 133-170.
- BURBANO O., H. 1989. Características bioquímicas y condiciones de fertilidad de los suelos volcánicos. Revista de investigaciones (Col.) 3(4): p.98-113.
- CASSERES, E. 1971. Producción de hortalizas. Editorial Herrero hnos, S.A. México. 310 p.
- CENTRO CIENTIFICO TROPICAL. 1985. Manual para la determinación de la capacidad de uso de las tierras de Costa Rica. San José, C.R. 66 p.
- CHACON, M. 1991. Uso de plaguicidas. Cultivo de papa. Convenio MAG/GTZ. 21 p.
- CHIRINOS, A.V. 1977. Análisis de suelos con fines de fertilidad. Editado por CENIAP, Maracay, Venezuela. 76 p.
- COTTENIE, A. 1984. Los análisis de los suelos y de plantas como base para formular recomendaciones sobre fertilizantes. FAO. Boletín de suelos nº 38/2. 116 p.

- De CAMINO, R. 1989. La sostenibilidad como concepto: definiciones, consecuencias y el principio del rendimiento sostenido en el manejo forestal. CATIE, Costa Rica. 37 p.
- De CAMINO, R.; MÜLLER, S. 1993. Agricultura, recursos naturales y desarrollo sostenible, apuntes para el marco conceptual: La definición de sostenibilidad, las variables principales y bases para establecer indicadores. IICA/GTZ. San Jose, C.R. 62 p.
- DIAZ-ROMEQU, R.; HUNTER, A. 1978. Metodología de muestreo de suelos, análisis químico de suelos y tejido vegetal e investigación en invernadero. Turrialba, Costa Rica, CATIE, Proyecto centroamericano de fertilidad de suelos. 62 p.
- DIAZ-ROMEQU, R.; HUNTER, A. 1982. Metodología de muestreo de suelos, análisis químico de suelos y tejido vegetal y de investigaciones en invernadero. CATIE. Serie materiales de enseñanza n°12. 61 p.
- EDWARDS, C.A. ET AL. 1990. Sustainable agricultural systems. Soil and water conservation society. EE.UU. 695 p.
- ENGELSTAD, O.P. 1975. Fertilizantes. IN Suelos de las regiones tropicales húmedas (1975, Buenos Aires, Arg.), Ediciones Marymar. p. 213-230.
- FALLAS G., J. 1987. Manejo y restauración de la cuenca del río Reventado, Cartago, Costa Rica. IN Taller internacional sobre aspectos institucionales en el manejo integral de cuencas hidrográficas (1987, Heredia, C.R.) Memoria s.l., Red Latinoamericana de cooperación técnica en manejo de cuencas hidrográficas. FAO. p. 141-149.

- FALLAS G., J. 1992? Cuenca del Río Reventado: Restauración y manejo ante desastres naturales. Heredia, Costa Rica, Universidad Nacional, Escuela de Ciencias Ambientales. 4 p.
- FAO. 1991. Producción agrícola sostenible: Consecuencias para la investigación agraria internacional. Estudio FAO investigación y tecnología No.4. Roma. 131 p.
- FASSBENDER, H.W. 1968. Química de suelos. Turrialba, C.R., IICA. 244 p.
- FASSBENDER, H.W.; BORNEMISZA, E. 1987 Química de suelos con énfasis en suelos de América Latina. San José, C.R., IICA. 420 p. (Libros y materiales educativos No 81).
- FASSBENDER, H.W. 1993. Modelos edafológicos de sistemas agroforestales. Segunda edición. Proyecto GTZ/CATIE C.R. 491 p.
- FAUSTINO, J. 1987. Variables determinantes en la identificación de áreas críticas en tierras de ladera. IN Conferencia usos sostenidos de tierras en laderas (1987, Quito y Salcedo, Ec.) Memoria. Washington, D.C., EE.UU., Development Strategies for Fragile Lands. p. 4-41.
- FOTH, H.D. 1987. Fundamentos de la ciencia del suelo. Editorial Continental. México. 433 p.
- FORSYTHE, W. 1980. Física de suelos: Manual de laboratorio. San José, C.R., IICA. 212 p. (Libros y materiales educativos No 25).

- FUSAGRI. 1989. Hortalizas. Edición CORPOVEN, S.A, Venezuela. 109 p.
- GAMBOA J., J.J. 1971. Dinámica del NPK en el suelo despues de cinco fertilizaciones consecutivas. Tesis Mag.Sc. IICA, Turrialba, Costa Rica. 71 p.
- GANDROY B., W. 1991. Manual de laboratorio para el manejo físico de suelos. Chapingo, Mexico, Universidad Autónoma de Chapingo. 173 p. (Agronomía N^o 22).
- GAUCHER, G. 1971. Tratado de pedología agrícola, el suelo y sus características agronómicas. Barcelona, Ediciones Omega. 647 p.
- GAVANDE, S.A. 1982. Física de suelos, principios y aplicaciones. Editorial LIMUSA. Mexico, D.F. 351 p.
- GRAHAM, P.H.; HUBBEL, D. 1975. Interacción Suelo-Planta-Rhizobium en la agricultura tropical. IN seminario sobre manejo de suelos y el proceso de desarrollo en América Tropical (1974, Cali, Colombia) Manejo de Suelos en la América Tropical. Eds. E. Bornemisza; A. Alvarado. Raleigh. N.C., North Carolina State University. pag. 217-233.
- GONZALEZ, P. et al. 1991. El laboreo de conservación como medida de control de la erosión. Suelo y Planta (España) 1(4):546-553.
- GUITIAN, O.F.; CARBALLAS, F.T. 1976. Técnicas de análisis de suelos. Editorial Pico Sacro. España. 288 p.
- HERRERA L., J.E. 1992. Importancia y potencial económico de la papa en América Latina. IN Sumario curso internacional de papa: La papa el descubrimiento que conquistó

- al mundo; Pamplona, Colombia, 8 al 10 de octubre de 1992. Edr. Arévalo Héctor. FEDEPAPA. p. 3-13.
- HOLDRIGDE, L.R. 1987. Ecología, basada en zonas de vida. Editorial IICA. San José, C.R. 216 p.
- INSTITUTO COSTARRICENSE DE ELECTRICIDAD. 1964. Informe sobre el problema del Río Reventado. San José, C.R. I.C.E., Departamento de Geología. 310 p.
- . 1986. Informe Geológico - Geotécnico del deslizamiento de San Blas L.T. Río Macho-Colima. San José, C.R. I.C.E., Departamento de Geología. 214 p.
- ISHIZUKA, Y.; BLACK, C.A. 1980. Suelos derivados de cenizas volcánicas en Japón. Mexico, D.F. CIMMYT. 106 p.
- LABRADOR M., J. et al. 1993. La materia orgánica en los sistemas agrícolas. Manejo y utilización. Ministerio de Agricultura Pesca y Alimentación, España. Hojas divulgadoras nº 3/93 HD. 43 p.
- LEBEL, G.; KANE, H. 1990. El desarrollo sostenible: Una guía sobre nuestro futuro común. El informe de la comisión mundial sobre el medio ambiente y el desarrollo. IICA, C.R. 117 p.
- LEGARDA B., L. 1989. Características y manejo de las propiedades físicas de los suelos volcánicos de Nariño. Revista de investigaciones (Col.) 3(4): p.116-125.
- LINDARTE, E.; BENITO, C. 1991. Instituciones, Tecnología y políticas en la agricultura sostenible de laderas en america central. Memorias del taller de agricultura sostenible en las laderas centroamericanas, Coronado, Costa Rica. 77-188 p.

