

**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA
(UNA)
FACULTAD DE RECURSOS NATURALES Y DEL AMBIENTE
(FARENA)**



**EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DE LOS SUELOS DE LADERAS DE
NANDAIME, A TRAVÉS DE LA IDENTIFICACIÓN Y USO DE
INDICADORES TÉCNICOS Y LOCALES**

**TESIS PARA OPTAR AL TÍTULO DE INGENIERO EN RECURSOS
NATURALES RENOVABLES**

Presentada por: *Br. Martín José Domínguez Silva*

Asesores: *M.Sc. César Aguirre Jiménez*

Ing. Antonio Avilés Silva

MANAGUA, ABRIL DE 2005

INDICE GENERAL

	Pag.
CONTENIDOS	
INDICE GENERAL.....	I
INDICE DE TABLA.....	IV
INDICE DE FIGURA.....	V
DEDICATORIA.....	VI
AGRADECIMIENTO.....	VII
RESUMEN.....	VIII
SUMMARY.....	IX

I	INTRODUCCION	1
1.2	Objetivos	3
1.2.1	Objetivo General	3
1.2.2	Objetivos Específicos	3
II	REVISIÓN DE LITERATURA	4
2.1	Definición de suelos	4
2.2	Propiedades físicas de los suelos	5
2.2.1	Textura de los suelos	5
2.2.1.1	Clasificación de la Textura	5
2.2.1.2	Triángulo de Textura	6
2.2.2	Estructura de los suelos	6
2.2.2.1	Clasificación de la estructura de los suelos	7
2.2.2.2	La estabilidad estructural de los suelos	7
2.2.3	Densidad aparente de los suelos	9
2.2.3.1	Factores que afectan la densidad aparente de los suelos	10
2.2.4	Densidad real de los suelos	11
2.2.5	Porosidad de los suelos	11
2.2.5.1	Factores que afectan la Porosidad	12
2.2.6	Resistencia mecánica de los suelos	13
2.2.7	Infiltración del agua en los suelos	13
2.2.8	Color de los suelos	14
2.2.9	Profundidad de los suelos	14
2.3	Propiedades químicas de los suelos	15
2.3.1	pH del suelo	15
2.3.2	Materia orgánica de los suelos	16
2.3.3	Fósforo de los suelos	17
2.3.4	Potasio de los suelos	17
2.3.5	Capacidad de Intercambio catiónico de los suelos	18
2.4	La degradación de los suelos	18
2.4.1	Causa de la degradación de los suelos	18

2.4.2	Procesos de degradación de suelos	19
2.4.3	Tipos de degradación de suelos	20
2.5	Indicadores de calidad de suelos	21
2.5.1	Definiciones de indicadores	21
2.5.2	Indicadores de calidad de suelos	21
a.	Indicadores físicos de calidad de suelos	22
b.	Indicadores químicos de calidad de suelos	22
c.	Indicadores biológicos de calidad de suelos	22
2.5.3	Conocimiento y manejo local de los suelos	22
2.5.3.1	Indicadores locales de calidad de suelos	23
III	MATERIALES Y MÉTODOS	24
3.1	Características generales del área de estudio	24
3.1.1	La planicie de Nandaime	24
3.1.2	Los suelos de las Series de la Planicie de Nandaime	25
3.1.2.1	Serie Nandaime (NN)	25
3.1.2.2	Serie San Felipe (SF)	25
3.1.2.3	Serie La Granadilla (LG)	26
3.1.2.4	Suelos Aluviales (Txi)	26
3.2	Metodología del estudio	26
3.2.1	Fase de pre - campo	26
3.2.2	Fase de campo	27
3.2.2.1	Evaluación de indicadores de calidad de suelos	28
3.2.2.2	Toma de muestras de suelos	28
3.2.2.3	Entrevistas semi-estructuradas con los dueños de las fincas	29
3.2.3	Fase de post-campo	29
3.2.3.1	Organización de la información	29
IV	RESULTADOS Y DISCUSION	30
4.1	Características y propiedades físico-químicas de los suelos de las Series de la Planicie de Nandaime	30
4.1.1	Serie Nandaime (NN)	30
4.1.1.1	Características físicas de los suelos de la Serie Nandaime (NN)	31
4.1.1.2	Características químicas de los suelos de la Serie Nandaime (NN)	37
4.1.2	Serie San Felipe	41
4.1.2.1	Características físicas de los suelos de la Serie San Felipe (SF)	41
4.1.2.2	Características químicas de los suelos de la Serie San Felipe (SF)	47
4.1.3	Serie la Granadilla (LG)	51
4.1.3.1	Características físicas de los suelos de la Serie La Granadilla (LG)	51
4.1.3.2	Características químicas de los suelos de la Serie La Granadilla (LG)	57
4.1.4	Suelos Aluviales (Txi)	60
4.1.4.1	Características físicas de los Suelos Aluviales (Txi)	60

4.1.4.2	Características químicas de los Suelos Aluviales (Txi)	67
4.2	Indicadores locales de calidad de suelos identificados en el estudio	70
4.2.1	Indicadores de suelos de buena calidad para uso agrícola	70
4.2.2	Indicadores de suelos de mala calidad para uso agrícola	71
4.3	Indicadores técnicos y locales sugeridos para evaluar los suelos de la Planicie de Nandaimé	73
V	CONCLUSIONES	75
VI	RECOMENDACIONES	77
VII	BIBLIOGRAFÍA	78
	ANEXOS	81

INDICE DE TABLAS

Tabla	Contenido	Pág.
1.	Clasificación de la textura.....	6
2.	Clasificación de la estabilidad estructural de los suelos.....	9
3.	Clasificación de la densidad aparente.....	10
4.	Densidad aparente según la textura.....	10
5.	Clasificación de la densidad real de los suelos.....	11
6.	Densidad real optima de algunos constituyentes de suelos.....	11
7.	Clasificación de la porosidad para uso agrícola.....	12
8.	Relación entre la textura y la porosidad del suelo.....	12
9.	Clasificación de la resistencia mecánica de los suelos.....	13
10.	Clasificación de la infiltración del agua en el suelo.....	14
11.	Clasificación de la profundidad del suelo para uso agrícola.....	15
12.	Clasificación del pH de los suelos.....	16
13.	Clasificación de la materia orgánica de los suelos.....	16
14.	Clasificación del fósforo disponible.....	17
15.	Clasificación del potasio disponible.....	17
16.	Clasificación de la capacidad de intercambio catiónico.....	16
17.	Indicadores locales agrupados según un mismo significado.....	23
18.	Indicadores de calidad de suelo evaluados en campo.....	28
19.	Indicadores de calidad de suelo evaluados en el laboratorio.....	28
20.	Características físicas de los suelos de parcelas con cultivo pasto y bosque de dos finca de la Serie Nandaime.....	31
21.	Características químicas de los suelos de parcelas con cultivo pasto y bosque de dos fincas en la Serie Nandaime.....	38
22.	Característica físicas de los suelos de parcela con cultivo y árboles en dos finca en la Serie San Felipe.....	42
23.	Características químicas de los suelos de las parcelas con cultivo y árboles de dos fincas de la Serie San Felipe.....	48
24.	Característica físicas de los suelos de parcela con cultivo y frutales de dos finca en la Serie La Granadilla.....	52
25.	Características químicas de los suelos de las parcelas con cultivo y frutales de dos finca en la Serie La Granadilla.....	57
26.	Característica físicas de los suelos de parcela con cultivo, pasto y frutales en tres finca en la Serie Aluvial.....	61
27.	Características químicas de los suelos de las parcelas con cultivo, pasto y bosque de tres fincas en la Serie Aluvial.....	67
28.	Indicadores locales de suelo bueno.....	71
29.	Indicadores locales de suelo malo.....	72

INDICE DE FIGURAS

Figura	Contenidos	Pág.
1.	Triángulo textural.....	6
2.	Comportamiento de la resistencia mecánica en la Serie Nandaime.....	34
3.	Comportamiento de la densidad aparente con respecto a la materia orgánica en los suelos de la Serie Nandaime.....	36
4.	Infiltración del agua en los suelos de las dos fincas evaluadas en la Serie Nandaime.....	37
5.	Comportamiento de la capacidad de intercambio catiónico con respecto a la materia orgánica en los suelos de la Serie Nandaime.....	40
6.	Comportamiento de la estabilidad estructural de los suelos de la Serie San Felipe.....	44
7.	Comportamiento de la resistencia mecánica en los suelos de la Serie San Felipe.....	45
8.	Comportamiento de la densidad aparente con respecto a la materia orgánica en los suelos de la Serie San Felipe.....	46
9.	Comportamiento de la infiltración del agua en los suelos de la Serie San Felipe.....	47
10.	Comportamiento de la capacidad de intercambio catiónico con respecto a la materia orgánica en los suelos de la Serie San Felipe.....	50
11.	Comportamiento de la estabilidad estructural del suelo en la Serie La Grandilla.....	54
12.	Comportamiento de la resistencia mecánica en los suelos de la Serie La Granadilla.....	55
13.	Comportamiento de la densidad aparente con respecto a la materia orgánica en los suelos de la Serie La Granadilla.....	56
14.	Comportamiento de la Infiltración del agua en los suelos de la Serie La Granadilla.....	56
15.	Comportamiento de la capacidad de intercambio catiónico con respecto a la materia orgánica en los suelos de la Serie La Granadilla..	59
16.	Comportamiento de la resistencia mecánica en los suelos de la Serie Aluvial.....	63
17.	Comportamiento de la densidad aparente con respecto a la materia orgánica en los suelos de la Serie Aluvial.....	65
18.	Comportamiento de la Infiltración del agua en los suelos de la Serie Aluvial.....	66
19.	Comportamiento de la capacidad de intercambio catiónico con respecto a la materia orgánica en los suelos de la serie Aluvial.....	69

DEDICATORIA

Esta obra esta dedicada con mucho cariño y aprecio a quienes mucho: Lázaro Davis Navarrete y Juliana del Carmen Germán.

El autor dedica de manera especial a doña Sonia Guadalupe López de Espinosa, por amabilidad, hospitalidad y sobre todo, por su constante petición y oración a Dios para que mis estudios y mi labor profesional sea bendecidos hoy, mañana y siempre.

A mis abuelos que me quieren mucho y yo a ellos, Timoteo Almanza Umansor y Agustina Urbina Caffrell (abuelos maternos); a mis abuelos Carlos Davis¹ y Eparicia Navarrete¹ (abuelos paternos), quienes supieron educarme y sus consejos están y estarán en mi memoria todos los días de mi vida.

¹ Que descanse en la paz del señor.

AGRADECIMIENTO

Agradezco a la Santísima Trinidad (DIOS padre, DIOS hijo y Dios espíritu Santo; por haberme dado el don de la vida.

Al Proyecto Sur Oeste; por el apoyo económico destinado al desarrollo científico – técnico en nuestro país y principalmente la de esta obra.

Agradezco a mis asesores: MSc. Cesar Aguirre Jiménez e Ing. Antonio Avilés Silva; que me apoyaron en la elaboración y desarrollo de esta investigación.

A toda mi familia que me apoyaron durante el proceso de mi formación, en especial a mi tío Pedro Dreppa Urbina y su grandiosa esposa Celia Suazo González.

Agradezco a la Universidad Nacional Agraria por haberme dado la oportunidad de cursar la carrera de AGRONOMIA CON ORIENTACIÓN EN SUELOS Y AGUA; sin costo alguno.

Agradezco de manera muy amena al profesor y secretario general de la Universidad Nacional Agraria Lic. Ronal José Quiroz Ocampo y a la directora de Servicios estudiantiles M.Sc. Lic. Idalia Casco Mendieta; por su valiosa colaboración en mi formación profesional.

Agradezco a todos mis docentes de la UNA, que compartieron a mi lado sus conocimientos científicos y prácticos durante los cinco años de educación superior.

Agradezco a todos mis profesores de primaria y secundaria que supieron soportar mis molestias en sus aulas de clase.

RESUMEN

El propósito de esta investigación fue conocer el estado de los suelos de la planicie de Nandaime mediante la identificación y evaluación de indicadores técnicos y locales de calidad de suelos, para contribuir a un uso y manejo sostenible de este recurso. Pese a que en el ámbito científico-técnico, se cuenta con parámetros para evaluar la condición física, química y biológica de los suelos es necesario contar con indicadores locales sencillos que permitan conocer el estado de la calidad de este recurso.

La metodología del trabajo consistió en la evaluación de indicadores técnicos y locales de calidad de suelos en parcelas con diferentes usos, en nueve fincas ubicadas en las Series de suelo Nandaime (2) San Felipe (2), La Granadilla (2) y Suelos Aluviales (3). Los indicadores técnicos evaluados en cada una de las parcelas fueron estabilidad estructural, color del suelo, compactación, infiltración, presencia de organismos en el suelo; mientras que en el laboratorio se determinó la densidad aparente, porosidad, el pH, materia orgánica, la capacidad de intercambio cationico, el contenido de fósforo y potasio disponible.

Los resultados indican que los suelos sometidos a la agricultura en su mayoría han perdido el horizonte superficial, contiene niveles medios de materia orgánica, están compactados, tienen baja infiltración, muestran susceptibilidad a la erosión y presentan niveles medios y bajos de fósforo y potasio disponible. No obstante, estos suelos tienen potencial para la actividad agropecuaria, siempre y cuando se realicen las prácticas de manejo de suelos adecuadas, que garanticen la sostenibilidad de este recurso y de los agroecosistemas en general

Las prácticas inadecuadas de manejo, tales como la deforestación y disminución de la cobertura vegetal, sobrepastoreo y labranza inadecuada, son los factores que más han influido en el deterioro de las características físicas, químicas y biológicas de estos suelos.

El contenido de materia orgánica es el indicador de primer grado para evaluar la calidad de suelos, en vista de influencia positiva en las propiedades y funciones básicas del suelo. Sin embargo, éste debe complementarse con otros indicadores de la salud del suelo, tales como la tasa de infiltración, estabilidad estructural, grado de compactación, productividad, la presencia de lombrices, así como la presencia y abundancia de malezas.

I. INTRODUCCIÓN

El conocimiento de las propiedades del suelo se ha desarrollado a la par de los nuevos conocimientos agrícolas. El suelo es considerado un recurso natural indispensable para la vida de los ecosistemas en la tierra, debido a que es el sustento de las plantas y el medio por el cual las civilizaciones a través de los tiempos han garantizado la seguridad alimenticia.

Hoy en día el crecimiento poblacional acelerado ha provocado una mayor presión sobre los recursos naturales y por ende una mayor degradación de los mismos. Producto de la demanda de mayores cantidades de tierras para el establecimiento de ciudades se ha dado el avance de la frontera agrícola, la tala indiscriminada del bosque y el uso intensivo del suelo. Debido a esto la presión sobre los suelos es cada vez mayor, provocándose un deterioro mayor de este recurso y una reducción de los suelos cultivables. A raíz de esta problemática es que en estos últimos años se ha prestado mayor atención al estudio de los suelos y a su conservación, diseñándose prácticas de conservación de suelos que no sólo permitan protegerlos, sino que ayuden a los mismos a recuperar su capacidad productiva.

En Nicaragua una de las regiones mayormente pobladas es la Región del Pacífico, debido a las condiciones de planicie que se presenta en buena parte de esta área; sin embargo, en vista que aquí hay una mayor presión sobre la tierra y existen procesos de degradación de suelos, muchos productores se han visto obligados a abandonar dichas áreas, pasando a ocupar tierras en condiciones de laderas.

Desde mediados de la década de los 50 del siglo XX, la actividad agropecuaria en ambas áreas (planicies y laderas) se ha visto sometida a una serie de factores que afectan la producción. Uno de estos factores es el manejo; prácticas tales como el mal manejo de la labranza, la quema de rastrojos, el sobre pastoreo, entre otras, han causado erosión (hídrica y eólica), disminución de la capacidad de infiltración y retención de agua en el suelo, cuyas consecuencias se evidencian en la reducción de la capacidad productiva de las tierras.