- LUZURIAGA T., C. 1970. Propiedades morfológicas, físicas y químicas, y clasificación de seis andosoles de Costa Rica. Thesis Mag. Sc., Turrialba, C.R., IICA. 159 p.
- MARELLI, H.J.; LATTANZI, A.R. 1982. Labranza reducida en Argentina. IN Seminario Labranza reducida en el cono sur (1982, La Estanzuela, Colonia, Uruguay). Memorias. Eds. H. Caballero D.; R. diaz. IICA serie ponencias, resultados y recomendaciones de eventos tecnicos n°262. p.1-5.
- MELO, H.M. 1991. La conservación de suelos en Tierra Blanca, Cartago, C.R.: Niveles de adopción y alternativas para incrementarlos. Tesis Mg Sc. CATIE, Turrialba, C.R. 44 p.
- MINISTERIO DE AGRICULTURA Y GANADERIA, C.R. 1982. Programa integral de producción de semilla de papa 1982-1986. San José, C.R. 84 p.
- MINISTERIO DE AGRICULTURA Y GANADERIA - MAG. 1991. La papa. IN Aspectos técnicos sobre cuarenta y cinco cultivos agrícolas de Costa Rica. San José, Costa Rica. P 467-483.
- MINISTERIO DE AGRICULTURA Y GANADERIA - MAG. 1991. El control de erosión hídrica en los suelos agrícolas. IN Aspectos técnicos sobre cuarenta y cinco cultivos agrícolas de Costa Rica. San José, Costa Rica. P. 509-531.
- MINISTERIO DE AGRICULTURA Y GANADERIA - MAG. 1991. Importancia del análisis químico del suelo para mejorar la producción agrícola. IN Aspectos técnicos sobre cuarenta y cinco cultivos agrícolas de Costa Rica. San José, Costa Rica. p. 543-545.

- MOLINA D., R. 1977. Relación entre la mecanización agrícola y algunas propiedades físicas de los suelos de Itiquis y de la cuenca baja del río Tempisque. Tesis Ing. Agr. Universidad de Costa Rica, San José, C.R. 73 p.
- MOORMANN, F.R. 1975. Microvariabilidad de los suelos. IN Suelos de las regiones tropicales húmedas (1975, Buenos Aires, Arg.), Ediciones Marymar. p. 63-68.
- NEHER, D. 1992. Journal of sustainable in agriculture: ecological sustainability in agricultural systems: definition and measurement. EE.UU. vol. 2 (3). p. 53.
- NUNES S., J.; 1981 Fundamentos de edafología. Editorial EUNED. San José, C.R. 220 p.
- OFORI, C.S. 1993. The challenge of tillage development in African agriculture. IN Soil tillage in Africa: needs and challenges. FAO. Soil bulletin nº 69. p. 77-82.
- OLDEMAN, L.R. 1988. Guidelines for general assessment of the status of human-induced soil degradation: Global Assessment of Soil Degradation. ISRIC, Wageningen. No.88/4. 12 p. (Working Paper and preprint).
- OLSON, R.A.; ENGELSTAD, O.P. 1975. El fósforo y el azufre del suelo. IN Suelos de las regiones tropicales húmedas (1975, Buenos Aires, Arg.), Ediciones Marymar. p. 109-132.
- OPARA-NADI, O.A. 1993. Conservation tillage for increased crop production. IN Soil tillage in Africa: needs and challenges. FAO. Soil Bulletin nº 69. p. 83-93.

- PALENCIA O., J.A.; WALKER, J.L.; ESTRADA L., L. 1975. El Programa de Evaluación de la Fertilidad del Suelo en Guatemala. IN Seminario sobre manejo de suelos y el proceso de desarrollo en la América Tropical (1974, Cali, Col.) Manejo de suelos en la América Tropical. Eds. E. Bornemisza; A.Alvarado. Raleigh, N.C. North Carolina State University. p.467-479.
- PEREZ G., L.A. 1990. Manejo institucionalizado hacia la sostenibilidad del uso de la tierra en cuencas hidrográficas pequeñas: La cuenca del río Tuis, Turrialba, C.R. Tesis Mag.Sc. CATIE, Turrialba, C.R. 173 p.
- ROBLES, C. 1991. Transformaciones y translocaciones del fósforo como indicadores del desarrollo del suelo (España) 1(4):793-800.
- RODRIGUEZ F., H. 1985. Sistemas de labranza, manejo de residuos y su influencia en algunas propiedades químicas del suelo, plagas y la producción de maíz de grano (*Zea mays L.*). Tesis Mag.Sc. CATIE, Turrialba, C.R. 88 p.
- RODRIGUEZ L., R. 1989. Impactos del uso de la tierra en la alteración del regimen de caudales, la erosión y sedimentación de la cuenca superior del río Reventazón y los efectos económicos en el Proyecto Hidroeléctrico de Cachí, Costa Rica. Tesis Mag. Sc. CATIE, Turrialba, C.R. 138 p.
- SAENZ P., R. 1992. Manual de sistemas de labranza para America Latina. FAO. Boletín de suelos nº 66. 193 p.
- SALAZAR CH., F.E. 1992. Micronutrientes: su esenciabilidad en las plantas. IN Sumario curso internacional de papa: La papa el descubrimiento que conquisto al mundo;

Pamplona, Colombia, 8 al 10 de octubre de 1992. Edr. Arévalo Héctor. FEDEPAPA. P 41-46.

SANCHEZ A., P. 1981. Suelos del trópico: características y manejo. San José, C.R., IICA. 634 p. (Libros y materiales educativos N^o 48).

SANCHEZ, O.A. 1993. Determinación de áreas críticas mediante sistemas de información geográfica, cuenca del Río Reventado, C.R. Tesis Mg Sc. CATIE, Turrialba. 116 p.

SOTO, J.A. 1987. Requerimientos nutricionales de la cebolla (*Allium cepa*) en los suelos de la región norte de Cartago .I. respuesta a N, P y K. Agronomía costarricense (Costa Rica) 11(2):238-243.

SUAREZ DE CASTRO, F. 1980. Conservación de suelos San José, C.R., IICA. 315 p. (Libros y materiales educativos N^o 37).

UEHARA, G.; KENG, J. 1975 Relaciones entre la mineralogía y el manejo de suelos en la América Latina. IN Seminario sobre manejo de suelos y el proceso de desarrollo en América Tropical (1974, Cali, Colombia). Manejo de suelos en la América Tropical. Eds. E. Bornemisza; A. Alvarado. Raleigh, N.C., North Carolina State University. pag. 357-370.

KAMPRATH, E.J. 1975. La acidez del suelo y la aplicación de cal. IN Suelos de las regiones tropicales húmedas (1975, Buenos Aires, Arg.), ediciones Marymar. p.171-186.

KELLEY, H.W. 1983. Mantengamos viva la tierra: causas y remedios de erosión del suelo. FAO. Boletín de suelos Nº50. 77 p.

WILKINSON, R.H. y BRAUNBECK, O.A. 1977. Elementos de maquinaria agrícola. FAO. Boletín de servicios agrícolas de la FAO nº12 Sup.1. 253 p.

WISCHMEIER, W.H. y MANNERING, J.V. 1969. Relation of soil properties to its erodibility - Soil Science Society of America Proceedings 33: 131-137.

ANEXOS

ANEXO 1. ENCUESTA PARA LA CARACTERIZACION GENERAL DE LA
CUENCA MEDIA DEL RIO REVENTADO.

I— GENERALIDADES

- 1.1 Fecha de encuesta____/____/____ Localidad_____
- 1.2 Nombre del productor_____
- 1.3 Código_____ 1.4 Tamaño de parcela (ha)_____
- 1.5 Tenencia tierra 1.propietario_____ 2.inquilino_____
- 1.6 Cultivo(s) principal(es) 1.papa_____ 2.cebolla_____
- 1.7 Cuántos años hace que lo(s) cultiva?_____
- 1.8 Hace rotación?_____ 1.9 Cómo lo hace?_____
- _____
- 1.10 Pendiente media terreno_____ 1.11 Altitud_____ msnm.
- 1.12 Recibe asistencia técnica? si_____ no_____
- Que instituciones:_____
- _____

II— PREPARACION DEL SUELO

- 2.1 Con que prepara el suelo_____
- 1.tractor 2.bueyes 3.manual 4.rotavator 5.otros
- 2.2 Forma de preparación del suelo_____
- 1.corte-cruce y rastra 2.corte y rastra 3.cruce y rastra
4.otros 2.2.1 Numero pases de rastra:_____
- 2.3 En que sentido realiza la arada y rastreo del suelo?_____
- a._favor de la pendiente b._contra la pendiente
c._curvas a nivel.
- 2.4 Cuántas veces al año lo hace?_____
- 2.5 Epoca de preparación del suelo_____ costo/ha_____
- 2.6 Qué hace con los restos de cosecha?_____
- 1.los quema 2.incorpora al suelo 3.otros
- 2.7 Ha habido erosión o perdida de suelo? si_____ no_____

- 2.8 Cual le parece ha sido la principal causa?_____
- a._lluvia b._forma de preparar el suelo c._otros
- 2.9 Hace obras, medidas o prácticas de conservación de suelo si_____ no_____
- Cuáles?_____
- _____
- Lo considera beneficioso en su parcela? si_____ no_____

III— SIEMBRA

- 3.1 Variedad(es)_____densidad ptas/ha_____
- 3.2 Siembra cult. intercalados? si_____ no_____
- 3.3 Epoca de siembra_____
- 3.4 La siembra es_____ 1.manual 2.mecanizada
- 3.5 Implementos usados_____
- 3.6 Numero de veces que siembra/año_____
- 3.7 Hace uso de riego? si_____ no_____
- Con que frecuencia?_____

IV CONTROL DE MALEZAS

- 4.1 Número de controles/ciclo de cultivo_____cada cuánto
- (días)_____
- 4.2 Método usado_____ 1.manual 2.mecanizado 3.químico
- 4.3 Si es químico, que producto y dosis/ha usa?_____
- _____

V FERTILIZACION

- 5.1 Tipo de fertilizante usado_____ 1.orgánico 2.inorgánico
- si es inorgánico, que fórmula usa?_____
- Dosis y número de aplicaciones?_____
- _____

5.2 Usted aplica ahora mayor cantidad de fertilizantes que antes? _____ 1.si 2.no

5.3 Utiliza fertilizantes foliares? si_____ no_____
 Cuáles_____Frecuencia_____
 Dosis_____

VI PLAGUICIDAS

6.1 Productos y dosis empleadas_____
 Número de aplicaciones/ciclo_____

6.2 Criterios para decidir las aplicaciones_____

6.3 Tipo de equipo utilizado para las aplicaciones?_____
 a. bomba manual b. bomba de motor.

VII COSECHA

7.1 Epoca de cosecha (días después de la siembra)_____

7.2 Método usado_____ 1.manual 2.mecanizado 3.otros

7.3 Producciones obtenidas_____Rendimiento_____

7.4 La producción del o los cultivos actualmente_____

1.son mayores 2.son iguales 3.se han reducido

7.5 Los costos de producción de los cultivos ahora_____

1.son mayores 2.menores 3.permanecen iguales

** Cúales son los principales problemas que actualmente afectan la horticultura en la zona?_____

ANEXO 2. CARACTERISTICAS DEL SUELO AL MOMENTO DEL MUESTREO EN LA CONDICION DE FINCAS (Cultivo de hortalizas), TIERRA BLANCA.

Intervalo	Finca No	Pendiente %	Cultivo	Procomp Camellon (cm)	Afloracion Terrones (%)	Distribucion de Terrones (mm)		Terrones predominantes (mm)	OES (mm)	Cohesion	Observaciones
						Grandes	Pequeños				
A	4	9	Maizea	14.0	42.0	68.0	33.0	47.0	4.0	Suave	Recien preparado
	19	3.5	Papa	8.0	40.0	65.0	8.0	15.0	0.0	Fuerte	
	11	9	Cebolla	14.0	15.0	49.0	20.0	25.0	8.0	Suave	
	12	4	Cebolla	12.0	5.0	47.0	10.0	20.0	6.0	Suave	
	14	9	Cebolla	16.0	10.0	40.0	17.0	27.0	6.0	Suave	
	16	6	Cebolla	11.0	82.0	88.0	16.0	48.0	6.0	Suave	
	17	9	Cebolla	14.0	26.0	44.0	18.0	29.0	7.0	Suave	
	18	8	Cebolla	8.0	11.0	63.0	16.0	19.0	9.0	Fuerte	
	25	4	Cebolla	14.0	40.0	37.0	15.0	26.0	4.0	Fuerte	

B	6	24	Cebolla	13.0	77.0	65.0	13.0	28.0	6.0	Muy Fuerte	
	11	19	Cebolla	16.0	30.0	68.0	19.0	37.0	6.0	Suave	
	12	16	Cebolla	11.0	13.0	69.0	13.0	32.0	8.0	Suave	
	14	22	Cebolla	13.0	20.0	39.0	12.0	29.0	6.0	Fuerte	
	16	20	Cebolla	12.0	80.0	77.0	24.0	43.0	4.0	Suave	
	17	23	Cebolla	15.0	47.0	65.0	18.0	36.0	8.0	Fuerte	
	18	26	Cebolla	8.0	10.0	35.0	9.0	22.0	8.0	Fuerte	
	19	23	Cebolla	13.0	65.0	67.0	17.0	33.0	6.0	Fuerte	