Por ser estas áreas importantes para la seguridad alimentaria de las familias de los agricultores y del país en general, es necesario monitorear continuamente el estado de los suelos y conocer los factores que determinan su estabilidad o degradación. Pero en vista que en el ámbito científico-técnico se cuenta con una variedad de indicadores para evaluar el estado del recurso suelo, es también una necesidad el poder contar con indicadores locales sencillos que puedan ser utilizados por los extensionistas y los propios agricultores.

En vista que los indicadores locales de calidad de suelos deben ser generados para cada condición en particular y de la necesidad de información pertinente de parte de entidades locales que trabajan en el municipio de Nandaime, se realizó el presente trabajo con el fin de identificar y validar indicadores sencillos que permitan determinar la calidad o el estado de la salud de los suelos de las laderas de este municipio.

1.2. Objetivos

1.2.1. Objetivos Generales

- ❖ Conocer la calidad de los suelos de laderas de Nandaime a través de la identificación y uso de indicadores técnicos y locales, para generar información que contribuya a lograr un uso y manejo sostenible de este importante recurso natural.

1.2.2. Objetivos Específicos

- ❖ Evaluar las características físicas y químicas de suelos de las Series San Rafael, El Cráter y Santa Teresa, mediante el uso de métodos sencillos para evaluar la calidad de los mismos.
- ❖ Identificar los principales factores de cambio relacionados con el deterioro de la capacidad productiva de estos suelos.
- ❖ Identificar los indicadores que los productores utilizan para designar la calidad de los suelos para uso agrícola.

II. REVISION DE LITERATURA

2.1. Definición de suelos

Físicamente los suelos son una mezcla porosa inorgánica, materia orgánica descompuesta, aire y agua. El agricultor desde luego tiene una definición mas práctica de los suelos y los considera como el medio en que crecen los cultivos. Por otra parte el ingeniero civil define a los suelos como los materiales que sostienen edificios y caminos (Foth, 1985). Pero desde el punto de vista productivo, los suelos son considerados como el componente esencial de los sistemas agrarios, puesto que sustenta las plantas que son la base de la vida y la economía de un país.

Según Enríquez (1999), los suelos son sistemas dinámicos en los cuales ocurren cambios y transformaciones producto de interacciones de procesos físicos, químicos y biológicos; estos procesos ocurren en forma simultanea y producen al final un sustrato el cual brinda nutrientes, agua y sostén a las plantas y otros organismos.

Una de las definiciones más completa de suelos es la de Lal y colaboradores (1997); ésta señala que el suelo es un cuerpo natural de cuatro dimensiones: profundidad, área superficial, extensión y espacio aéreo; que almacena energía (renovable); que se localiza entre las interfaces de la atmósfera (capa de aire que cubre el planeta), hidrósfera (cuerpo y formas de agua en la tierra) y en la biosfera (espacio viviente de la tierra).

Entonces, desde un punto de vista amplio los suelos cumplen las siguientes funciones:

- Sostienen la actividad productiva y biodiversidad biológica, al asegurar producción de alimentos, forraje, energía renovable y materia prima. Es un hábitat y reserva de genes, y contiene más especies que todas las otras biotas juntas.
- Regulan y distribuyen flujos de agua, asegurando el equilibrio del ciclo del agua.
- Funcionan como un filtro, al inmovilizar sustancias tóxicas orgánicas e inorgánicas provenientes del campo, la industria y desechos urbanos.

- Almacenan y reciclan nutrientes y otros elementos de la biosfera; actúa como un banco de nutrientes que los liberan cuando las plantas los necesitan.
- Proveen el soporte para la actividad humana, referido al espacio que utilizamos para establecer infraestructura urbana, parques, industrias, carreteras, entre otras.

2.2. Propiedades físicas de los suelos

2.2.1. Textura de los suelos

La textura de los suelos se refiere a la proporción relativa de arena (a), limo (L) y arcilla (A) que existe en los suelos; esta categorización está referida a las partículas menores de 2 mm (Enrique, 1999).

Esta propiedad adquiere gran importancia, ya que determina la facilidad de abastecimiento de nutrientes, de agua y el aire, tan importantes para el desarrollo de los cultivos. Dado que es una propiedad que no puede alterarse se le ha considerado como la propiedad fundamental del suelo que determina en cierto grado su valor económico (Pritchett, 1990).

2.2.1.1. Clasificación de la Textura

Para estudiar las partículas minerales de los suelos los científicos las clasifican en grupos convenientes según su tamaño. El procedimiento analítico mediante el que se separan las partículas de los suelos se conoce como análisis *granulométrico*, el cual consiste en la determinación de la distribución de los tamaños de las partículas en porcentaje. La clasificación de los diámetros de las partículas según el Departamento de Agricultura de los Estados Unidos y la Sociedad Internacional de las Ciencias del Suelo, se muestra en la tabla 1.

Tabla 1. Clasificación de la distribución de los diámetros de partículas

Fracción de Suelo	Diámetros límites (mm)	
	Depto. Agricultura de Estados Unidos	Sociedad Internacional de la Ciencia del Suelo
Arena muy gruesa	2.00 a 1.00	-
Arena gruesa	1.00 a 0.50	2.00 a 0.20
Arena media	0.50 a 0.25	-
Arena fina	0.25 a 0.10	0.20 a 0.02
Arena muy fina	0.10 a 0.05	-
Limos	0.05 a 0.002	0.02 a 0.002
Arcilla	Menor de 0.002	Menor de 0.002

Fuente: Ortiz, 1990.

2.2.1.2. Triángulo de Textura

Las fracciones según su tamaño (arena, limo y arcilla) se denominan separados de los suelos (Ortiz, 1990). Para clasificar textualmente a los suelos se emplea el denominado *Triángulo de textura*, el cual contempla la distribución en porcentajes de partículas de arena, limo y arcilla (ver figura 1).

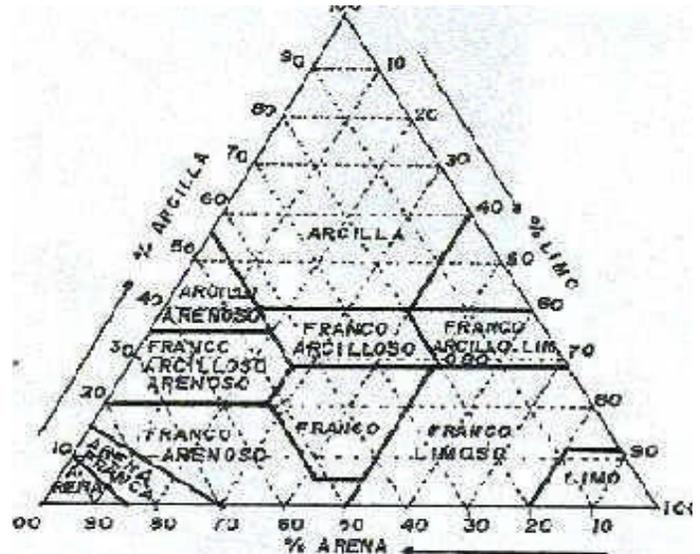


Figura 1. Triángulo textural. (Ortiz, 1990).

2.2.2. Estructura de los suelos

Las características físicas de los suelos dependen tanto de su textura como de la estructura. La estructura se define como la capacidad de los suelos para formar terrones espontáneamente, estos terrones se dividen en pedazos pequeños, granos o agregados sin la intervención del hombre (Cairo, 1995).

La importancia de la estructura se basa en que ésta está estrechamente asociada con la porosidad de los suelos, influenciando otras características tales como el movimiento

del agua, el intercambio gaseoso, el desarrollo de las raíces, la facilidad de labranza y la susceptibilidad de los suelos a la erosión o erodabilidad (Pritchett, 1990).

2.2.2.1. Clasificación de la estructura de los suelos

Según Cairo (1995), de acuerdo con la morfología la estructura puede ser:

- **Laminar:** los agregados se disponen en láminas horizontales delgadas.
- **Prismático:** agregados orientados verticalmente con cortes planos.
- **Columnar:** agregados orientados verticalmente con cortes redondos.
- **Bloques angulares:** agregados cuboides de tamaño desde 1 a 9 cm. Tienen las aristas de los cubos agudas y las caras rectangulares, generalmente se encuentran en el subsuelo y su estudio y desarrollo tiene que ver con drenaje, aireación y penetración de las raíces.
- **Bloque sub-angular:** son similares a los bloques angulares cuya diferencia es que éstos están limitados por otros agregados, cuyas caras angular redondeadas forman el molde de un ped.
- **Granular fino:** son pequeños agregados de suelos de 1 a 2 mm de diámetro y son características de muchos suelos superficiales ricos en materia orgánica.

2.2.2.2. La estabilidad estructural de los suelos

Es la capacidad que tienen los agregados de suelos de retener su forma cuando se humedecen, y permitir el paso del agua a través del suelo. Los agregados deben tener suficiente estabilidad para permitir el libre paso del agua y la entrada del aire conforme el agua sale (Sampat, 1987).

a. Factores que afectan la estabilidad estructural de los suelos

Según Sampat (1987), los factores que afectan la estabilidad estructural son los siguientes:

- ❖ *Arcilla;* capas ligeras de arcilla cubren a las otras partículas del suelo y las

mantienen juntas; estas capas reciben el nombre de cutículas de arcilla y en muchos casos ayudan hacer distinciones entre grupos de suelos.

- ❖ *Cementantes inorgánicos*; los principales son los sesquióxidos de hierro y aluminio que forman coloides irreversibles, o muy lentamente reversibles, y que ayudan a formar agregados estables del suelo a la acción del agua.
- ❖ *Plantas y residuos vegetales*; la excreción de compuestos orgánicos gelatinosos por las raíces sirven como ligamento entre las sustancias inorgánicas. La deshidratación del suelo por la raíz causa grietas al encogerse el suelo, lo que origina rompimientos y, posteriormente, formación de agregados. El follaje de las plantas y sus residuos cubren el suelo y lo protegen de los cambios bruscos de temperatura y humedad y de los efectos de las gotas de lluvia.
- ❖ Los *residuos vegetales*, tanto del follaje como de las raíces, proporcionan la base alimenticia de los microorganismos del suelo, que son uno de los factores agregantes.
- ❖ *Materia orgánica*; las grasas, ceras, ligninas, proteínas, resinas y algunos otros compuestos orgánicos tienen efecto estabilizador directo. Los compuestos húmicos provenientes de la materia orgánica producen mayor agregación.
- ❖ *Insectos del suelo*; por ser los responsables de la producción del humus a través de procesos metabólicos.
- ❖ *Microorganismos del suelo*; durante los periodos de intensa actividad microbiana de descomposición, las células y los microorganismos por si mismos mantienen unidas en forma mecánica, las partículas de suelos.
- ❖ *La labranza del suelo*, causa una desintegración de los agregados.

b. Método de la caja de estabilidad estructural

Este es un método que sirve para determinar la estabilidad estructural, el cual consiste en someter a los agregados del suelo de 2 a 3 mm de grosor y de 6 a 8 mm de diámetro (tanto de la parte superficial como subsuperficial) a la acción del agua, en una caja con agua limpia que tiene 18 depósitos. Los agregados se ubican en un tamiz de 0.5 mm de separación y son sumergidos uno por uno dentro de la caja, en un intervalo de 15 segundos entre cada terroncito, hasta completar los 18 depósitos. Una vez depositados los 18 terroncitos se espera 5 minutos para observar los cambios

respectivos en su estructura; si no existe cambio, se emerge y sumerge los terroncitos en cinco ocasiones, y luego, según su comportamiento se le asigna su respectiva clasificación de acuerdo con la tabla 2 (CIAT, 2002).

Tabla 2. Clasificación de la estabilidad estructural de los suelos

Rango de estabilidad	Criterio de clasificación de estabilidad de los suelos
0	Suelo <i>muy inestable</i> (pasa el 100% a través del cedazo).
1	<i>Nula</i> : El 50% de la integridad estructural se pierde en 5 segundos después de la inmersión en agua.
2	<i>Muy pobre</i> : El 50% de la integridad estructural se pierde entre los 5 a 30 segundos de inmersión.
3	<i>Pobre</i> : El 50% de integridad estructural se pierde entre los 30 a 300 segundos de inmersión en agua; o 10% del suelo permanece en el cedazo después de 5 ciclos de inmersión.
4	<i>Regular</i> ; 10 a 25% del suelo permanece en el cedazo después de 5 ciclos de inmersión.
5	<i>Buena</i> : 25 a 75% del suelo permanece en el cedazo después de 5 ciclos de inmersión.
6	<i>Alta</i> : 75 a 100% del suelo permanece en el cedazo después de 5 ciclos de inmersión.

Fuente: CIAT, 2002.

2.2.3. Densidad aparente de los suelos

La densidad aparente de los suelos la constituye el peso de una unidad de volumen de suelo seco con una estructura natural (Cairo, 1995). Es una propiedad que está estrechamente ligada con la compactación, la porosidad, la circulación del agua y aire en el suelo; por tanto, ésta es de gran interés para el desarrollo de los cultivos (Pritchett, 1990). Esta es posible clasificarla tomando en cuenta ciertos rangos de densidad aparente tal y como se muestra en la tabla número 3.

Tabla 3. Clasificación de la densidad aparente

Rango de la densidad aparente (g/cm ³)	Clasificación
<1.0	Muy baja
1.0 a 1.2	Baja
1.2 a 1.45	Mediana
1.45 a 1.60	Alta
>1.60	Muy alta

Fuente: Cairo, 1995.

2.2.3.1. Factores que afectan la densidad aparente de los suelos

a. Estructura: La granulación en los suelos tiende a aumentar el espacio poroso y por tanto, disminuye la densidad aparente. Cuando las condiciones estructurales son malas en los suelos, se facilitan las condiciones de compactación de los horizontes, con la consecuente reducción del espacio poroso (Pritchett, 1990).

b. Textura: La textura de los suelos es una de las propiedades que afectan directamente a la densidad aparente y está estrechamente relacionada a ella (Pritchett, 1990), tal como se refleja en la tabla 4.

Tabla 4. Densidad aparente según la textura

Textura	Densidad Aparente (g/cm ³)
Arenas	1.6 a 1.7
Francos	1.3 a 1.4
Arcillas	1.0 a 1.2
Suelos orgánicos	0.7 a 1.0

Fuente: Pritchett, 1990.

c. Compactación: A medida que los suelos se compactan, disminuye la porosidad y aumenta la densidad aparente (Pritchett, 1990).

d. Materia Orgánica: La materia orgánica influye al facilitar y elevar la granulación de la estructura de los suelos, aumentando la porosidad y disminuyendo la densidad aparente (Foth, 1985).

2.2.4. Densidad real de los suelos

La densidad real de los suelos es la relación que existe entre el peso de éste en seco (Pss) y el volumen real o sea el volumen de sus partículas (Vp). Los rangos de clasificación se muestran en la tabla número 5; usualmente ésta se expresa en g/cm³ y podemos calcularla mediante la siguiente fórmula:

$$Dr = Pss / Vp$$

Tabla 5. Clasificación de la densidad real de los suelos

Densidad real (gr/cm ³)	Clasificación
<2.40	Baja
2.40 a 2.60	Media
2.60 a 2.80	Altas
>2.80	Muy alta

Fuente: Cairo, 1995.

El conocimiento del peso específico es necesario para calcular la porosidad del suelo, primordial en la agricultura y, además da cierta orientación sobre el grado de desarrollo de los suelos; también, para conocer la relación entre la parte mineral y la orgánica, tal como se muestra en la tabla número 6.

Tabla 6. Densidad real óptima de algunos constituyentes de suelos

Componentes del suelo	Densidad real (g/cm ³)
Humus	1.3 a 1.5
Arcillas	1.2 a 2.6
Cuarzos	2.5 a 2.8
Hematitas	4.9 a 5.3

Fuente: Cairo, 1995.

2.2.5. Porosidad de los suelos

La porosidad también es llamada espacio poroso total de los suelos y se refiere a la porción de los suelos (volumen), no ocupada por partículas sólidas; este espacio poroso está ocupado por aire y por agua. El arreglo de las partículas sólidas determina

la cantidad de espacios porosos. Los suelos arenosos superficiales varían del 35 a 50% de espacio poroso total; mientras que los suelos de textura más fina tienen de 40 a 60 % (Fitz Patrick, 1987). La porosidad del suelo es posible clasificarla tomando en cuenta el porcentaje de poros, tal como se muestra en la tabla número 7.