C	4	38	Maizea	16.0	65.0	100.0	54.0	66.0	6.0	Suave	
	10	44	Papa	20.0	20.0	47.0	17.0	34.0	6.0	Suave	
	19	38	Papa	14.0	17.0	83.0	30.0	48.0	7.0	Muy Fuerte	
	6	42	Cebolla	16.0	16.0	46.0	19.0	32.0	6.0	Fuerte	
	7	44	Cebolla	18.0	32.0	62.0	21.0	35.0	6.0	Suave	
	10	33	Cebolla	18.0	20.0	63.0	20.0	37.0	8.0	Suave	
	17	33	Cebolla	16.0	22.0	84.0	20.0	34.0	7.0	Suave	
	17	45	Cebolla	14.0	20.0	63.0	15.0	31.0	8.0	Fuerte	
	21	37	Cebolla	17.0	42.0	49.0	18.0	34.0	7.0	Fuerte	
	23	42	Cebolla	14.0	40.0	61.0	22.0	35.0	6.0	Fuerte	
	23	37	Cebolla	16.0	37.0	43.0	16.0	27.0	6.0	Suave	

Procomp= profundidad de compactacion. OES= organizacion estructural superficial.

ANEXO 3. CARACTERISTICAS DEL SUELO AL MOMENTO DEL MUESTREO EN LA CONDICION DE FINCAS (Cultivo de hortalizas), LLANO GRANDE.

Intervalo	Finca No	Pendiente %	Cultivo	Procomp Camellon (cm)	Aloracion Terrones (%)	Distribucion de Terrones (mm)		Terrones Predomin. (mm)	OES (mm)	Cohesion	Observaciones
						Grandes	Pequeños				
A	29	11	Vainica	23.0	33.0	63.0	21.0	38.0	4.0	Suave	
	12	5	Papa	18.0	47.0	43.0	18.0	28.0	2.0	Suave	
	25	10	Papa	15.0	57.0	52.0	17.0	33.0	6.0	Fuerte	
	26	6	Papa	29.0	55.0	50.0	13.0	35.0	4.0	Suave	
	26	8	Papa	24.0	43.0	82.0	30.0	43.0	0.0	Fuerte	
	26	13	Papa	18.0	63.0	61.0	24.0	28.0	4.0	Suave	
	31	11	Papa	34.0	60.0	63.0	19.0	38.0	0.0	Suave	
	6	12	Cebolla	28.0	25.0	48.0	19.0	29.0	4.0	Suave	
	17	6	Cebolla	20.0	28.0	43.0	16.0	27.0	3.5	Suave	
	19	11	Cebolla	18.0	65.0	55.0	27.0	37.0	4.0	Suave	
	19	14	Cebolla	18.0	70.0	68.0	25.0	41.0	5.0	Fuerte	

B	6	28	Papa	20.0	57.0	62.0	19.0	29.0	6.0	Suave	
	17	23	Papa	17.0	63.0	72.0	27.0	27.0	3.0	Suave	
	28	19	Papa	29.0	60.0	48.0	19.0	29.0	0.0	Suave	
	29	18	Papa	23.0	35.0	62.0	30.0	47.0	0.0	Suave	
	32	19	Papa	28.0	37.0	68.0	21.0	37.0	0.0	Suave	
	14	23	Cebolla	12.0	43.0	43.0	12.0	30.0	3.0	Fuerte	
	14	27	Cebolla	17.0	80.0	38.0	17.0	27.0	3.0	Fuerte	
	14	30	Cebolla	19.0	75.0	43.0	18.0	27.0	3.0	Fuerte	
	26	23	Cebolla	16.0	33.0	67.0	27.0	42.0	3.0	Suave	
	29	16	Cebolla	20.0	17.0	64.0	21.0	33.0	6.0	Fuerte	
	31	21	Cebolla	21.0	73.0	59.0	19.0	37.0	4.0	Fuerte	
	33	23	Cebolla	20.0	33.0	62.0	19.0	38.0	4.0	Suave	

C	6	42	Maleza	18.0	75.0	60.0	22.0	35.0	3.0	Fuerte	
	6	33	Ramolacha	19.0	40.0	47.0	21.0	33.0	5.0	Suave	
	12	31	Papa	20.0	52.0	61.0	24.0	40.0	0.0	Suave	
	6	45	Cebolla	19.0	20.0	43.0	19.0	29.0	6.0	Suave	
	14	42	Cebolla	21.0	47.0	41.0	16.0	28.0	3.0	Fuerte	
	25	37	Cebolla	21.0	80.0	72.0	17.0	40.0	0.0	Fuerte	
	25	46	Cebolla	20.0	63.0	62.0	18.0	35.0	4.0	Suave	
	25	46	Cebolla	20.0	63.0	62.0	18.0	35.0	4.0	Suave	
	29	34	Cebolla	20.0	28.0	67.0	17.0	39.0	6.0	Fuerte	

PROCOMP: Profundidad de compactación. OES: organización estructural superficial.

ANEXO 4. CARACTERISTICAS DEL SUELO AL MOMENTO DEL MUESTREO EN LA CONDICION DE REFERENCIA (pastosa). TIERRA BLANCA.

Intervalo	Referencia No	Pendiente (%)	Profundidad (cm)	Color	ESTRUCTURA (cm)			Raíces		Transición (cm)	Presencia Biológica
					Desarrollo	Forma	Tamaño	Cantidad	Espesor		
A	2	5	5	10YR3/2	Mediano	Granular	5-11	A	G	Gradual	Si
	8	14	5	10YR2/2	Buena	Polied.Subang.	10-14	A	G,F	no	Si
	9	6	6	10YR2/2	Buena	Polied.Subang.	8-12	A	G,F	no	Si

A	2	5	10	10YR3/2	Buena	Polied.Subang.	10-17	A	F	no	si
	8	14	10	10YR2/2	Buena	Polied.Subang.	10-16	N	F	no	si
	9	6	10	10YR2/2	Buena	Polied.Subang.	8-11	N	G,F	no	si

A	2	5	15	10YR3/2	Buena	Polied.Subang.	12-16	P	F	no	si
	8	14	15	10YR2/2	Buena	Polied.Subang.	11-17	N	F,MF	no	si
	9	6	15	10YR2/2	Buena	Polied.Subang.	11-15	N	F	no	si

B	6	27	5	10YR2/2	Mediano	Polied.Subang.	10-13	A	G,F	no	Si
	7	20	6	10YR2/2	Buena	Subangular	8-13	A	G,F	no	Si

B	6	27	10	10YR2/2	Buena	Polied.Subang.	10-16	N	F,MF	Reg.(0-8)	si
	7	20	10	10YR2/2	Buena	Subangular	11-16	N	F	no	si

B	6	27	15	10YR2/2	Buena	Polied.Subang.	11-18	P	MF	no	si
	7	20	15	10YR2/2	Buena	Subangular	13-21	N	MF	no	si

C	3	34	5	10YR2/2	Buena	Polied.Subang.	8-11	A	G	no	Si
	4	40	5	10YR2/2	Buena	Polied.Subang.	5-11	A	G,F	no	Si
	6	37	5	10YR2/2	Buena	Polied.Subang.	8-13	A	G,F	no	Si

C	3	34	10	10YR2/2	Buena	Polied.Subang.	10-17	P	F	no	si
	4	40	10	10YR2/2	Buena	Polied.Subang.	7-16	N	F	no	si
	6	37	10	10YR2/2	Buena	Polied.Subang.	8-15	N	G,F	no	si

C	3	34	15	10YR2/2	Buena	Polied.Subang.	12-17	P	F	no	si
	4	40	15	10YR2/2	Buena	Polied.Subang.	13-23	N	F	no	si
	6	37	15	10YR2/2	Buena	Polied.Subang.	11-20	N	F	no	si

A:Abundantes
N:Numerosas
P:Pocas

G:Gruesas
F:Finas
MF:Muy Finas

ANEXO 5. CARACTERISTICAS DEL SUELO AL MOMENTO DEL MUESTREO EN LA CONDICION DE REFERENCIA (pastos), LLANO GRANDE.

Intervalo	Referencia No	Pendiente (%)	Profundidad (cm)	Color	ESTRUCTURA (cm)			Raíces		Transición (cm)	Presencia Biológica
					Desarrollo	Forma	Tamaño	Cantidad	Espesor		
A	1	4	5	10YR2/2	Mediano	Polied.Subang.	8-12	A	G,F	no	Si
	2	8	5	10YR2/2	Buena	Polied.Subang.	8-11	A	G,F	no	Si

A	1	4	10	10YR2/2	Buena	Polied.Subang.	10-14	A	F	0-8.5	si
	2	8	10	10YR2/2	Buena	Polied.Subang.	10-14	N	F	no	si

A	1	4	15	10YR3/4	Buena	Polied.Subang.	15-20	N	F,MF	no	si
	2	8	15	10YR2/2	Buena	Polied.Subang.	12-17	N	MF	no	si

B	3	21	5	10YR2/2	Buena	Polied.Subang.	8-13	A	G,F	no	Si
	4	23	5	10YR2/2	Mediano	Polied.Subang.	8-11	A	G,F	no	Si
	5	17	5	10YR2/2	Buena	Polied.Subang.	8-12	A	MG,F	no	Si

B	3	21	10	10YR2/2	Buena	Polied.Subang.	13-18	N	F	no	si
	4	23	10	10YR2/2	Buena	Polied.Subang.	10-14	A	F,MF	no	si
	5	17	10	10YR2/2	Buena	Polied.Subang.	10-14	A	G,F	no	si

B	3	21	15	10YR2/2	Buena	Polied.Subang.	13-18	A	MF	no	si
	4	23	15	10YR2/2	Buena	Polied.Subang.	13-17	N	MF	no	si
	5	17	15	10YR2/2	Buena	Polied.Subang.	13-17	A	F	no	si

C	6	32	5	10YR2/2	Buena	Polied.Subang.	8-13	N	G,F	no	Si
	7	43	5	10YR2/2	Buena	Polied.Subang.	8-12	A	G,F	no	Si

C	6	32	10	10YR2/2	Buena	Polied.Subang.	11-18	N	F,MF	no	si
	7	43	10	10YR2/2	Buena	Polied.Subang.	11-15	N	F	no	si

C	6	32	15	10YR2/2	Buena	Polied.Subang.	15-20	N	F,MF	no	si
	7	43	15	10YR2/2	Buena	Polied.Subang.	12-17	N	F,MF	no	si

A: Abundante
 N: Numerosas
 P: Pocas
 MG: Muy Gruesas
 G: Gruesas
 F: Finas
 MF: Muy Finas

ANEXO 6. CARACTERISTICAS DEL CULTIVO AL MOMENTO DEL MUESTREO EN LA CONDICION DE FINCA (cultivo de hortalizas)
TIERRA BLANCA.

Inter- valo	Finca No	Percha (%)	Cultivo	Altura (cm)	Cobert. Vegetal (%)	DENGEO (cm)					Observaciones
						Ancho de camelion	Ancho del in- tercamelion	Dist. entre li- neas de plantas	No de plantas por linea	Dist. entre plantas	
A	4	9	Maleza	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
	19	3.5	Papa	0.0	0.0	55.0	25.0	0.0	0.0	20.0	
	11	9	Cebolla	64.0	57.0	114.0	37.0	27.0	14.0	0.0	
	12	4	Cebolla	74.0	60.0	114.0	29.0	27.0	13.0	0.0	
	14	9	Cebolla	69.0	80.0	98.0	35.0	28.0	10.0	0.0	
	16	8	Cebolla	23.0	12.0	112.0	30.0	28.0	13.0	0.0	
	17	9	Cebolla	62.0	45.0	117.0	31.0	29.0	12.0	0.0	
	18	8	Cebolla	28.0	30.0	98.0	32.0	30.0	12.0	0.0	
	25	4	Cebolla	39.0	37.0	110.0	37.0	25.0	14.0	0.0	

B	6	24	Cebolla	67.0	80.0	118.0	32.0	30.0	11.0		
	11	19	Cebolla	50.0	35.0	101.0	40.0	29.0	12.0		
	12	16	Cebolla	77.0	77.0	111.0	32.0	29.0	12.0		
	14	22	Cebolla	62.0	65.0	97.0	33.0	30.0	11.0		
	18	20	Cebolla	30.0	20.0	132.0	30.0	29.0	16.0		
	17	23	Cebolla	58.0	40.0	123.0	30.0	30.0	13.0		
	18	26	Cebolla	44.0	38.0	92.0	28.0	30.0	10.0		
	19	23	Cebolla	15.0	10.0	125.0	35.0	30.0	12.0		

C	4	38	Maleza	0.0	50.0	0.0	0.0	0.0	0.0		
	10	44	Papa	9.0	5.0	30.0	25.0	0.0	0.0	20.0	
	18	38	Papa	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0		
	6	42	Cebolla	74.0	70.0	127.0	29.0	31.0	12.0		
	7	44	Cebolla	68.0	57.0	107.0	35.0	30.0	13.0		
	10	33	Cebolla	69.0	82.0	105.0	29.0	28.0	11.0		
	17	33	Cebolla	26.0	10.0	116.0	31.0	29.0	11.0		
	17	45	Cebolla	26.0	10.0	118.0	29.0	29.0	11.0		
	21	37	Cebolla	67.0	88.0	110.0	30.0	31.0	13.0		
	23	42	Cebolla	63.0	75.0	97.0	33.0	30.0	13.0		
	23	37	Cebolla	61.0	80.0	72.0	40.0	28.0	12.0		

DENGEO: Densidad y Geometria

ANEXO 7. CARACTERISTICAS DEL CULTIVO AL MOMENTO DEL MUESTREO EN LA CONDICION DE FINCA (cultivo de hortalizas), LLANO GRANDE.