Tabla 7. Clasificación de la porosidad para uso agrícola

Clasificación	Rango (%)
Muy bajos	<40
Bajos	40 a 45
Medios	45 a 55
Altos	55 a 65
Muy altos	>65

Fuente: Cairo, 1995.

2.2.5.1. Factores que afectan la Porosidad

a. *Textura*: los suelos de textura fina tienen una porosidad mayor que los de textura gruesa (ver tabla 8). Suelos arenosos tienen un 40%, suelos francos alcanzan un 50% mientras que los suelos de textura arcillosa alcanzan más de un 55% de porosidad (Foth, 1985).

Tabla 8. Relación entre la textura y la porosidad de los suelos

Clases de texturas	% de poros óptimo para cada clase de textura
Arenosos	40 a 43
Franco arenosos	43 a 47
Francos	47 a 50
Franco limosos	50 a 55
Franco arcillosos	55 a 58
Arcillosos	>58

Fuente: Cairo, 1995.

b. *Materia orgánica* de los suelos: la cantidad y la naturaleza de la materia orgánica influyen positivamente en la porosidad, así como en la estructura del suelo (Foth, 1985).

c. Otro factor que influye en la porosidad es la *actividad biológica* de los suelos, en especial la de la mesofauna (insectos, gusanos de tierra, entre otros) (Pritchett, 1990).

2.2.6. Resistencia mecánica de los suelos

La resistencia mecánica esta dada por la fuerza que oponen los suelos a la penetración de un objeto punzante; esta fuerza viene expresada en kg/cm². Dicha resistencia se manifiesta según el estado de la consistencia de los suelos; si los suelos están compactados la resistencia mecánica será mayor y si es friable será menor (Cairo, 1995).

El equipo utilizado para medir la resistencia mecánica del suelo se conoce como penetrómetro o compactómetro, el cual permite evaluar el estado de compactación del suelo o dureza. Para la clasificación de los resultados de la evaluación de la resistencia se utiliza la escala indicada en la tabla 9.

Tabla 9. Clasificación de la resistencia mecánica de los suelos

Rango de la Resistencia mecánica	Clasificación
>100	Suelos extremadamente densos
50 a 100	Suelos muy densos
30 a 50	Suelos densos
20 a 30	Suelos medianamente densos
10 a 20	Suelos medianamente sueltos
< 10	Suelos sueltos

Fuente: Cairo, 1995.

2.2.7. Infiltración del agua en los suelos

Es el paso del agua a través de la masa de suelo, su cantidad y velocidad estará determinada por las características del perfil del suelo y en buena medida por el espacio de macroporos (Cairo, 1995).

El equipo utilizado para medir la infiltración se conoce como cilindro de infiltración individual (Trejo et al, 1999). La clasificación de la infiltración por este método se representa en la tabla 10.

Tabla 10. Clasificación de la infiltración del agua en el suelo

Infiltración (mm)	Clasificación
> 5	Muy lenta
5 a 10	Lenta
10 a 20	Rápida
>20	Muy rápida

Fuente: Trejo et al, 1999.

2.2.8. Color de los suelos

El color de los suelos puede ser utilizado por el profano, agricultor, el ingeniero y el científico de suelos, que comprendan las causas de su variación y las puedan interpretar en términos de las propiedades de suelos (Foth, 1987).

El color de un suelo lo determina la naturaleza del material fino, así como la cantidad y el estado del hierro y/o de materia orgánica. El color rojo de los suelos tropicales y subtropicales es producido por la Hematita (Fe_2O_3). El color de los horizontes cambia de pardo a pardo oscuro y a negro a medida que aumenta el contenido de la materia orgánica, y ésta tiende a tomar un color más oscuro a medida que aumenta la humificación (Fitz Patrick, 1987).

Los colores de los suelos se miden mas convenientemente por comparaciones con la Carta de Colores de Munsell. Esta carta consiste de 175 diferentes papeles coloreados, sistemáticamente arreglados de acuerdo con las anotaciones (Ortiz, 1990).

2.2.9. Profundidad de los suelos

Edafológicamente la profundidad se refiere al espesor del suelo que existe desde la superficie hasta la roca; mientras que la profundidad efectiva se refiere al espesor del

suelo desde la superficie hasta donde se desarrolla el sistema radicular de los cultivos (Rodríguez, 2001). La clasificación de la profundidad se muestra en la tabla 11.

Tabla 11. Clasificación de la profundidad del suelo para uso agrícola

Profundidad (cm)	Clasificación
Mas de 90	Optimo
60 a 90	Bueno
40 a 60	Moderado
30 a 40	Regular
Menor de 30	Marginal

Fuente: Rodríguez, 2001.

La profundidad del suelo puede ser definida como el espesor del material edáfico favorable para la penetración de las raíces de las plantas. Suelos profundos con buen drenaje, de textura y estructura deseables son adecuados para la producción de cultivos; las plantas necesitan una profundidad favorable para el buen desarrollo de sus raíces y disponer de agua y nutrientes.

Las profundidades de las raíces pueden estar limitadas por barreras físicas y químicas, así como por niveles freáticos elevados. La profundidad del suelo puede medirse directamente en el perfil o a través de barrenaciones (Ortiz, 1990).

2.3. Propiedades químicas de los suelos

2.3.1. pH del suelo

El pH del suelo es una medida de la acidez o la alcalinidad. Por lo general, el pH se considera como una propiedad muy importante, ya que éste tiende a estar correlacionada con otras propiedades, tales como el grado de saturación de bases, la disponibilidad de nutrientes, estabilidad de agregados, actividad biológica, entre otros. La determinación de la concentración de iones de hidrógeno (H^+) en la solución del suelo, permite medir el grado de acidez o alcalinidad (Foth, 1985).

El pH se expresa de conformidad con una escala que va de 0 a 14. Se considera que un valor de pH menor que 7 es ácido y mayor de 7 es alcalino (Foth, 1985). El rango de pH óptimo para la mayoría de cultivos oscila entre 6 y 7.

Tabla 12. Clasificación del pH de los suelos

pH	Clasificación
<4.6	Extremadamente ácidos
4.6 a 5.2	Muy fuertemente ácidos
5.2 a 5.6	Fuertemente ácidos
5.6 a 6.2	Medianamente ácidos
6.2 a 6.6	Ligeramente ácidos
6.6 a 6.8	Muy ligeramente ácidos
6.8 a 7.2	Neutros
7.2 a 7.4	Muy ligeramente alcalinos
7.4 a 7.8	Ligeramente alcalinos
7.8 a 8.4	Medianamente alcalinos
8.4 a 8.8	Fuertemente alcalinos
8.8 a 9.4	Muy fuertemente alcalinos
>9.4	Extremadamente alcalinos

Fuente: Quintana, 1983.

2.3.2. Materia orgánica de los suelos

La materia orgánica es un conjunto de complejos de sustancias constituidas por restos vegetales y animales, que están sometidos a un constante proceso de transformación y síntesis. Normalmente se presentan en cantidades muy inferiores a la fracción mineral; no obstante, su papel es tan importante o mayor para la evolución y propiedades de los suelos (Fitz Patrick, 1987).

Además, la materia orgánica proporciona a los suelos una buena retención de agua, adhesividad y plasticidad, el aumento de la CIC, así como el aumento de intercambio de los iones sulfato (SO_4^-) y fósforo (P_2O_5), y favorece la regulación del pH, incrementando la disponibilidad de macro y micro nutrientes esenciales (Fitz Patrick,

1987). El contenido de materia orgánica del suelo se puede clasificar de acuerdo a la tabla 13.

Tabla 13. Clasificación de la materia orgánica de los suelos

Rango (%)	Clasificación
<2	Pobre
2 a 4	Medio
>4	Alto

Fuente: Quintana, 1983.

2.3.3. Fósforo de los suelos

El fósforo es relativamente estable en los suelos; éste no presenta compuestos inorgánicos que puedan ser volatilizados y lixiviados. Esta alta estabilidad resulta de una baja solubilidad, que a veces causa deficiencia de la disponibilidad de fósforo para las plantas, a pesar de la continua mineralización de compuestos orgánicos del suelo. El contenido de fósforo total en los suelos parece estar ligado con el contenido de materia orgánica y con su evolución pedológica (Fassbender, 1984). El contenido de fósforo se puede clasificar de acuerdo a la tabla 14.

Tabla 14. Clasificación del fósforo para uso agrícola

Rango (ppm)	Clasificación
<10	Pobre
10 a 20	Medio
>20	Alto

Fuente: Quintana, 1983.

2.3.4. Potasio de los suelos

La distribución del potasio en los suelos a escala mundial, sigue un esquema geomorfológico relacionado a la presencia y meteorización de feldespatos y micas en los materiales parentales. Los suelos arenosos formados a partir de rocas pobres en feldespato o micas serán pobres en potasio; los suelos arcillosos formados a partir de rocas ricas en minerales feldespatos y micáceos resultan ricos en potasio.

El potasio que contiene la solución del suelo representa una fracción muy pequeña del potasio total (Fassbender, 1984). El contenido de potasio en el suelo se puede clasificar de acuerdo a la tabla 15.

Tabla 15. Clasificación del potasio

Rango (meq/100g)	Clasificación
<0.2	Pobre
0.2 a 0.3	Medio
>0.3	Alto

Fuente: Quintana, 1983.

2.3.5. Capacidad de intercambio catiónico de los suelos

Se entiende por intercambio catiónico los procesos reversibles por los cuales las partículas sólidas de suelos adsorben iones de la fase acuosa y desadsorben al mismo tiempo cantidades equivalentes de otros cationes y establecen un equilibrio entre ambas fases (Fassbender, 1975). La Capacidad de Intercambio Cationico se puede clasificar de acuerdo a los rangos que aparecen en la tabla 16.

Tabla 16. Clasificación de la capacidad de intercambio catiónico

Rango (meq/100g)	Clasificación
<5	Muy bajo
5 a 15	Bajo
15 a 25	Media
25 a 40	Alta
>40	Muy alta

Fuente: Quintana, 1983.

El fenómeno de intercambio catiónico se debe a las propiedades específicas del complejo coloidal de los suelos, el cual tiene cargas electrostáticas y una gran superficie. La materia orgánica, las arcillas y los hidróxidos funcionan como cambiadores (Fassbender, 1975).

2.4. La degradación de los suelos

Se entiende por degradación de los suelos al descenso en la habilidad de los mismos para cumplir sus funciones como medio para el crecimiento de las plantas, como regulador del régimen hídrico y como filtro ambiental. Los cambios desfavorables a las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo provocan efectos negativos en su productividad y en la calidad ambiental (Arias, 1998).

2.4.1. Causa de la degradación de los suelos

Según Henríquez (1999), existen tres causas principales que ocasiona la degradación de los suelos:

a) *Cobertura inadecuada* de la superficie de los suelos, que expone los agregados de la superficie a la acción de la lluvia; como consecuencia ocurre el colapso estructural de dichos agregados, formándose costras (con espesor medio de un milímetro) que reducen drásticamente la infiltración del agua.

b) *Excesiva labranza y/o labranza con humedad inadecuada*; la labranza en exceso y de manera superficial lleva a la rotura de los agregados del suelo favoreciendo la formación de costras, escurrimiento y el transporte de partículas (erosión). La utilización de equipos inadecuados y pesados y el pase de maquinaria sobre los suelos cuando éstos presentan consistencia plástica, lleva al surgimiento de capas compactas que presentan resistencia a la penetración de las raíces de las plantas y restringen la capacidad de infiltración del agua.

c) *Pérdida de materia orgánica*; el manejo inadecuado de los suelos lleva a una reducción del contenido de materia orgánica, teniendo como consecuencia alteraciones en su densidad, en la capacidad de retención de agua y en la estabilidad de los agregados, lo cual contribuye a la pérdida de la calidad de los suelos y alteración en sus estructuras.

2.4.2. Tipos de degradación de suelos

Arias (1998), describe los siguientes tipos de degradación de suelos:

a) Erosión: la cual puede ser hídrica (causada por los efectos de la lluvia) ocasionando pérdidas de los suelos por escurrimiento en las laderas, y en la parte baja ocasiona acumulación de sedimentos; y eólica, que no es más que el desplazamiento de la capa superficial de los suelos ocasionado por la acción del viento.

b) Pérdida de nutrientes y materia orgánica: Ocurre en suelos de vocación forestal que han sido deforestado y en aquellos donde se practica una agricultura no conservacionista; en pocos años los suelos se vuelven improductivos y ácidos.

c) Salinización: Ocurre en suelos que se produce una acumulación de sales más solubles que el yeso, lo suficientemente para interferir en el crecimiento en la mayoría de cultivos y otras plantas no especializadas; estos se denominan suelos salinos. Esta es un tipo de degradación que muchas veces es inducido por el hombre; por ejemplo, la sobre irrigación con agua que tiene altos contenidos de sales, generalmente ocurre en zonas con altas temperaturas que elevan la evaporación y por tanto produce una afloración de sales.

d) Acidificación: Se define como una disminución en la capacidad de neutralización de ácido (CNA), y/o un incremento en la capacidad de neutralización de bases (CNB), y/o un incremento en la fuerza ácida (pH decrece).

e) Anegamiento: Ocurre por acción natural como por ejemplo el desbordamiento de los ríos; también, puede ser provocado por la acción humana, por una cuenca mal manejada, por la deforestación, áreas no aptas para cultivos, provocan que el cauce de los ríos se llenen de sedimentos que hacen que éstos se salgan de su cause natural.

2.4.3. Proceso de degradación de suelos

La degradación de suelos es un proceso que ocurre en etapas sucesivas. Por ejemplo, según Henríquez (1999), la degradación física de los suelos ocurre en tres etapas:

- *Primera etapa*; las características originales de los suelos son destruidas gradualmente por el uso de correctivos y fertilizantes.
- *Segunda etapa*; ocurre pérdida acentuada de la materia orgánica del suelo, con fuertes daños de la estructura (encostramiento superficial y compactación sub - superficial), que impide la infiltración del agua y la penetración de las raíces.
- *Tercera etapa*; los suelos están intensamente dañados, con gran colapso del espacio poroso causado por el uso excesivo de maquinaria.

2.5. Indicadores de calidad de suelos

2.5.1. Definición de indicadores

Los indicadores pueden definirse como herramientas para agregar y simplificar la información de naturaleza compleja de manera útil y ventajosa. Normalmente no es suficiente un solo indicador para todo un sistema, sino que se requiere un conjunto de indicadores que describan los cambios en las diferentes características de un sistema. Tampoco existen indicadores universales para todos los sistemas, sino que éstos se definen de acuerdo con las propiedades específicas del sistema bajo análisis (Muller, 1998).

Un indicador es un parámetro que se usa para medir algo. Un descriptor puede tener varios indicadores. Para cada descriptor se buscan uno o varios indicadores que miden el cambio. Un ejemplo de un descriptor es el uso de fertilizantes en relación

con la productividad agrícola y el indicador es el uso de fertilizantes por hectáreas (Trejo et al, 1999).

2.5.2. Indicadores de calidad de suelos

Un indicador de calidad de suelos es una característica que permiten definir el estado de las propiedades físicas, químicas y biológicas, que hacen que los suelos sean aptos o no para determinadas labores de producción (Trejo et al, 1999). El CIAT(2002), establece los siguientes indicadores físicos, químicos y biológicos de calidad de suelos:

a) Indicadores físicos de calidad de suelos

- Textura
- Color del suelo
- Estabilidad estructural
- Capacidad para almacenar agua útil para los cultivos
- Resistencia a la penetración
- Profundidad máxima de exploración de las raíces
- Facilidad de laboreo

b) Indicadores químicos de calidad de suelos

- pH
- Materia orgánica
- Disponibilidad de nutrientes
- Conductividad eléctrica
- Pérdida de bases

c) Indicadores biológicos de calidad de suelos

Se refieren a la presencia de mesofauna en el suelo, proceso microbiano, tasa de descomposición de la materia orgánica del suelo, biomasa microbiana, ciclo del nitrógeno y actividad enzimática.