Inter-vaio	Finca No	Pendiente (%)	Cultivo	Altura (cm)	Cobert. Vegetal (%)	DENGEO (cm)					Observaciones
						Ancho de camellon	Ancho del intercamellon	Dist. entre líneas de plantas	No de plantas por línea	Dist. entre plantas	
A	29	11	Vainica	23.0	72.0	108.0	30.0	60.0	2.0	0.0	
	12	5	Papa	77.0	90.0	37.0	18.0	0.0	0.0	20.0	
	26	10	Papa	67.0	90.0	33.0	25.0	0.0	0.0	20.0	
	28	8	Papa	95.0	96.0	30.0	25.0	0.0	0.0	20.0	
	28	8	Papa	88.0	95.0	30.0	25.0	0.0	0.0	25.0	
	28	13	Papa	85.0	95.0	30.0	25.0	0.0	0.0	25.0	
	31	11	Papa	69.0	98.0	60.0	25.0	0.0	0.0	25.0	
	5	12	Cebolla	68.0	70.0	103.0	30.0	28.0	12.0	0.0	
	17	8	Cebolla	63.0	43.0	95.0	32.0	30.0	9.0	0.0	
	18	11	Cebolla	68.0	65.0	100.0	30.0	30.0	14.0	0.0	
	19	14	Cebolla	61.0	65.0	107.0	30.0	30.0	12.0	0.0	

B	8	28	Papa	60.0	75.0	35.0	25.0	0.0	0.0	20.0	
	17	23	Papa	86.0	95.0	28.0	28.0	0.0	0.0	28.0	
	28	19	Papa	69.0	90.0	30.0	23.0	0.0	0.0	25.0	
	28	18	Papa	80.0	95.0	40.0	30.0	0.0	0.0	15.0	
	32	19	Papa	45.0	90.0	35.0	25.0	0.0	0.0	20.0	
	14	23	Cebolla	60.0	40.0	117.0	30.0	30.0	11.0	0.0	
	14	27	Cebolla	42.0	30.0	108.0	35.0	30.0	11.0	0.0	
	14	30	Cebolla	42.0	30.0	117.0	33.0	30.0	10.0	0.0	
	28	23	Cebolla	48.0	40.0	132.0	35.0	29.0	18.0	0.0	
	29	18	Cebolla	73.0	75.0	121.0	39.0	32.0	18.0	0.0	
	31	21	Cebolla	64.0	70.0	117.0	33.0	28.0	9.0	0.0	
	33	23	Cebolla	60.0	63.0	107.0	33.0	30.0	8.0	0.0	

C	6	42	Maleza	12.0	20.0	110.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
	6	33	Remolach	48.0	50.0	110.0	40.0	20.0	5.0	0.0	
	12	31	Papa	78.0	97.0	30.0	20.0	0.0	0.0	20.0	
	8	45	Cebolla	68.0	65.0	110.0	40.0	30.0	12.0	0.0	
	14	42	Cebolla	42.0	35.0	107.0	37.0	30.0	10.0	0.0	
	25	37	Cebolla	21.0	20.0	100.0	30.0	30.0	13.0	0.0	
	25	41	Cebolla	21.0	18.0	110.0	30.0	30.0	15.0	0.0	
	26	33	Cebolla	67.0	70.0	110.0	25.0	25.0	9.0	0.0	
	28	34	Cebolla	37.0	20.0	122.0	38.0	30.0	11.0	0.0	

DENGEO: Densidad y Geometría

ANEXO 8. CARACTERISTICAS FISICO-QUIMICAS DE LOS SUELOS, CUENCA MEDIA DEL RIO
REVENTADO, CONDICION FINCAS.

Intervalo	pH	Fertilidad						DA	TEXTURA			CLASIFICACION
		M.O (%)	P mg/l	Ca	Mg mg/100	K ml suelo	Acid.Ext.		Arena (%)	Limo (%)	Arcilla (%)	
A	6.2	4.0	98.6	5.7	1.4	1.1	0.20	0.8	66.4	26.0	17.6	Franco-Arenoso
	4.8	3.3	255.0	2.0	0.0	0.8	0.55	0.8	64.4	24.0	11.0	Franco-Arenoso
	4.8	3.2	312.8	3.0	0.8	0.7	0.70	1.0	64.0	22.4	13.0	Franco-Arenoso
	5.4	2.8	102.4	5.1	1.9	1.1	0.10	1.0	62.0	20.4	11.0	Franco-Arenoso
	5.2	3.4	226.5	3.8	0.5	0.8	0.25	1.0	60.0	26.4	13.6	Franco-Arenoso
	4.8	3.6	328.0	6.1	1.3	1.2	0.40	0.9	52.0	20.0	22.0	Franco-Arcillo-Arenoso
	6.3	4.4	215.2	4.4	0.7	0.9	0.25	0.0	56.6	24.0	17.2	Franco-Arenoso
	5.1	4.9	212.3	3.7	0.8	1.1	0.30	1.0	54.8	28.0	17.2	Franco-Arenoso
	6.1	3.1	89.1	8.2	2.3	1.3	0.10	0.7	42.8	32.0	26.2	Franco
	4.9	2.5	119.4	1.4	0.3	0.8	0.70	1.0	62.4	26.0	11.0	Franco-Arenoso
	6.1	2.8	206.9	5.9	1.3	1.1	0.25	0.9	48.4	30.8	23.0	Franco
	4.9	4.2	218.8	2.6	0.6	1.1	0.50	0.9	58.4	28.0	13.6	Franco-Arenoso
	4.8	2.7	206.5	3.1	0.8	0.9	0.45	0.9	50.4	26.0	17.0	Franco-Arenoso
	5.4	3.3	181.8	6.8	1.0	0.8	0.20	0.8	48.4	32.0	21.6	Franco
	4.7	5.2	305.8	5.3	1.3	1.5	0.40	0.9	44.4	30.0	25.6	Franco
	5.2	4.0	310.3	0.7	1.2	1.1	0.20	1.0	54.4	26.0	19.0	Franco-Arenoso
	6.3	4.5	266.7	6.3	1.2	1.4	0.20	0.9	50.4	28.0	23.6	Franco-arcillo-arenoso
	5.0	3.5	299.1	5.8	1.3	1.4	0.25	0.8	48.4	30.0	23.0	Franco
	6.6	4.1	318.1	7.1	2.1	1.1	0.20	0.7	48.4	30.0	23.0	Franco
	4.7	3.8	245.5	5.8	1.8	1.2	0.46	0.8	50.4	28.0	21.6	Franco Limite Franco-Arcillo-Arenoso
MEDIA	5.1	3.6	228.9	4.9	1.1	1.1	0.3	0.9	53.8	27.5	18.8	
STD	0.2	0.7	77.0	1.7	0.5	0.2	0.2	0.1	6.7	2.5	4.7	
CV	4.8	20.2	33.7	35.0	47.5	21.4	62.4	8.4	12.4	9.0	25.3	