2.5.3. Conocimiento y manejo local de los suelos

El conocimiento tradicional de los agricultores proviene de una integración intuitiva de las respuestas de los sistemas agrícolas, a través de tiempo, a factores que afectan la producción tales como el manejo, la fertilidad, el clima, las enfermedades, etc. El conocimiento de los agricultores acerca de los suelos es un recurso valioso que se está perdiendo poco a poco. El objetivo de utilizar indicadores locales de calidad de suelos es combinar lo mejor de la ciencia del suelo con el mejor conocimiento local que tienen los productores (Trejo et al, 1999).

2.5.3.1. Indicadores locales de calidad de suelos

Los indicadores locales de calidad de suelos corresponden a términos tradicionales adoptado por un grupo de productores, para describir las características del suelo, de forma que puedan entenderse entre ellos (Trejo et al, 1999).

Tabla 17. Indicadores locales agrupados según un mismo significado

Indicadores de suelos buenos	Indicadores de suelos malos
Verdolaga, quelite, chichicaste, chango, pica pica, guama	Tatascan, pino
Suelo profundo o grueso	Suelo delgado
Color negro	Colores claros, amarillos, colorados
Alta producción	Baja producción
Con manto en descomposición	Sin manto
Suelto, suave, terronosa	Tablones
Mucha penetración del arado	Poca penetración del arado
Poca piedra	Piedras grandes o muchas lajas
Poco declive	Falda
Franco	Barrialoso, mucha arena
No se aguachina	Se aguachina, se empantana, no filtra agua

Fuente: Trejo et al, 1999.

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Características generales del área de estudio

Según Fernández (2000), el municipio de Nandaime pertenece al Departamento de Granada y presenta las siguientes características geográficas y climáticas. Tiene una extensión de 372.01 km²; se ubica entre las coordenadas 11°45´ latitud norte y 86°03´ longitud oeste a una altura promedio de 140 msnm. Limita al norte con los municipios de Granada, Diría y Diriomo, al sur con los municipios de Belén, Potosí y Buenos Aires (Dpto. de Rivas), al este con el Lago Cocibolca y al oeste con los municipios de Santa Teresa y La Paz de Carazo (Carazo).

Nandaime se caracteriza por ser una zona mayoritariamente plana con una altitud promedio de 140 msnm, a excepción de las lomas Camarona y Camaroncita. El municipio se localiza en una zona de Clima Tropical Seco, con una precipitación anual que oscila entre 1200 y 1400 mm, distribuidos principalmente en una estación lluviosa que va de Mayo a Octubre. La temperatura varía entre 27 y 27.5 grados centígrados.

El río de mayor importancia que atraviesa el municipio es el Ochomogo, que además sirve como línea divisoria con el Departamento de Rivas. Otros de menor importancia y reducido caudal son los ríos Manares, Brujo, Chorrera y Medina, los cuales vierten sus aguas en el Lago de Nicaragua, frente a la Isla Zapatera. El agua subterránea del acuífero se encuentra a unos 50 m; y se estima que tiene una capacidad de flujo de 0.12 m³/segundo/km², excepto en las zonas de mayor altitud.

3.1.1. Los suelos de laderas de Nandaime

Las laderas son agroecosistemas con pendientes pronunciadas donde predomina la agricultura realizada en pequeñas fincas, con una heterogeneidad de factores biofísicos y culturales y particularidades ambientales (Días, 1996).

Los suelos presentes en las laderas de Nandaime pertenecen a las Series San Rafael, Santa Teresa y el Cráter. Según Rodríguez et. al (2003) estas Series de Suelos presentan las siguientes características.

a. Serie de suelos San Rafael (SR)

Son suelos de color rojizos y se encuentran ubicados en paisajes colinados a escarpados, en pendientes que van de 15% a más de 50%, en la parte sur del municipio en lo que se denomina la Cordillera de Brito. Estos suelos se han formado a partir de rocas sedimentarias, algunas conocidas como lajas o cascajos. Pueden ser profundos a superficiales, bien drenados, arcillosos en el suelo y subsuelo; ocupan una extensión de 88.45 km². En algunas áreas presentan piedras en la superficie y dentro del perfil. Son usados con pastos, tacotales, matorrales y bosques y en menor medida para la agricultura de subsistencia.

Los principales problemas de degradación reportados para estos suelos, están relacionados con la disminución de la cobertura vegetal causada por la agricultura migratoria, las quemas, la deforestación y el sobre pastoreo, lo cual ha favorecido la erosión, la pérdida de materia orgánica y la disminución de su fertilidad.

b. Serie de suelos Santa Teresa (ST)

Consiste de suelos de color pardo oscuro, de textura franco-arcillosa en la superficie y arcillosa en el subsuelo, son profundos a moderadamente superficiales, bien drenados. Se presentan en relieves planos, de ligera a fuertemente ondulados, colinados y escarpados, en pendientes que van de 4% a 50%. Son usados con caña de azúcar, musáceas, sorgo, maíz, frijol, arroz, entre otros; cubren una extensión de 47.60 km².

Estos suelos tienen su mayor extensión en la parte Norte de Santa Teresa, pero también se extienden hacia la ciudad de Nandaime, a ambos lados de la Carretera Panamericana. Entre los problemas de degradación identificados en estos suelos, se

relacionan con algunos factores tales como su posición en el relieve, la disminución de la cobertura vegetal, su poco peso específico y las prácticas inadecuadas de labranzas. Estos factores han traído como consecuencia el aumento de la erosión del suelo, así como la pérdida de materia orgánica y la disminución de la fertilidad natural; trayendo como consecuencia la disminución de su capacidad productiva.

c. Serie de suelos El Cráter (ER)

Estos suelos son de color pardo oscuro, de profundos a superficiales, de textura franco arenosa, bien drenados, con fragmentos de rocas volcánicas en la superficie y dentro del perfil. Se encuentran en un relieve de ligero a fuertemente ondulado con pendientes que varían entre 2% y 15%. Cubren un área de 24.78 km² y se localizan en la proximidad del Volcán Mombacho.

Los suelos de esta Serie pueden ser considerados como suelos de vocación forestal, ya que la presencia de rocas en el perfil y en la superficie no hace viable su uso para la agricultura. Los principales problemas reportados para estos suelos están relacionados con la alta cantidad de piedras, que limita su aprovechamiento para la agricultura, y la susceptibilidad a la erosión. Por otro lado, en esta zona existe una alta presión sobre la tierra para destinarla a pastos y granos básicos, que incluye el uso de las quemas, las cuales ponen en riesgo las áreas protegidas aledañas.

3.2. Metodología del estudio

Para la evaluación del estado de los suelos de laderas de Nandaime, a través de la identificación y uso de indicadores técnicos y locales de calidad de suelos se siguieron las siguientes etapas metodológicas.

3.2.1. Fase de pre - campo

En esta primera fase se desarrollaron las siguientes actividades:

- a. Se recopiló y analizó la información bibliográfica referente al tema de estudio, principalmente la “Actualización del estado del recurso suelo y capacidad de uso de la tierra en el municipio de Nandaime (Rodríguez et. al, 2003), y el Levantamiento de suelos de la Región Pacífica de Nicaragua, Volumen I, Parte 2, Descripción de Suelos (Catastro e Inventario de los Recursos Naturales de Nicaragua, 1971).
- b. A partir del análisis de problemática de las series de suelos de laderas del municipio de Nandaime, encontrada en dichos estudios, se planteó los siguientes criterios de selección de las fincas para la realización del estudio:
 - Bajos rendimientos;
 - Uso intensivo de la tierra;
 - Fuerte pisoteo por el ganado;
 - Agricultores con al menos 10 años de trabajar la tierra.
- c. Taller de motivación y capacitación sobre indicadores de calidad de suelos. Este se llevó acabo a finales de noviembre del 2003, en el cual participaron técnicos del Proyecto Sur Oeste, extensionistas del INTA, Alcaldía de Santa Teresa, Nochari y de la Asociación de Técnicos Rurales. Este taller se realizó con el objetivo de dar a conocer a promotores, campesinos y extensionistas, algunos aspectos conceptuales sobre las características de los suelos de la zona y el uso de indicadores sencillos para evaluar la calidad de los suelos.
- d. En el taller antes mencionado se ratificó la propuesta de realizar el estudio en las series de suelos antes mencionadas, y se seleccionó de manera preliminar las fincas y productores para participar en la investigación.
- e. Gira de reconocimiento para la verificación de los sitios: a inicio del mes de Marzo del 2004 se realizó una gira de reconocimiento con la participación de un técnico del PSO; se visitó a los agricultores preseleccionados para constatar si cumplían con los requisitos preestablecidos y conocer su anuencia a participar en el

estudio. Como resultado se obtuvo la lista definitiva de los productores en cuyas fincas se hizo la evaluación de los indicadores de calidad de suelos.

3.2.2. Fase de campo

En esta fase se realizaron todas las actividades relacionadas al levantamiento de la información de campo, que consistió básicamente en la evaluación de las propiedades de los suelos con el uso de métodos sencillos.

En cada finca se seleccionaron tres parcelas con usos distintos: cultivo, pasto y bosque (estas parcelas fueron seleccionadas como comparadores entre sí); en cada parcela se evaluaron las características físicas, químicas y biológicas de los suelo.

3.2.2.1. Evaluación de indicadores de calidad de suelos

Los indicadores evaluados en cada una de las parcelas se muestran en la tabla 18.

Tabla 18. Indicadores de calidad de suelo evaluados en campo.

Indicadores de calidad de suelo	Método empleado en campo
Estabilidad estructural	Caja de estabilidad
Resistencia mecánica	Penetrómetro
Infiltración	Anillo de infiltración individual
Pendiente	Clinómetro de bolsillo
Mesofauna del suelo	Método del pie cuadrado

3.2.2.2. Toma de muestras de suelos

Con el objetivo de evaluar otros indicadores de calidad de suelos no evaluados en campo, se hizo un muestreo de suelos. Con el uso de un barreno se extrajo la muestra de suelos a una profundidad de 20 cm. Se tomaron muestras de suelos en cada uno de las parcelas; las muestras tomadas se llevaron al Laboratorio de Suelos

y Agua de la Universidad Nacional Agraria, donde se realizaron los análisis correspondientes (ver tabla 19).

Tabla 19. Indicadores de calidad de suelo evaluados en el laboratorio

Indicadores de calidad de suelos	Métodos usados en el laboratorio
Textura	Hidrómetro de Bouyoucos
Densidad aparente	Gravimétrico (Cilindro de 100 cm ³)
Densidad real	Picnómetro
Materia orgánica.	Walkley Black
pH.	pHachímetro de electrodo
Fósforo (P)	Olsen modificado
Potasio (K)	Olsen modificado
CIC	Kjeldhal
Saturación de base	Kjeldhal

3.2.2.3. Entrevistas semi-estructuradas con los dueños de las fincas

Paralelo a la evaluación de indicadores de calidad de suelos, se realizó una entrevista semi-estructurada (ver anexo formato de entrevista) con los productores dueños de cada una de las fincas, con el objetivo de recabar información sobre indicadores locales de calidad de suelos y averiguar problemas socioeconómicos y productivos que contribuyan a complementar y explicar la información obtenida acerca de los indicadores de calidad de suelos.

3.2.3. Fase de post-campo

En esta fase se hicieron las siguientes actividades.

a) Organización de la información

Una vez finalizadas las actividades de campo se procedió a organizar la información obtenida de la evaluación de las propiedades físicas, químicas y biológicas de suelos, la organización de los resultados de las entrevistas con los productores y la organización e interpretación de los resultados de laboratorio.

b) Análisis de los resultados

Para el procesamiento y el análisis de los datos obtenidos se hizo la triangulación de la información de campo y laboratorio; además, se utilizó el método de estadística descriptiva para auxiliar la interpretación de los datos.

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Características y propiedades físico-químicas de los suelos de las series ubicadas en las laderas de Nandaime

En este acápite se presentan las propiedades físicas y químicas de las series de suelos San Rafael, Santa Teresa y El Cráter, obtenidas a partir de la evaluación de los indicadores locales de calidad de suelos y los análisis de laboratorio, las cuales se detallan a continuación.

4.1.1. Serie San Rafael

En esta serie se estudiaron cuatro fincas ubicadas en las comunidades La Vigía, Nandarola, La Zorra y Ojo de Agua. La primera finca pertenece al señor Alberto Sandino; esta tiene una extensión de 40 Mz; 10 de ellas destinadas a la agricultura (cultivos de maíz y frijol), 25 Mz con pastos y 5 ocupadas con bosque. Los rendimientos en el cultivo del maíz, en los últimos tres años, fueron de 8 a 10 qq/Mz y en el cultivo del frijol de 2 a 5 qq/Mz. La labranza que se utiliza es la manual con espeque.

La segunda finca pertenece al señor Siriaco Antonio Blas. Esta finca tiene una extensión de 8 Mz, de las cuales 4 son utilizadas para la agricultura (cultivos de maíz, frijol y sorgo), 2 empleadas como área de potrero y 2 ocupadas con y musáceas y árboles dispersos. Los rendimientos observados en los últimos tres años para el cultivo de maíz son de 8 a 9 qq/Mz, en frijol de 2 a 6 qq/Mz y en sorgo de 4 a 20 qq/Mz. La labranza utilizada es con arado con bueyes.

La tercera finca pertenece al señor Marlon Medrano. Esta finca tiene una extensión de 31 Mz de las cuales 4 son utilizadas para la agricultura (maíz, frijol y trigo), 17 para potrero y 10 ocupadas con bosque. Los rendimientos reportados en los últimos tres años para el cultivo del maíz son de 15 a 20 qq/Mz, en frijol de 6 a 8 qq/Mz y en sorgo los rendimientos son de 20 a 25 qq/Mz. La labranza utilizada es con tracción animal (arado con bueyes).

La cuarta finca corresponde a la Cooperativa Germán Pomares, la cual está compuesta por 8 lotes con una extensión total de 2,229 Mz. Una parte de estas tierras se dedica a la agricultura con cultivos de maíz, frijol y sorgo; se reportan rendimientos en los últimos tres años de 12 a 16 qq/Mz para el cultivo del frijol y de 16 a 35 qq/Mz para el caso del sorgo. La labranza que se utiliza es con tracción animal (arado de bueyes). Otra parte de las tierras está ocupada por bosque y pastos con tacotal, donde se realiza el pastoreo del ganado.

Las propiedades físicas y químicas de los suelos de esta serie, tales como profundidad, textura, color, estabilidad estructural, resistencia mecánica, porosidad, densidad aparente, infiltración, pH, materia orgánica, fósforo, potasio y capacidad de intercambio catiónico, se describen a continuación.

4.1.1.1. Propiedades físicas de los suelos de la Serie San Rafael

a. Profundidad

La profundidad de los suelos en las parcelas con cultivo y bosque (ver tabla 20) es considerada como buena, lo cual coincide con los datos reportados por Catastro (1971); sin embargo, se observan evidencias de una disminución del espesor de los suelos, principalmente en las parcelas con pasto.

Esto se relaciona con la evolución histórica del uso y manejo de los suelos; una vez que las parcelas de cultivo se han erosionado y se ve reducida su capacidad productiva, éstas son destinados a la ganadería, agudizándose aun más el deterioro de las propiedades físico - químicas de los suelos, ya que el sobre pastoreo causa compactación, favoreciendo aun más la erosión de los mismos. El mal manejo a que ha estado sometido este recurso, el uso inadecuado de la labranza (mecanizada en las partes bajas y con arado de bueyes en áreas con mayor pendiente) y la disminución de la cobertura vegetal, ha favorecido el arrastre de la capa superficial del suelo por erosión.