B	4.7	3.4	77.7	18.8	7.0	0.4	0.65	0.7	38.4	24.0	36.0	Franco-Arcilloso
	4.8	3.8	189.8	3.7	1.1	0.8	0.45	0.9	58.4	26.0	16.6	Franco-Arenoso
	5.3	3.4	176.0	4.8	0.8	0.7	0.20	0.9	58.0	30.4	11.0	Franco-Arenoso
	5.8	2.9	102.4	6.3	1.8	0.8	0.10	0.9	58.0	28.4	16.0	Franco-Arenoso
	5.4	3.1	190.5	5.5	0.9	0.7	0.15	0.9	52.4	28.0	19.6	Franco-Arenoso
	5.0	3.1	310.4	4.2	1.4	0.9	0.40	0.9	52.4	28.0	19.6	Franco-Arenoso
	5.4	3.9	101.4	5.5	1.1	0.8	0.10	0.9	48.8	32.0	21.2	Franco
	5.9	3.5	91.0	8.8	1.2	0.8	0.10	0.9	48.8	30.0	21.2	Franco
	4.7	3.4	105.3	2.7	0.8	1.8	0.40	1.0	62.4	28.0	9.0	Franco-Arenoso
	5.4	2.5	158.5	7.4	2.9	0.8	0.20	0.9	40.4	30.0	23.0	Franco
	5.9	3.2	112.7	0.9	3.5	0.7	0.15	1.0	52.4	28.0	19.0	Franco-Arenoso
	6.7	3.3	111.8	7.0	2.7	0.8	0.15	1.0	54.4	28.0	17.6	Franco-Arenoso
	4.8	4.3	186.4	4.3	0.9	1.0	0.40	0.9	50.4	30.0	19.6	Franco
	5.0	2.8	282.3	5.8	1.5	1.0	0.25	0.9	48.4	28.0	23.0	Franco
	6.3	2.5	100.8	7.7	1.6	1.2	0.20	0.8	38.4	30.0	31.6	Franco-Arcilloso
	5.5	4.8	232.1	7.8	1.4	1.3	0.20	0.8	48.0	32.0	20.0	Franco
	6.8	4.8	188.7	8.9	1.9	1.3	0.15	0.7	44.0	30.0	26.0	Franco
	5.6	3.2	64.7	0.0	1.7	1.8	0.10	0.8	45.2	33.6	21.2	Franco
	5.0	4.1	144.0	6.5	1.8	0.9	0.25	0.7	47.2	29.6	23.2	Franco
	5.5	3.9	87.1	6.8	1.2	0.9	0.10	0.7	41.2	33.6	25.2	Franco
MEDIA	5.3	3.4	158.8	6.8	1.9	0.9	0.2	0.8	49.5	29.5	21.0	
STD	0.4	0.7	64.9	3.1	1.4	0.3	0.1	0.1	6.3	3.1	4.0	
CV	7.3	18.4	41.6	47.0	81.6	33.7	67.7	12.4	12.4	7.1	27.2	

C	5.1	4.2	87.3	8.3	3.8	0.6	0.20	0.8	48.4	28.0	25.6	Franco-Arcillo-Arenoso
	4.8	3.4	273.0	6.2	3.1	1.0	0.70	0.8	54.4	28.0	17.0	Franco-Arenoso
	5.3	3.8	129.9	7.3	2.7	0.9	0.10	0.7	48.4	30.0	23.0	Franco
	5.5	5.5	52.1	4.1	1.2	1.0	0.15	0.8	58.4	30.0	13.8	Franco-Arenoso
	4.8	4.1	144.1	2.8	0.9	0.8	0.50	0.7	58.4	28.0	13.0	Franco-Arenoso
	5.3	4.1	222.7	6.0	1.8	1.0	0.10	0.9	60.4	32.0	17.0	Franco
	5.4	4.3	318.8	4.9	1.8	1.2	0.15	0.8	50.4	32.0	17.0	Franco
	5.9	3.1	64.5	6.4	1.2	0.5	0.10	0.7	48.8	34.0	19.2	Franco
	5.6	1.9	82.0	8.8	1.8	0.5	0.10	0.8	48.8	32.0	21.2	Franco
	6.0	2.0	88.2	17.6	6.3	0.7	0.15	0.8	52.8	28.0	19.2	Franco-Arenoso
	5.1	3.1	133.8	18.3	8.8	1.1	0.18	0.8	52.8	28.0	19.2	Franco-Arenoso
	5.8	0.7	38.8	3.8	1.0	0.8	0.15	0.8	67.8	28.0	14.2	Franco-Arenoso
	5.3	3.1	84.9	2.4	0.7	0.8	0.48	0.9	65.2	31.6	13.2	Franco-Arenoso
	5.3	3.2	93.8	2.4	0.4	0.7	0.45	1.0	60.8	28.0	11.2	Franco-Arenoso
	5.1	6.3	138.4	5.5	1.5	1.0	0.85	0.8	48.8	36.0	17.2	Franco
	5.8	2.9	103.8	8.2	1.9	0.8	0.10	0.9	50.8	30.0	19.2	Franco
	5.0	2.9	108.3	5.3	1.8	1.2	0.20	0.8	38.4	36.0	31.8	Franco-Arcilloso
	5.5	2.4	48.0	7.4	2.9	0.6	0.10	0.8	44.4	34.0	21.0	Franco
	5.5	5.3	87.1	10.1	4.9	0.9	0.10	0.8	48.4	34.0	18.0	Franco
	5.5	4.5	93.8	10.8	3.9	0.8	0.15	0.8	38.4	34.0	29.6	Franco-Arcilloso
MEDIA	5.3	3.8	120.0	7.0	2.5	0.8	0.2	0.8	50.1	30.9	19.0	
STD	0.3	1.0	71.1	4.0	1.8	0.2	0.2	0.1	5.6	3.6	6.6	
CV	6.8	27.7	59.8	57.0	70.7	22.4	70.0	10.1	12.9	8.1	34.0	

ANEXO 9. CARACTERISTICAS FISICO-QUIMICAS DE LOS SUELOS, CUENCA MEDIA DEL RIO REVENTADO, CONDICION REFERENCIA.

Inter- valos	Características												
	pH	M.O.	P	Ca	Mg	K	Ac.Ext.	D.A./PROF.			Textura		
								5 cm	10 cm	15 cm	Arena(%)	Limo(%)	Arc.(%)
A	8.0	12.5	157.9	8.3	4.1	1.7	0.10	0.8	0.8	0.9	57.8	32.0	10.4
	5.8	8.8	119.7	5.2	2.2	1.2	0.15	0.8	1.0	1.0	41.8	42.0	16.4
	5.9	10.8	98.8	6.2	2.8	1.5	0.15	0.7	0.8	0.9	37.8	44.0	18.4
	6.3	10.0	54.3	4.2	3.3	2.4	0.10	0.5	0.8	1.1	61.8	30.0	8.4
	6.0	8.5	100.8	5.9	2.4	1.4	0.10	0.6	0.9	1.0	53.8	34.0	12.4
X	6.0	9.7	106.2	5.9	3.0	1.8	0.12	0.6	0.9	1.0	50.4	36.4	13.2
STD	0.2	2.0	33.8	1.4	0.7	0.4	0.02	0.1	0.1	0.1	9.3	5.8	3.7
CV	2.8	20.8	31.8	22.9	22.5	28.0	20.41	18.2	8.4	7.8	18.4	15.3	28.1

Inter- valos	Características												
	pH	M.O.	P	Ca	Mg	K	Ac.Ext.	D.A./PROF.			Textura		
								5 cm	10 cm	15 cm	Arena(%)	Limo(%)	Arc.(%)
B	6.0	7.5	61.4	4.4	1.8	1.2	0.10	0.8	0.9	1.1	49.8	38.0	14.4
	6.0	5.9	59.4	6.6	3.7	1.0	0.10	0.8	1.0	1.2	47.6	34.0	18.4
	6.0	10.9	32.1	4.8	2.8	1.2	0.10	0.7	1.1	1.1	59.8	34.0	8.4
	6.4	7.3	37.8	5.5	2.2	1.5	0.10	0.8	1.0	1.0	55.8	38.0	8.4
	6.0	4.5	84.5	6.5	1.4	1.2	0.15	1.0	1.1	1.1	43.8	34.0	22.4
X	6.1	7.2	55.0	5.5	2.3	1.2	0.11	0.8	1.0	1.1	51.2	34.8	14.0
STD	0.2	2.2	18.7	0.9	0.8	0.2	0.02	0.1	0.1	0.0	5.7	1.0	6.0
CV	2.8	28.8	34.0	16.5	33.8	14.1	18.18	11.0	7.7	4.0	11.2	2.8	42.8

Inter- valos	Características												
	pH	M.O.	P	Ca	Mg	K	Ac.Ext.	D.A./PROF.			Textura		
								5 cm	10 cm	15 cm	Arena(%)	Limo(%)	Arc.(%)
C	5.8	6.0	61.5	7.2	3.0	0.7	0.10	1.0	1.1	1.1	49.8	38.0	14.4
	6.0	9.3	43.9	4.8	3.5	1.4	0.10	0.7	0.7	1.0	59.8	32.0	8.4
	5.9	7.5	53.3	4.8	2.4	1.3	0.10	0.6	0.8	1.1	45.8	40.0	14.4
	6.1	6.7	62.2	5.4	3.3	1.0	0.10	1.0	1.0	1.0	49.8	38.0	12.4
	5.7	11.5	4.3	5.0	2.8	0.5	0.10	0.8	1.0	0.8	53.8	38.0	8.4
X	5.9	8.2	49.0	6.4	3.0	1.0	0.10	0.8	0.9	1.0	51.8	38.8	11.8
STD	0.2	2.0	25.8	0.9	0.4	0.4	0.00	0.2	0.2	0.1	4.7	2.7	2.7
CV	3.2	24.5	52.2	16.6	11.9	35.9	0.00	18.8	17.9	10.9	6.2	7.4	23.4

D.A./PROF.: Densidad Aparente por Profundidad.

ANEXO 10. CONDICIONES BAJA, MEDIA Y ALTA PARA LAS CARACTERISTICAS DE FERTILIDAD DE UN SUELO.

CARACTERISTICAS	CATEGORIAS		
	BAJA < que	MEDIA de a	ALTA > que
pH en H ₂ O 1:2.5	5.5	5.6 - 6.5	6.5
ACIDEZ (meq 100 ml)	0.5	0.51- 1.5	1.5
SATURACION ACIDEZ (%)	10	10.1 - 50	50
SUMA DE CATIONES (meq 100 ml)		5.01- 25	25
Ca ¹ (meq 100 ml)	4	4.1 - 20	20
Mg ¹ (meq 100 ml)	1	1.1 - 5	5
K ² (meq 100 ml)	0.2	0.21- 0.6	0.6
Ca/Mg	2	2.1 - 5	5
Ca/K	5	5.1 - 25	25
Mg/K	2.5	2.6 - 15	15
Ca+Mg/K	10	10.1 - 40	40
P ² (ug/ml)	10	11 - 20	20
Zn ² (ug/ml)	2	2.1 - 10	10
Mn ² (ug/ml)	5	6 - 50	50
Fe ² (ug/ml)	10	11 - 100	100
Cu ² (ug/ml)	2	3 - 20	20

1. KCl IN 1:10 2. Olsen modificado 1:10

Los numeros con negrita y cursiva destacan la o las categorias que representan problemas para cada caracteristica.

FUENTE: BERTSCH, U.C.R., 1987.

Las categorias baja, media y alta se establecieron con base en las guias para interpretacion de analisis de suelo usadas por el MAB y el CATIE.

ANEXO 11. GUIA PARA LA INTERPRETACION DE ANALISIS DE SUELO
UTILIZADA POR EL CATIE.

		nivel				
		DEFICIENTE	critico	OPTIMO		
Ca	meq/100 ml	0.3	2.2	4.0	36	
Mg	meq/100 ml	0.12	0.8	2.0	18	
K	meq/100 ml	0.03	0.2	0.4	0.6	3
P	ug/ml	2	12	20	36	80
Mn	ug/ml	0.7	5	10	15	100
Zn	ug/ml	0.4	3	6	9	36
Cu	ug/ml	0.1	1	3	3	20
Fe	ug/ml	1	10	20	80	
B	ug/ml	0.03	0.2	0.5	0.6	8
S	ug/ml	2	12	20	36	80
Ca/Mg		0.2	1.2	1.9	6.2	
Mg/K		0.2	1.6	3.6	14	
Ca+Mg/K		0.2	3.5	10	60	

Ca y Mg extraidos con KCl 1N, 1:10

K, P, Mn, Zn, Cu, y Fe extraidos con Olsen modificado, 1:10

B y S extraidos con CaH₄(PO₄)₂, 1:2.5

FUENTE: DIAZ ROMEGU Y HUNTER, CATIE, 1978

ANEXO 12. GUIA PARA LA INTERPRETACION DE ANALISIS DE SUELO
UTILIZADA POR EL M.A.G.

		BAJO	OPTIMO	ALTO
pH	meq/100 ml	5.0	5.0 - 6.5	7.0
Al	meq/100 ml		0.3	1.5
Ca	meq/100 ml	4.0	4 - 20	20
Mg	meq/100 ml	1	1 - 10	10
K	meq/100 ml	0.2	0.2 - 1.5	1.5
<hr/>				
P	ug/ml	10	10 - 40	40
Mn	ug/ml	5	5 - 50	50
Zn	ug/ml	3	3 - 15	15
Cu	ug/ml	1	1 - 20	20
Fe	ug/ml	10	10 - 50	50
<hr/>				
		desbalance	balance	desbalance
<hr/>				
Ca/Mg		2	2 - 5	5
Mg/K		2.5	2.5 - 15	15
Ca+Mg/K		10	10 - 40	40
Ca/K		5	5 - 25	25

pH determinado en H₂O, 1:25

Al, Ca y Mg extraidos con KCl 1N, 1:10

K, P, Mn, Zn, Cu, Fe extraidos con Olsen modificado, 1:10

FUENTE: MAG, Laboratorio de suelos, 1982.