Tabla 20. Propiedades físicas de los suelos en parcelas con cultivo, pasto y bosque en la serie San Rafael

Parcela	Pend. (%)	Prof. (cm)	Infiltración (mm/h)	Color	Estabilidad agregados		Prof. (cm)	Densidad (g/cm ³)		Porosidad (%)	Resist. Mecánica (golpes)	Textura
					sup.	sub.		Da	Dr			
Finca del Sr. Alberto Sandino												
Cultivo	3	70	36.58	Pardo	6	6	0-10	1.27	2.08	39	47	Arcillosa
							10-20				96	
							20-30				--	
Pasto	20	15-20	3.22	Pardo muy claro	6	6	0-10	1.17	2.05	43	62	Arcillosa
							10-20				114	
							20-30				--	
Bosque	5	>80	84.64	Pardo	6	6	0-10	1.26	2.74	55	60	Arcillosa
							10-20				61	
							20-30				--	
Finca del Sr. Ciriaco Antonio Blas												
Cultivo	5	< a 70	7.3	Pardo oscuro	6	5	0-10	1.14	2.35	52	60	Arcillosa
							10-20				105	
							20-30				--	
Pasto	4	50	0.92	Negro	6	5	0-10	1.16	2.30	50	34	Franco Arcillosa
							10-20				78	
							20-30				--	
Árboles Disper.	5	> a 70	50.37	Pardo oscuro	6	6	0-10	1.33	2.30	43	26	Arcillosa
							10-20				55	
							20-30				--	
Finca del Sr. Marlon Medrano												
Cultivo	3	< a 70	1.04	Pardo claro	6	6	0-10	1.18	2.18	46	86	Franco Arcilloso
							10-20				117	
							20-30				--	
Pasto	35	10 a 20	50.42	Pardo claro	6	6	0-10	1.13	2.45	54	34	Arcillosa
							10-20				28	
							20-30				--	
Bosque	2	60 a 70	39.03	Pardo muy oscuro	6	6	0-10	1.04	2.26	54	23	Arcillosa
							10-20				84	
							20-30				--	
Cooperativa Germán Pomares												
Cultivo	4	70 a 80	43.88	Pardo claro	6	6	0-10	1.00	2.28	57	80	Arcillosa
							10-20				94	
							20-30				--	
Pasto	10	< a 70	1.29	Pardo claro	6	6	0-10	1.11	2.26	51	62	Arcillosa
							10-20				51	
							20-30				--	
Bosque	40	> a 80	13.94	Pardo	6	6	0-10	1.00	2.22	55	34	Franco Arcillosa
							10-20				84	
							20-30				--	

b. Textura

La textura de los suelos de las parcelas estudiadas presentan una textura arcillosa a franco arcillosa (ver tabla 20), lo cual coincide con los datos reportados por Catastro (1971). Esta textura le confiere a los suelos ciertas ventajas, en lo referente a una mayor estabilidad estructural y capacidad de intercambio de cationes.

c. Color

El color de la capa superficial de estos suelos varía de pardo oscuro, pardo, pardo claro a pardo muy claro, lo cual difiere un poco a lo reportado por Catastro (1971), puesto que en este aparecen coloraciones oscuras, quizás debido a un mayor contenido de materia orgánica (que confiere un color más oscuro al suelo). La erosión ha eliminado el horizonte superficial oscuro (horizonte A), quedando al descubierto el horizonte sub-superficial (horizonte B) con las coloraciones pardo claro a pardo rojizo.

d. Estabilidad estructural

De manera general, las parcelas con cultivo, pasto y bosque evaluadas en la Serie San Rafael presentan una estabilidad estructural de buena a alta (ver tabla 20), lo cual está relacionado con el efecto agregante que ejercen las partículas de arcilla y materia orgánica sobre las partículas de suelos, lo cual hace que los agregados permanezcan estables.

e. Resistencia mecánica

A los 10 centímetros de profundidad en las parcelas con cultivos el suelo es muy denso, debido a la presencia de arcilla y la compactación causada por la labranza inadecuada; además, esto se ve acentuado por la poca presencia de organismos benéficos tales como las lombrices de tierra, que realizan un efecto de soltura del

suelo. Mientras que a los 20 centímetros de profundidad el suelo es extremadamente denso, formándose en esta parte lo que se conoce como pie de arado, que no es más que una capa compactada debido a la labranza excesiva.

Algo similar ocurre en las parcelas con pasto y bosque, donde el suelo es denso; pero en este caso la compactación se debe, además de la presencia de arcilla, al pisoteo animal o sobrepastoreo, principalmente cuando el suelo está muy húmedo.

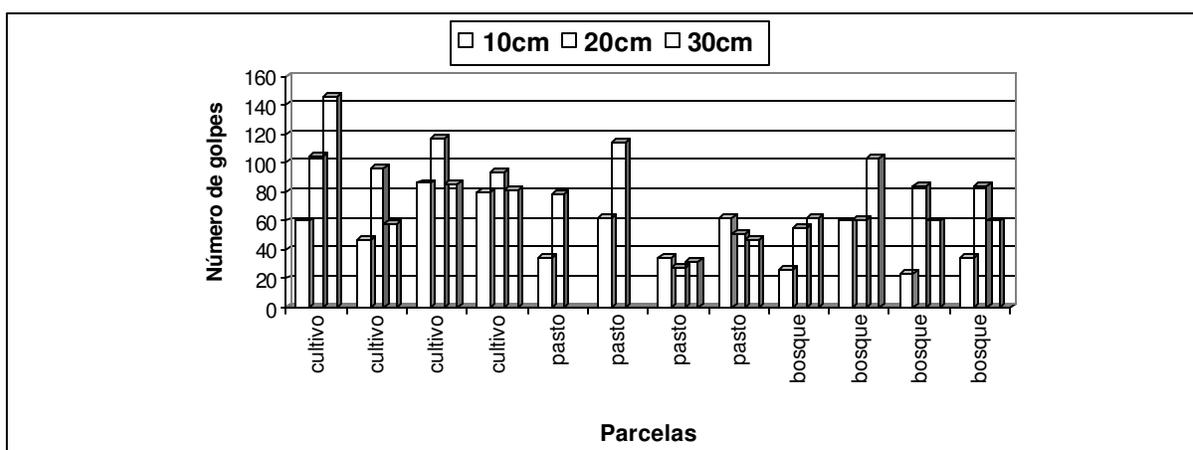


Figura 2. Comportamiento de la resistencia mecánica en los suelos de la serie San Rafael

f. Porosidad

En las parcelas con cultivo la porosidad varía desde muy baja a alta (con valores desde 38 hasta 56 %), mientras que en las parcelas con pasto la porosidad va de baja a media (con valores entre 43 y 54 %); los valores bajos están relacionados a la compactación causada por el efecto agregante de la arcilla, la labranza inadecuada y el pisoteo del ganado, lo cual hace que se disminuya el volumen de poros.

En cambio en las parcelas con bosque la porosidad va de media a alta, debido al efecto favorable que sobre esta propiedad ejercen la materia orgánica, la mesofauna del suelo y las raíces de las plantas.

g. Densidad aparente

La densidad aparente de las parcelas estudiadas se clasifica entre baja y media; según Pritchett (1990), los suelos arcillosos presentan densidad aparente entre 1.0 y 1.2 g/cm³. Sin embargo, tal como señala Rodríguez (2003), es de esperarse que estos suelos presenten valores bajos de densidad aparente debido a que éstos se han formado a partir de materiales volcánicos que tienen bajo peso específico.

No obstante, en algunas parcelas la densidad aparente tiende a aumentar, debido a la compactación causada por el pisoteo del ganado y la labranza inadecuada.

h. Comportamiento de la densidad aparente con respecto a la materia orgánica

En la figura 3 es posible observar la relación entre el contenido de materia y el valor de la densidad aparente en los suelos de las parcelas con cultivo, pasto y bosque; de manera general, a medida que el contenido de materia orgánica se incrementa, el valor de la densidad aparente disminuye; mientras que si la materia orgánica disminuye aumenta la densidad aparente. Lo anterior, se debe a que la materia orgánica favorece la estructura del suelo, lo cual hace que aumente la porosidad y por ende el volumen del suelo, dando como resultado una disminución en la densidad aparente.

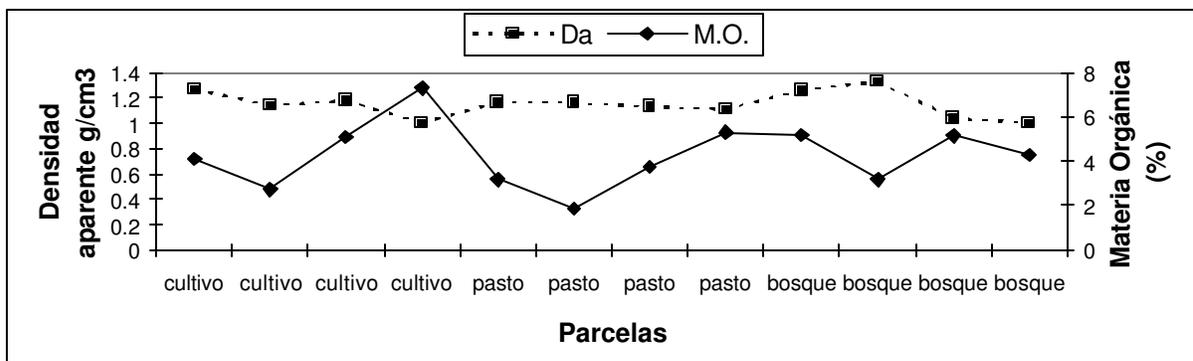


Figura 3. Comportamiento de la densidad aparente con respecto a la materia orgánica en la serie de suelo San Rafael

Según Foth (1985), la materia orgánica del suelo provoca una elevación en la granulación de la estructura de los suelos, aumentando la porosidad y disminuyendo la densidad aparente. En este sentido, a mayor profundidad la densidad aparente será mayor, debido a la disminución en el contenido de materia orgánica del suelo.

i. Infiltración

En tres de las parcelas con cultivo la infiltración es rápida (tabla 20) lo cual tiende a indicar que en estos suelos el agua penetra con facilidad. No obstante, hay que mencionar que en los periodos secos los suelos arcillosos tienden a formarse pequeñas grietas, que facilitan la circulación del agua con mayor rapidez, por tanto, este comportamiento de la infiltración debe tomarse con precaución, sin embargo en una de las parcelas con cultivo la infiltración es muy lenta; esto coincide con un alto grado de compactación en estos suelos, que restringe la penetración del agua.

Por otro lado, en los suelos de las parcelas con pasto predomina una infiltración lenta a muy lenta, lo cual está relacionado con la textura arcillosa de estos suelos (puesto que en estos tienden a predominar los poros finos que dificultan la circulación del agua) y a la compactación causada por el sobrepastoreo.

Mientras que en las parcelas con bosque la infiltración es muy rápida; lo cual está relacionado con el alto contenido de materia orgánica que tienen estos suelos, que permiten la formación de agregados y con ello espacio poroso por donde circula el agua con facilidad. Además, la materia orgánica brinda las condiciones para que dentro del suelo existan insectos benéficos tales como las lombrices de tierra, hormigas, escarabajos, así como las raíces de las plantas, que forman galerías por donde puede circular el agua. Estos resultados los podemos apreciar con mayor claridad en la figura 4, pues a diferencia de las parcelas de cultivo y pasto las parcelas de bosques presentan una lamina de agua acumulada mayor.

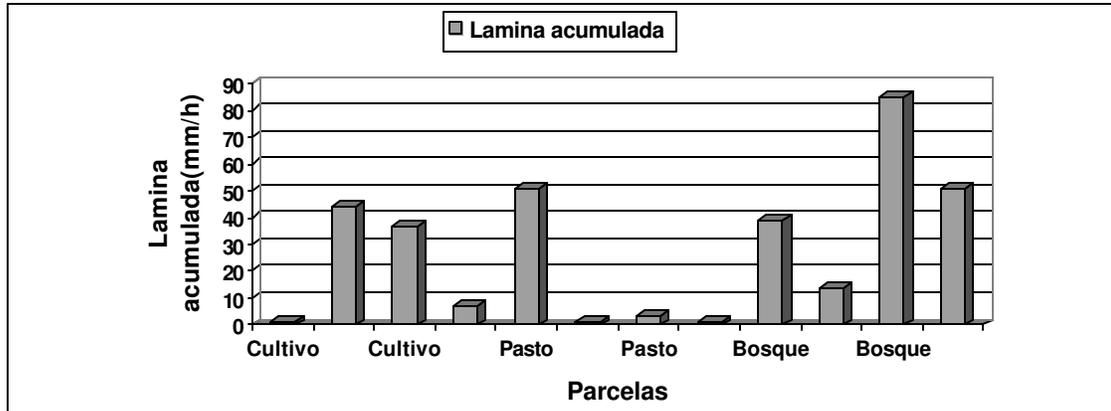


Figura 4. Comportamiento de la infiltración en la serie de suelos San Rafael

4.1.1.2. Características Químicas

En la tabla 21 se resumen las características químicas de los suelos de las parcelas con cultivo, pasto y bosque de las 4 fincas estudiadas en esta serie.

Tabla 21. Características químicas de los suelos de las parcelas con cultivo, pasto y bosque en la serie San Rafael.

Parcelas	pH (H ₂ O)	M.O. (%)	P (ppm)	K (meq/100g)	CIC (meq/100g)
Finca del Sr. Alberto Sandino					
Cultivo	7.16	4.10	7.72	0.10	46.74
Pasto	7.11	3.16	7.06	0.05	40.79
Bosque	6.80	5.18	7.76	0.05	43.73
Finca del Sr. Ciriaco Antonio Blas					
Cultivo	6.73	2.74	4.35	0.49	26.04
Pasto	6.63	1.87	7.13	ND	21.24
Árboles disp.	6.39	3.16	5.90	0.05	29.47
Finca del Sr. Marlon Medrano					
Cultivo	6.73	5.09	81.38	0.49	25
Pasto	6.61	3.75	0.73	0.15	29.29
Bosque	6.99	5.15	8.22	0.69	33.85
Cooperativa Germán Pomares					
Cultivo	6.48	7.30	14.60	0.15	26.36
Pasto/ árboles	6.71	5.29	11.25	0.33	19.37
Bosque	6.62	4.28	5.79	0.10	32.10

a. pH

En las parcelas estudiadas el pH se clasifica como muy ligeramente ácido a neutro, lo cual se considera como óptimo para la mayoría de cultivos de la zona.

b. Materia Orgánica

En las parcelas con cultivo el contenido de materia orgánica es alto (4.1 a 7.3), excepto en una parcela donde éste se clasifica como medio (2.7). Los valores altos de materia orgánica están relacionados a que estas parcelas mantienen parte de su contenido, puesto que han sido sometidas a cultivo recientemente y a que los productores incorporan los residuos de la cosecha.

En las parcelas con pasto el contenido de materia orgánica oscila entre pobre y alto (1.87 a 5.29). Los valores pobre y medios se debe a que en estos suelos se ha perdido por erosión la capa superficial rica en materia orgánica; a demás el sobrepastoreo restringe el aporte de materia orgánica al suelo y favorece una rápida mineralización de la misma. Sin embargo, en una de las parcelas de pasto el contenido es alto, debido a que los productores utilizan sistemas silvopastoriles donde se entremezcla pasto con arboles, que aportan materia orgánica al suelo.

Mientras que en las parcelas con bosque el contenido de materia orgánica es alto, debido al aporte de residuos orgánicos tales como la hojarasca, raíces, la micro y mesofauna del suelo. Según Fassbender (1984), el contenido de materia orgánica de los suelos está influenciado por la vegetación, el pH, la microbiología del suelo, las características físico-químicos del suelo y otros factores como el tipo y duración de la explotación del suelo.

c. Fósforo

En la mayoría de las parcelas con cultivo, pasto y bosque el contenido de fósforo es pobre, lo cual coincide con lo reportado por Catastro (1971) donde se reporta que el contenido de fósforo es deficiente.

No obstante, en una de las parcelas con cultivo el contenido de P es alto, quizás debido al uso de fertilizantes inorgánicos que tienen alto contenido de este elemento. Según Pavón (1996), la aplicación de fertilizantes inorgánicos incrementa la cantidad de fósforo en la solución del suelo; es importante recalcar que el fósforo es un elemento poco móvil en el suelo y por tanto éste tiende a acumularse en el mismo.

d. Potasio

El contenido de potasio en las parcelas con cultivo y bosque es medio y alto. Mientras que en las parcelas de pasto el contenido es pobre; esto último difiere de lo reportado por Catastro (1971), ya que en éste aparece que el contenido de potasio en estos suelos es medio. La disminución de este elemento se debe principalmente a las pérdidas por lixiviación (el potasio es altamente móvil en el suelo) y a la erosión que arrastra partículas de suelos cargadas con este elemento.

e. Capacidad de Intercambio Catiónico (CIC)

La capacidad de intercambio catiónico en las parcelas con cultivo es alta; mientras que en las parcelas con pasto y bosque está entre media y alta. Estos valores de la CIC están influenciados por el contenido de arcilla y materia orgánica que presentan estos suelos, ya que tanto el humus como las partículas de arcilla tienen la capacidad de intercambiar cationes. Tal como se observa en la figura 5, la CIC guarda relación con el contenido de materia orgánica; los suelos que tienen mayor cantidad de materia orgánica presentan valores más altos de CIC, y viceversa.

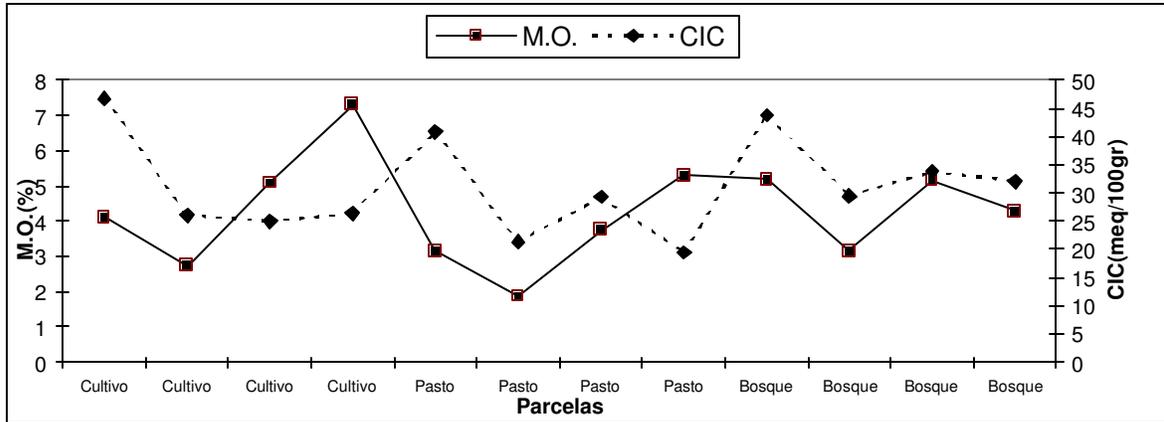


Figura 5. Comportamiento de la capacidad de intercambio catiónico con respecto a la materia orgánica en la serie de suelos San Rafael.

4.1.2. Serie Santa Teresa

En esta serie se estudiaron dos fincas ubicadas en las comunidades Monte Grande y Los Aburto; en ambas fincas se evaluaron tres parcelas con diferentes usos (cultivo, pasto y bosque). La primera finca pertenece al señor Francisco Cerda, la cual tiene una extensión de 60 Mz; 40 de ellas destinadas a la agricultura (con cultivos de maíz, frijol y sorgo), 17 Mz son usadas como área de pastoreo y 3 mz están ocupadas con arboles dispersos o tacotal. Los rendimientos en el cultivo de maíz en los últimos tres años fueron de 20 a 30 qq/Mz, en el cultivo del frijol de 20 a 25 qq/Mz y en sorgo de 70 a 90 qq/Mz. La labranza utilizada es mecanizada combinada con la de tracción animal (arado de bueyes).

La segunda finca pertenece a la señora Norma Molina; esta tiene una extensión de 20 Mz, de las cuales 15 son empleadas en la agricultura (con cultivo de maíz, yuca, frijol y sorgo), 3 mz como área de pastoreo y 2 mz de café con arboles. Los rendimientos en el cultivo del maíz en los últimos tres años fueron de 20 a 30 qq/Mz y en el cultivo del frijol de 8 a 12 qq/Mz. La labranza utilizada es mecanizada combinada con la tracción animal (arado de bueyes).

Los resultados de la evaluación de los indicadores de calidad de suelos (textura, estabilidad estructural, resistencia mecánica, infiltración, profundidad, pH, materia orgánica, fósforo disponible, potasio disponible y capacidad de intercambio catiónico) realizadas en campo y en el laboratorio, de los suelos de estas dos fincas se describen a continuación.

4.1.2.1. Características y propiedades Físicas

En la tabla número 22 se detalla las características y propiedades físicas de los suelos de las parcelas con cultivo, pasto y árboles de las fincas estudiadas en la Serie Santa Teresa.

Tabla 22. Características físicas de los suelos de parcelas con cultivo, pasto y árboles en la serie Santa Teresa.

Parcela	Pend. (%)	Prof. (cm)	Infiltración (mm/h)	Color seco	Estabilidad		Prof. (cm)	Da (g/cm ³)		Poros %	Resist. mecánica (golpes)	Textura
					Sup	Sub		Da	Dr			
Finca del Sr. Francisco Cerda												
Cultivo	15	80	6.41	Pardo	5	6	0-10	1.34	2.15	38	78	Arcillosa
							10-20				153	
							20-30	--	--		-	
Pasto	27	> 30	20.25	Pardo	6	6	0-10	1.08	2.29	53	39	Arcillosa
							10-20				45	
							20-30	--	--		67	
Arboles disper.	3	> 80	23.7	Pardo	6	6	0-10	1.01	2.30	57	37	Arcillosa
							10-20				190	
							20-30	--	--		-	
Finca de la Sra. Norma Molina												
Cultivo	5	> 80	5.69	Pardo oscuro	2	3	0-10	0.91	2.34	62	42	Arcillosa
							10-20				164	
							20-30	--	--		171	
Pasto	20	10 a 20	3.85	Pardo rojizo oscuro	6	6	0-10	1.11	2.25	51	102	Arcillosa
							10-20				88	
							20-30	--	--		-	
Bosque	18	> 80	48.46	Pardo rojizo oscuro	6	6	0-10	0.84	2.41	66	27	Franco Arcillosa
							10-20				21	
							20-30	--	--		30	

a. Profundidad

La profundidad del suelo en las dos parcelas con cultivo es buena; sin embargo, Catastro (1971), señala que estos suelos son profundos, por lo que es posible afirmar que estos suelos han perdido parte de su horizonte superficial debido a la erosión, favorecida por la poca cobertura y el uso inadecuado de la labranza.

No obstante, la profundidad de los suelos en las parcelas de pasto es considerada marginal; esto se debe a que la falta de cobertura vegetal favorece el arrastre del suelo por la escorrentía superficial y el viento. Mientras que la profundidad de los suelos en parcelas con árboles es considerada óptima, debido principalmente al efecto benéfico de la vegetación y la materia orgánica en mantener unidas las partículas de suelo y protegidas contra la erosión.

b. Textura

Los suelos de las parcelas con cultivo y pasto son arcillosos (ver tabla 22); mientras que, en las parcelas con bosque presentan textura arcillosa y franco arcillosa; estos datos difieren a lo descrito por Catastro (1971), el cual los clasifica como franco arcillosos. Este cambio en la textura, probablemente obedezca a la disminución del horizonte superficial del suelo debido a la erosión, favorecida por la escasa cobertura vegetal y el uso inadecuado de la labranza.

c. Color

El color de los suelos de esta serie varía de pardo a pardo oscuro y pardo rojizo, lo cual coincide con lo reportado por Catastro (1971). Esta coloración está relacionada con la materia orgánica (de color oscuro) y el material parental del cual se originaron estos suelos, ya que estos materiales son ricos en óxido de hierro que son de color rojizo.

d. Estabilidad Estructural

En una de las parcelas con cultivo evaluadas la estabilidad estructural es buena; mientras que en la otra parcela la estabilidad es muy pobre. En vista que ambas parcelas tienen similares condiciones de textura y materia orgánica, la estabilidad pobre se explica por el debilitamiento de la estructura del suelo causado por la labranza y la lluvia.

Las parcelas con pasto y bosque presentan una estabilidad estructural alta, debido al efecto agregante que ejercen la arcilla, la materia orgánica y las raíces de las plantas.

e. Resistencia mecánica

De la superficie del suelo hasta los 10 cm de profundidad, los suelos de las parcelas con cultivo son muy densos (ver figura 6); mientras que de los 10 a los 20 centímetros estos son extremadamente densos, encontrándose en esta capa lo que se denomina pie de arado. Esto indica que los suelos están fuertemente compactados debido a la labranza inadecuada, principalmente cuando el suelo está muy húmedo.

De la superficie a los 20 cm profundidad el suelo es denso en una de las parcelas con pasto y extremadamente denso en la otra parcela; esto se debe principalmente a la compactación que sufren estos suelos, causada principalmente por el pisoteo del ganado.

En los primeros 20 cm de profundidad en la parcela de café con árboles el suelo es medianamente denso, lo cual difiere con los datos obtenidos en las parcelas con pasto y cultivo; al parecer, la materia orgánica y la actividad biológica influyen en que el suelo tenga una mejor estructura y menos compactación. En cambio, en la parcela con árboles dispersos, el suelo es denso en los primeros 10 cm y extremadamente denso de los 10 a los 20 cm de profundidad; esto se debe a que en la época seca el ganado permanece en esta área, provocando la compactación del suelo.

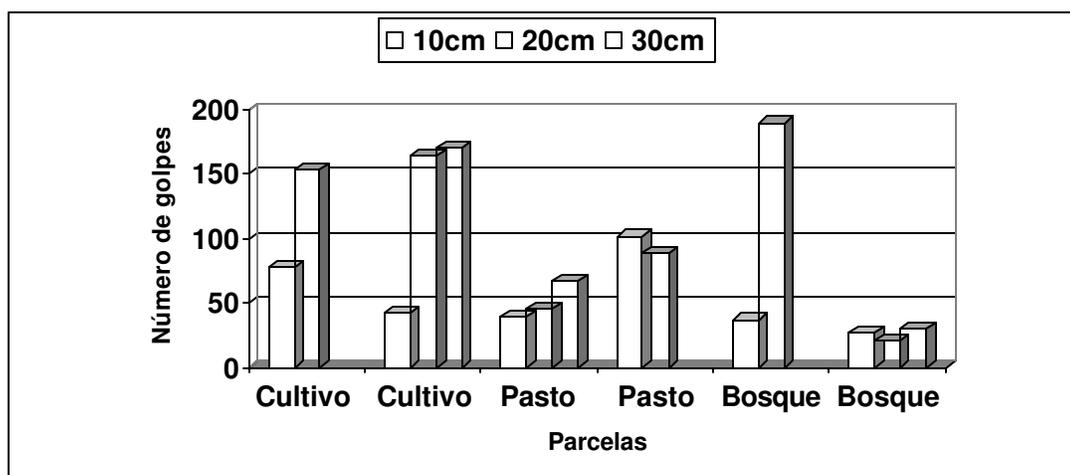


Figura 6. Comportamiento de la resistencia mecánica en suelos de la serie Santa Teresa.

f. Porosidad

La porosidad del suelo en las parcelas con cultivo y pasto se encuentran entre las categorías de muy baja a media; este comportamiento de la porosidad se debe al efecto de reducción de poros originado por el pisoteo animal y el uso excesivo de labranza mecanizada. Una baja porosidad del suelo restringe la infiltración y la circulación del agua y del aire, además de afectar el desarrollo normal de las plantas.

En contraste con estos resultados, se encontró que la porosidad del suelo en las parcelas de bosque varía de alta a muy alta; la materia orgánica contribuye a mejorar la estructura y la porosidad del suelo, haciendo más fácil la infiltración del agua y la circulación del aire, así como la penetración de las raíces de las plantas. La meso-fauna del suelo también ayudan a mejorar la porosidad no solo porque descomponen la materia orgánica, sino porque remueve la tierra cuando construyen sus túneles, dejando el suelo más suelto.

g. Densidad aparente

La densidad aparente en los suelos de esta serie oscila entre media y muy baja, lo cual está relacionado con la textura y el origen de estos suelos. Según Pritchett (1990), los suelos arcillosos presentan densidades aparentes bajas; por otro lado, Rodríguez (2003) indica que los suelos originados de materiales volcánicos tienen bajo peso específico, lo cual incide en el valor de la densidad aparente.

h. Comportamiento de la densidad aparente con respecto a la materia orgánica

Al igual que en la serie San Rafael, en estos suelos también existe una relación estrecha entre el comportamiento de la densidad aparente y la materia orgánica, tal como se observa en la figura 7.

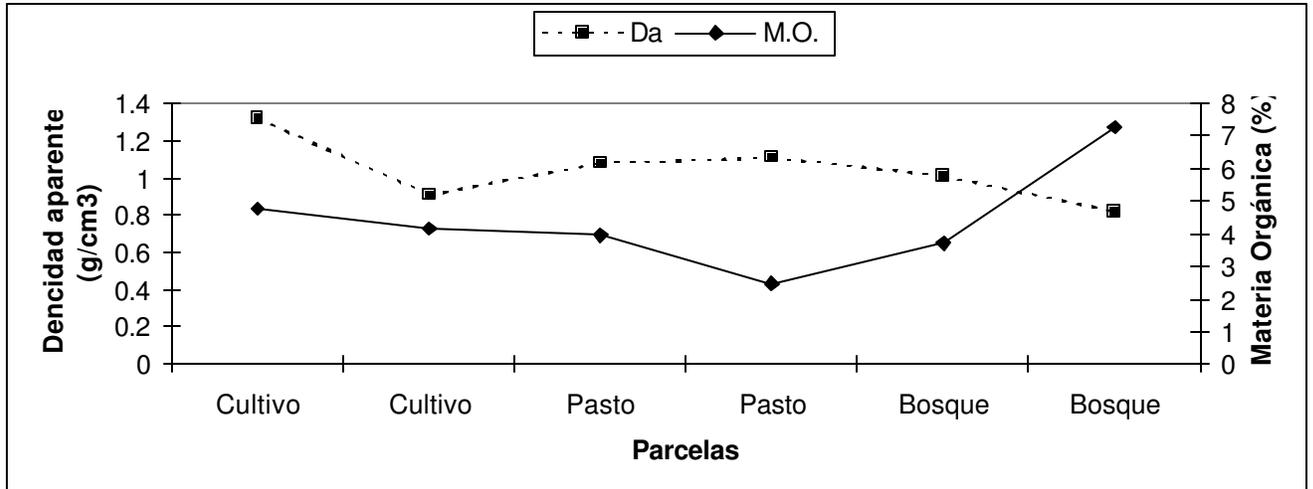


Figura 7. Comportamiento de la densidad aparente con respecto a la materia orgánica en la serie de suelos Santa Teresa.

i. Infiltración

La infiltración en las parcelas con cultivo es lenta, debido a la compactación y textura arcillosa que presentan estos suelos. En los suelos arcillosos por el tamaño pequeño de las partículas que lo componen se forman micro-poros que dificultan la infiltración del agua.

La infiltración en las parcelas con pasto varía; en una de ellas es muy lenta por las causas antes señaladas, pero en la otra es muy rápida debido a que el suelo presenta pequeñas grietas por donde circula el agua con facilidad. Mientras que en las parcelas con árboles la infiltración es muy rápida, debido al efecto benéfico de la materia orgánica en la mejora de la estructura y porosidad del suelo.

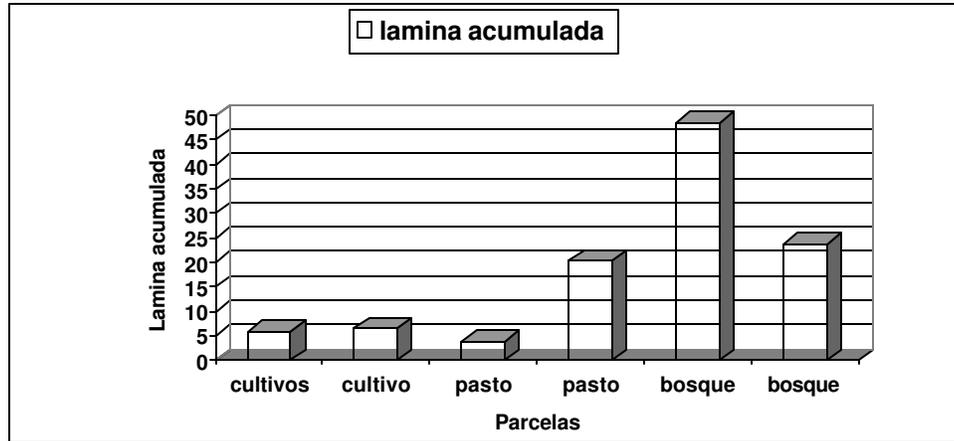


Figura 8 Comportamiento de la infiltración en la serie de suelos Santa Teresa

4.1.1.2. Características Químicas

En la tabla 23 se detallan las características químicas de los suelos de las parcelas con cultivo, pasto y árboles de las fincas estudiadas en la Serie Santa Teresa.

Tabla 23. Características químicas de los suelos de las parcelas con cultivo, pasto y árboles en la Serie Santa Teresa

Parcela	pH (H ₂ O)	M.O. (%)	P (ppm)	K (meq/100g)	CIC (meq/100g)
Finca del Sr. Francisco Cerda					
Cultivo	6.20	4.78	20.55	0.33	28.20
Pasto	6.47	3.97	ND	0.23	25.89
Arboles	6.48	3.70	3.72	0.20	24.34
Finca de la Sra. Norma Molina					
Cultivo	6.41	4.17	0.29	0.10	26.04
Pasto	6.57	2.47	ND	0.28	19.52
Arboles	6.81	7.27	6.22	0.15	29.35

a. pH

El pH de estos suelos es ligeramente ácido, el cual se considera satisfactorio para la mayoría de los cultivos de la zona.

b. Materia Orgánica

El contenido de materia orgánica en las parcelas con cultivo y en la parcela de café con árboles es alto; mientras que en las parcelas con pasto y en una parcela con arboles dispersos el contenido es medio, lo cual difiere de lo reportado por Catastro (1971), puesto que éste señala un contenido moderadamente alto de materia orgánica para estos suelos. Esta disminución de la materia orgánica está relacionada a la disminución de la cobertura vegetal, las quemadas, el sobrepastoreo y la excesiva labranza.

c. Fósforo

El contenido de fósforo en una de las parcelas con cultivo y en las parcelas con árboles es pobre, mientras que en las parcelas con pasto el P no fue detectado; esto coincide con lo reportado por Catastro (1971), ya que éste señala que el contenido de fósforo en estos suelos es deficiente. Sin embargo, en una de las parcelas con cultivo el contenido de P es alto, lo cual puede estar relacionado con el uso de fertilizante en esta parcela; según Pavón (1996), los fertilizantes fosfóricos juegan un papel importante en el contenido de fósforo disponible, debido a su poca movilidad en la solución del suelo.

d. Potasio

El contenido de potasio en una de las parcelas con cultivo es alto, debido a que se hace un mayor uso de fertilizante; mientras que en la otra parcela el contenido es pobre, lo cual es inferior a lo reportado por Catastro (1971) ya que este los clasifica como suelos medios en K. Por otro lado, el contenido de K en las parcelas con pasto es medio. La disminución del potasio disponible en el suelo posiblemente esté relacionada a las pérdidas por lixiviación y la erosión; según Pavón (1996) el potasio es el segundo elemento más móvil en el suelo, después del nitrógeno. Además,

Salmerón (1994), señala que la velocidad de liberación del potasio para su utilización por las plantas en los suelos originarios de cenizas volcánicas es demasiado lenta.

e. Capacidad de Intercambio Catiónico (CIC)

La capacidad de intercambio catiónico en la mayoría de parcelas estudiadas es alta, a excepción una parcela de pasto y una de árboles donde la CIC es media. Los valores altos de CIC están relacionados con la textura arcillosa y el alto contenido de materia orgánica. Los suelos con altos contenidos de humus y arcilla incrementan la capacidad de intercambio catiónico, ya que estos coloides tienen la capacidad de intercambiar cationes; tal como se observa en la figura 9, a mayor contenido de materia orgánica mayor es la capacidad de intercambio catiónico.

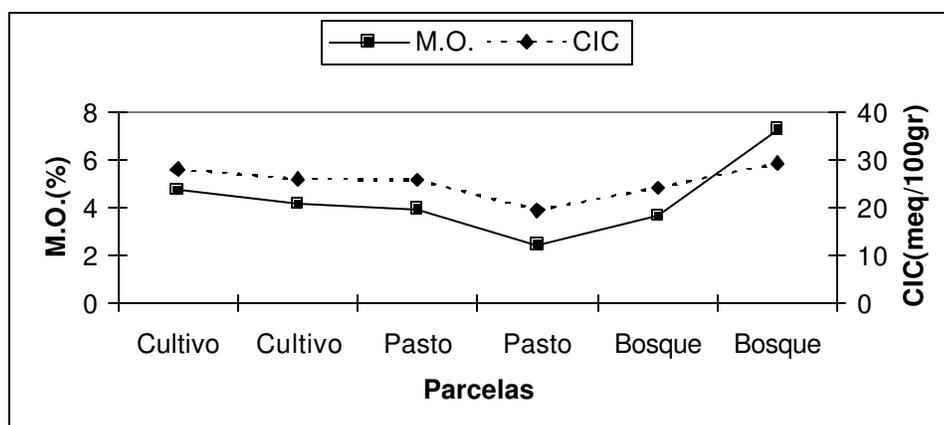


Figura 9. Comportamiento de la Capacidad de Intercambio Catiónico con respecto la Materia Orgánica en suelos de la serie Santa Teresa.

4.1.3. Serie El Cráter

En esta Serie se estudiaron dos fincas ubicadas en la comunidad de Aguas Agrias. La primera finca pertenece al señor Cristóbal Almansa, la cual tiene una extensión de 7 Mz: 4 de ellas destinadas a la agricultura (maíz y frijol) y 3 Mz empleadas como área de pastoreo. Los rendimientos en el cultivo del maíz en los últimos tres años fueron de 8 a 12 qq/Mz; mientras que el rendimiento del frijol en el 2004 fue de 8 qq/Mz. La labranza que se utiliza para preparar el suelo para la siembra es manual con el uso de espeque.

La segunda finca pertenece al señor Hilario Díaz, la cual tiene una extensión de 4 Mz: 2 Mz empleadas en la siembra de musáceas, 1.5 Mz para el maíz y 0.5 Mz como área de pastoreos. Los rendimientos en el cultivo del maíz en los últimos tres años fueron de 18 a 12 qq/Mz. La labranza que se utiliza para la preparación de la tierra es tradicional con tracción animal.

4.1.3.1. Características y propiedades Físicas

En la tabla número 24 se detalla las características y propiedades físicas de los suelos de las fincas estudiadas en la serie de suelos El Cráter.

a. Profundidad

La profundidad del suelo en las parcelas con pasto (ubicadas en áreas planas) es moderada mientras que en la parcela con bosque es óptima. Mientras que en una de las parcelas con cultivo (ubicada en una área plana) la profundidad del suelo es óptima; pero, en la otra parcela (ubicada en una área ondulada) la profundidad es marginal, lo cual difiere de lo reportado por Catastro (1971) ya que éste reporta una profundidad de moderadamente profunda a óptima para estos suelos. La disminución del espesor del suelo en las áreas con pendiente se debe principalmente a la erosión hídrica, debido a que los suelos carecen de una cobertura adecuada y no se realizan prácticas de conservación de suelos.

Tabla 24. Características físicas de los suelos de parcelas con cultivo, pasto y bosque en la serie El Cráter.

Parcela	Pend. (%)	Prof. (cm)	Infiltración (mm/h)	Color seco	Estabilidad agregados		Prof. (cm)	Da (g/cm ³)		Poros (%)	Resist/mecánica (golpes)	Textura
					Sup.	Sub.		Da	Dr			
					Finca del Sr. Cristóbal Almanza							
Cultivo	20	20	44.29	Pardo gris oscuro	6	6	0-10	0.98	2.71	64	17	Franco-arcillosa
							10-20				22	
							20-30				--	
Pasto/árboles	2	>50	47.4	Pardo rojizo	6	6	0-10	1.03	2.00	49	57	Arcillo-limosa
							10-20				44	
							20-30				--	
Finca del Sr. Hilario Díaz												
Cultivo	1	> 80	2.89	Pardo	6	6	0-10	1.12	2.54	56	79	Franco-arcillosa
							10-20				57	
							20-30				48	
Pasto	2	50	4.41	Pardo amarillento	6	6	0-10	1.13	2.49	55	81	Franco-arcillosa
							10-20				78	
							20-30				--	
Bosque	2	> 100	51.52	Pardo gris	6	6	0-10	0.87	2.48	65	28	Franco Arcilloso
							10-20				47	
							20-30				--	

b. Textura

La textura del suelo en las parcelas con cultivo, pasto y bosque es franco - arcillosa; sin embargo, en el área ondulada existe un alto porcentaje de gravas y piedras en la superficie y dentro del perfil del suelo, lo cual afecta otras características del suelo.

c. Color

El color de los suelos en las parcelas evaluadas varía de pardo, pardo rojizo, pardo gris oscuro, pardo amarillento a pardo gris; los colores claros difieren con lo reportado por Catastro (1971) ya que éste clasifica el color de estos suelos como pardo muy oscuro. Lo anterior puede estar relacionado con la pérdida del horizonte superficial debido a la erosión y a la pérdida de materia orgánica.

d. Estabilidad estructural

La estabilidad estructural de los agregados de suelos en las parcelas estudiadas es alta, lo cual indica que éstos tienden a resistir el golpe de las gotas de lluvia. Este comportamiento está estrechamente relacionado al contenido de arcilla y materia orgánica, ya que estos coloides actúan como agentes agregantes de las partículas de suelo y las mantienen unidas.

e. Resistencia mecánica

En los primeros 10 cm de profundidad en las parcelas con cultivo la resistencia mecánica va de suelos medianamente sueltos en una de las parcelas a muy denso en la otra parcela (ver figura 10); mientras que de los 10 a los 20 cm de profundidad el suelo pasa a ser medianamente denso en la primer parcela y muy denso en la segunda.

En las parcelas con pasto el suelo es muy denso en los primeros 10 cm de profundidad y denso a muy denso de los 10 a los 20 cm. En cambio, en la parcela con bosque el suelo es medianamente denso en los primeros 10 cm y denso de los 10 a los 20 cm. Esto resultados nos indican que existe compactación en los suelos bajo uso agropecuario, debido principalmente al pisoteo del ganado.

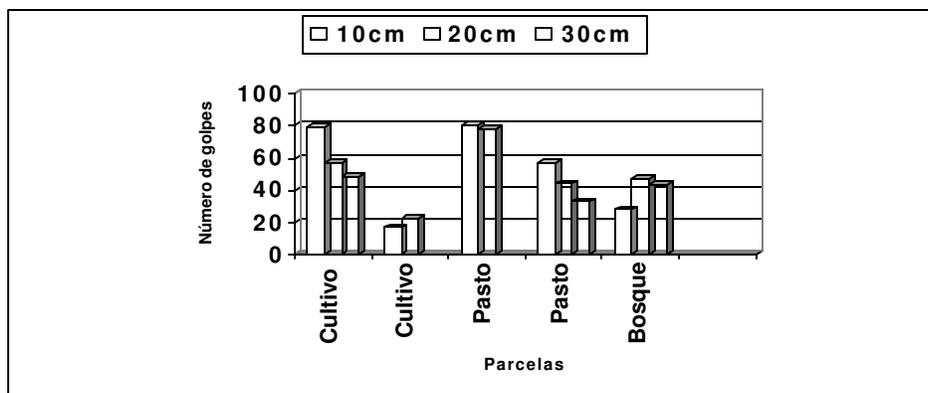


Figura10. Comportamiento de la resistencia mecánica en suelos de la serie El Cráter

f. Porosidad

De manera general la porosidad que presentan los suelos de las parcelas estudiadas es alta, a excepción de una parcela con pasto (con problemas de compactación) donde la porosidad es media. La alta porosidad está relacionada con el tipo de textura del suelo, ya que según Cairo (1995), los suelos de textura franco arcillosa presentan porosidad alta (55 a 65 %); pero, también está se relaciona con el contenido de materia orgánica, en vista que ésta ejerce un efecto benéfico sobre esta propiedad.

g. Densidad Aparente

La densidad aparente es muy baja y baja en las parcelas que presentan ciertos problemas de compactación. Los valores bajos de densidad aparente están relacionados con el contenido de materia orgánica y el origen de estos suelos, según Rodríguez (2003) los suelos derivados de materiales volcánicos tienden a presentar bajo peso específico.

En lo que respecta al comportamiento de la densidad aparente con relación a la materia orgánica, es posible observar en la figura 11 que cuando el contenido de materia orgánica es alto, el valor de la densidad aparenta tiende a ser menor y viceversa.

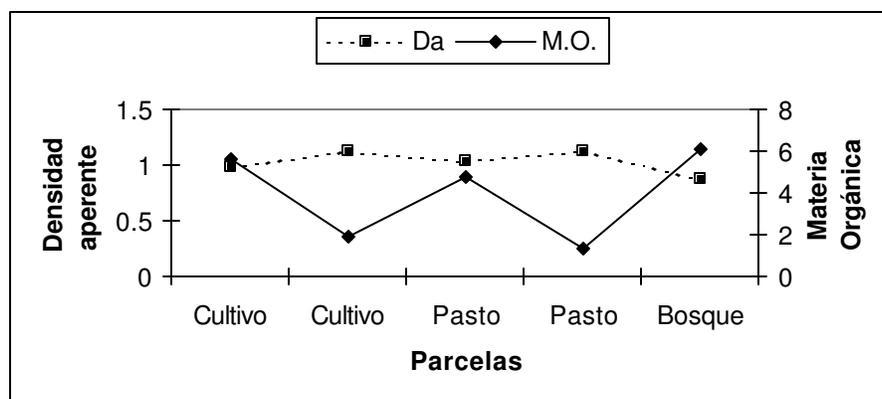


Figura 11. Comportamiento de la densidad aparente con respecto a la materia orgánica en suelos de la serie El Cráter.

i. Infiltración

La infiltración en una de las parcelas con cultivo es muy lenta debido a la compactación que presenta este suelo. En cambio en la otra parcela donde el suelo es relativamente suelto la infiltración es rápida, ya que se facilita la penetración del agua. Mientras que, la infiltración es lenta en una de las parcelas con pasto debido a la compactación y muy rápida en la otra parcela de pasto con árboles, debido al efecto benéfico de la vegetación en la penetración y circulación del agua.

Por otro lado, en la parcela con bosque la infiltración es muy rápida, debido al efecto benéfico de la materia orgánica del suelo (principalmente de las raíces y la mesofauna del suelo) sobre esta propiedad.

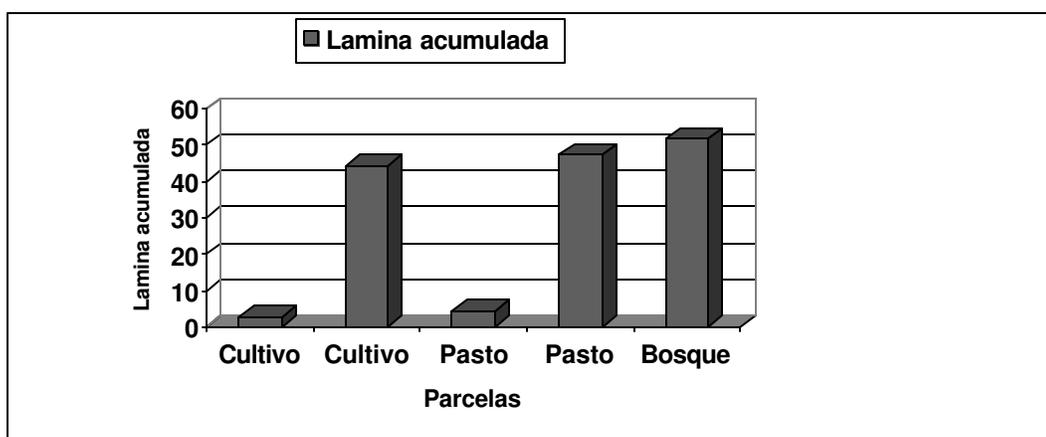


Figura 12. Comportamiento de la infiltración en suelos de la serie El Cráter.

4.1.1.3 Características Químicas

En la tabla 28 se detallan las características químicas de los suelos de las parcelas con cultivo, pasto y bosque de las fincas estudiadas en la Serie El Cráter.

a. pH

De manera general el pH de los suelos estudiados varía de medianamente ácido, ligeramente ácido a muy ligeramente ácido, lo cual se considera favorable para la mayoría de cultivos de la zona.

Tabla 25. Características químicas de los suelos de las parcelas con cultivo, pasto y bosque en la serie El Cráter.

Parcelas	pH (H ₂ O)	M.O. (%)	P (ppm)	K (meq/100g)	CIC (meq/100g)
<i>Finca del Sr. Cristóbal Almanza</i>					
Cultivo	6.92	5.65	32.33	0.10	27.77
Pasto/árboles	6.18	4.78	34.42	0.15	42.62
<i>Finca del Sr. Hilario Díaz</i>					
Cultivo	6.93	1.95	46.41	0.10	20.89
Pasto	6.61	1.34	48.59	0.15	33.72
Bosque	6.82	6.12	48.82	0.21	34.73

b. Materia Orgánica

En una de las parcelas con cultivo y pasto con árboles el contenido de materia orgánica es alto. Mientras que en la otra finca las parcelas con uso similar presentan un contenido pobre de materia orgánica; al parecer, las quemadas y el consumo de biomasa por el ganado hace que el aporte de materia orgánica al suelo sea mínimo, por tanto su contenido tiende a disminuirse en el tiempo. En cambio, en la parcela con bosque presenta el contenido más alto de materia orgánica, lo cual refuerza la importancia de la vegetación como aportadora de biomasa al suelo y en el mantenimiento de la misma en el suelo.

c. Fósforo

El contenido de fósforo en las diferentes parcelas es alto. En teoría los suelos de origen volcánico tienen elevados contenidos de P total, pero un contenido pobre de fósforo disponible debido a la fijación de este elemento por el tipo de arcillas que predomina en estos suelos (Salmerón, 1994). Lo anterior sugiere que existe algún tipo de mecanismo que bloquea los sitios donde puede fijarse el P, afectándose la disponibilidad de este elemento.

d. Potasio

De manera general el contenido de potasio en las parcelas estudiadas es pobre, a excepción de la parcela con bosque donde es medio. Si se parte del supuesto que los suelos derivados de cenizas volcánicas son ricos en potasio, estos resultados sugieren que la disponibilidad de este elemento se ha visto reducida por las pérdidas por lixiviación y erosión, en vista que este elemento es muy móvil en el suelo.

e. Capacidad de Intercambio Catiónico (CIC)

En una de las parcelas con cultivo y en las parcelas con bosque y pasto con árboles la capacidad de intercambio catiónico es alta, lo cual está relacionado con la presencia de arcilla y materia orgánica, puesto que son los coloides que tienen la capacidad de intercambiar cationes.

Sin embargo, en la otra parcela con cultivo con un contenido pobre en materia orgánica la CIC es media; esto refuerza la importancia benéfica de la materia orgánica en la CIC del suelo. Tal como puede apreciarse en la figura 13, existe una relación directa entre el contenido de materia orgánica y la CIC del suelo.

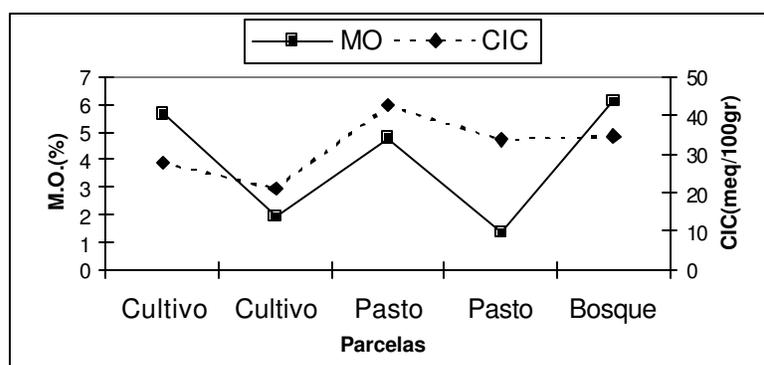


Figura 13. Comportamiento de la capacidad de intercambio catiónico con respecto a la materia orgánica en suelos de la serie El Cráter.

4.2. Indicadores locales de calidad de suelos identificados en el estudio

El conocimiento local jugó un papel muy importante en esta investigación, puesto que se considera que los campesinos manejan una serie de indicadores que ayudan a identificar los suelos de buena y mala calidad para uso agrícola, los cuales están relacionadas con características o cualidades vinculadas a alguna función del suelo, presencia de determinadas plantas y el comportamiento de los rendimientos.

Producto de la entrevista semi-estructurada y el taller de concertación con los agricultores dueños de las fincas estudiadas, se llegó a la definición de indicadores de suelos de buena y mala calidad para uso agrícola, así como los indicadores que ellos utilizan para describir cada uno de ellos. Los indicadores identificados corresponden al lenguaje tradicional utilizado por ellos mismos para indicar la cualidad de los suelos para uso agrícola.

4.2.1. Indicadores de suelos de buena calidad para uso agrícola

Los agricultores señalan que un "suelo de buena calidad" para uso agrícola es aquel que tiene un *color oscuro, es suelto, retiene humedad y produce altos rendimientos*. De acuerdo con esta definición, la calidad del suelo se asocia con características que reflejan un estado favorable de las funciones básicas de los suelos, tal como aparece en la tabla 29.

Los agricultores manejan una serie de indicadores para identificar los suelos de buena calidad, que tienen su base en características o cualidades físicas, químicas y biológicas de los mismos, las cuales están relacionados con alguna función del suelo, la presencia y abundancia de determinadas plantas y por supuesto el nivel de rendimiento de los cultivos. Es importante resaltar que los indicadores utilizados por los agricultores tienen su paralelo en los indicadores técnicos empleados en esta investigación (ver tabla 29).

Tabla 26. Indicadores locales de suelos de buena calidad para uso agrícola.

Indicadores de suelos de buena calidad	Características técnicas asociadas
Picapica, cabeza de vaca, verdolaga, bledo, tortoquelite, garvancia, disípela, achiote de monte, chichicaste, zacate dulce, zorrillo, flor amarilla, jalacate, cerocontil, escoba negra (porte alto).	Grado de fertilidad del suelo o diversidad de malezas.
Crecen más las plantas y se obtienen buenas cosechas.	Fertilidad.
Menos ataque de plagas.	Buena salud del suelo.
Suelo suelto.	Buena estabilidad estructural.
Buen drenaje y retención de agua.	Buena porosidad y capacidad de retención de agua.
Abundancia de lombrices de tierra.	Alto contenido de materia orgánica y actividad biológica.
Suelo con buena porosidad.	Suelo con abundancia de mesoporos.
Suelo fácil de labrar	Resistencia mecánica
Altos contenidos de hojas, ramas y otros materiales orgánicos.	Altos contenidos de materia orgánica.
Suelos bien profundos.	Profundidad efectiva.

Tanto los agricultores entrevistados como los que participaron en el taller de concertación de indicadores, señalan con frecuencia el color del suelo como indicador de primer grado, seguido por el rendimiento de la cosecha de los años anteriores, así como la presencia y abundancia de ciertas malezas, lo cual coincide con lo reportado por Trejo et. al. (1999).

4.2.3. Indicadores de suelos de mala calidad para uso agrícola

Los agricultores involucrados en el estudio consideran que un suelo es de mala calidad para uso agrícola, cuando éste presenta características tales como "dureza del suelo, color amarillento, poca retención de humedad y bajo rendimiento de los cultivos" (las cuales son contrarias a las mencionadas para un suelo de buena calidad), entre otras, tal como se refleja en la tabla 30.

Tabla 27. Indicadores locales de suelos de mala calidad

Indicadores de suelos de mala calidad	Características técnicas asociadas
Malva, zacate gallina, zacate alambre, escoba negra, escoba roja, mozote de calvo, escoba lisa, coyolillo, grama, colpalchi y cornizuelo, dormilona, abejón, invasor.	Cultivos no se desarrollan, el arado no penetra, compactación en el suelo.
Tierra lavada.	Erosión por escorrentía superficial.
Cuando el suelo se trabaja mucho.	Suelo sobre explotado.
Los cultivos no crecen y hay baja producción.	Fertilidad.
Ataque de plagas.	Mala salud del suelo.
Suelo muy duro.	Resistencia mecánica.
No hay lombrices de tierra.	Carencia de materia orgánica y actividad biológica.
Color claro o amarillo.	Presencia de minerales de oxido de hierro y aluminio.
Suelo sin soltura.	Estabilidad estructural.
Suelo que no retiene humedad.	Capacidad de retención de humedad e infiltración del agua.

Como se refleja en la tabla anterior, los indicadores de suelos de mala calidad utilizados por los agricultores, también tienen relación con los indicadores utilizados por los técnicos. Es importante señalar que la disminución de la calidad de los suelos está relacionada con el mal manejo a que éstos han estado sometidos, lo cual ha afectado las propiedades físicas, químicas y biológicas de los mismos.

Por otro lado, en las tablas 29 y 30 puede apreciarse que los productores utilizan la presencia y abundancia de malezas como indicador de la calidad de un suelo; este indicador se basa en el supuesto que a medida que las características físicas, químicas y biológicas cambian a través del tiempo, la composición y abundancia de malezas también cambia. Por ejemplo, los agricultores señalan como indicador de suelo de mala calidad a la escoba lisa o la escoba negra; estas plantas han desarrollado un sistema radicular que se ha adaptado a condiciones de suelos compactados. Este conocimiento local acerca de las plantas nativas como indicadoras de calidad de suelos es el resultado de la experiencia acumulada por los productores.

Estos resultados resaltan la necesidad de integrar la experiencia de los productores con el conocimiento científico - técnico, de manera que permita a ambos sectores tener una mejor comprensión del suelo y por lo tanto tomar mejor decisiones para el manejo de este recurso. También sugieren que es necesario hacer el lenguaje técnico compatible con el lenguaje local, de manera que los extensionistas compartan un lenguaje común con los agricultores acerca del suelo y su manejo.

4.3. Indicadores técnicos y locales sugeridos para evaluar el estado de los suelos de las laderas de Nandaime

Los resultados de este estudio demuestran que prácticas inadecuadas, tales como la labranza excesiva y en suelos muy húmedos, la quema, el sobrepastoreo, la disminución de la cobertura vegetal, afectan negativamente varias de las propiedades físicas y como consecuencia se produce una inestabilidad en las propiedades químicas y biológicas. Tal como señala Trejo et al. (1999), el uso y las prácticas de manejo inapropiadas de los suelos marcan la dirección y el cambio en su calidad en el tiempo.

Por otro lado, varios de los indicadores locales utilizados por los agricultores para describir los suelos de buena calidad para uso agrícola, tales como el color negro, soltura del suelo, presencia de lombrices, buen drenaje, retención de agua, entre otros, están relacionados con un contenido alto de materia orgánica. Esto convierte a la materia orgánica en uno de los indicadores más importantes para determinar la calidad de un suelo.

De acuerdo con Fassbender (1984), la importancia de la materia orgánica se explica por la influencia positiva que ésta tiene sobre muchas características físicas y químicas de los suelos, tales como el color, la formación de agregados, la capacidad de retención de agua, la capacidad de intercambio catiónico, en la disponibilidad de nitrógeno, fósforo y azufre, en regular el pH, en la producción de biomasa y en contribuir a la facilidad de laboreo.

Sin embargo, el indicador de materia orgánica debe complementarse con otros indicadores técnicos y locales de la salud del suelo, tales como la tasa de infiltración, estabilidad estructural, grado de compactación, productividad, la presencia de lombrices, así como la presencia y abundancia de ciertas malezas.

Pero tal como señala Muller (1998), los indicadores locales de calidad de suelos deben definirse de acuerdo a las condiciones agro - ecológicas de una determinada región. Por tanto, estos indicadores son válidos básicamente para las laderas de Nandaime y quizás para otras áreas con condiciones similares de los municipios de Santa Teresa y Belén.

V. CONCLUSIONES

- La evaluación de los suelos de las series San Rafael, Santa Teresa y el Cráter, mediante el uso de indicadores técnicos y locales de calidad de suelos, indica que las parcelas bajo uso agropecuario tienen diversas restricciones o limitantes para el uso para el cual son designadas.
 - Los suelos de la mayoría de parcelas con cultivo y pasto evaluadas en la Serie San Rafael presentan diferentes grados de restricciones en algunas de sus propiedades físicas y químicas, tales como profundidad, resistencia mecánica, densidad aparente, infiltración, materia orgánica, fósforo y potasio disponible; sin embargo, muestran una buena estabilidad estructural y porosidad.
 - Los suelos de las parcelas con cultivo y pasto en la Serie Santa Teresa presentan diferentes grados de restricciones en algunas de sus propiedades físico - químicas, tales como resistencia mecánica, densidad aparente, infiltración, materia orgánica, fósforo y potasio disponible; no obstante, muestran una buena estabilidad estructural, porosidad y una alta capacidad de intercambio catiónico.
 - Los suelos de las parcelas con cultivo y pasto en la Serie El Cráter, presentan diferentes grados de restricciones en sus propiedades físico-químicas tales como pedregosidad, resistencia mecánica, infiltración y potasio disponible. Sin embargo, muestran una estabilidad estructural alta, buena porosidad, alto contenido de materia orgánica y fósforo disponible.
- Los principales factores que afectan negativamente las propiedades físico-químicas de los suelos de las parcelas con uso agropecuario, son la utilización de la tierra por encima de su capacidad natural, la labranza inadecuada, la quema, deforestación y el sobre pastoreo, los cuales provocan un deterioro en la capacidad productiva de estos suelos. Lo anterior implica una revisión del uso

y de las prácticas de manejo de los suelos, a fin de garantizar la sostenibilidad de este importante recurso natural.

- Los principales indicadores locales que los productores utilizan para calificar la calidad de los suelos son la soltura del suelo, el color, la presencia de organismos, buen drenaje y capacidad de retención de agua. La importancia de estos parámetros fue corroborada con los indicadores técnicos de calidad de suelos evaluados.
- El contenido de materia orgánica es uno de los principales indicadores para evaluar la calidad de suelos, en vista de influencia positiva en las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo. Otros indicadores complementarios son la infiltración, estabilidad estructural, resistencia mecánica, productividad, presencia de lombrices, así como la presencia y abundancia de ciertas malezas.
- Los agricultores usan frecuentemente la presencia y abundancia malezas que crecen en los suelos cultivados como indicadores de la calidad de los mismos, debido a que la dinámica de distribución de estas plantas responde a cambios en las características físicas, químicas y biológicas que sufren los suelos.
- Los indicadores técnicos de calidad de suelos resistencia mecánica, tasa de infiltración, estabilidad estructural y actividad biológica demuestran considerables atributos para evaluar la calidad de los suelos.

VI. RECOMENDACIONES

- ❖ Difundir esta información entre técnicos y promotores que trabajan en áreas de laderas de Nandaime, y áreas similares de los municipios de Santa Teresa y Belén, para que a su vez éstos los den a conocer a los productores de las zonas mencionadas.
- ❖ Promover entre los extensionistas y promotores el uso de indicadores técnicos y locales de calidad de suelos, con el propósito de evaluar de manera rápida y sencilla el estado de los suelos, y con ello definir las prácticas de manejo de suelos adecuadas a cada situación en particular.
- ❖ Identificar y validar en las parcelas de productores los métodos y los momentos más adecuados para realizar la labranza, con el propósito de reducir los problemas de compactación y baja infiltración del agua en el suelo.
- ❖ Manejar adecuadamente la materia orgánica del suelo mediante la no quema y la incorporación de residuos, el uso de abonos verdes o estiércol, con el fin de mejorar estabilidad estructural, la infiltración, así como el enriquecimiento y equilibrio de los nutrientes para las plantas.
- ❖ Promover la implementación de obras físicas y biológicas, tales como las curvas a nivel, acequias, barreras vivas y sistemas agroforestales, en las parcelas destinadas a la agricultura, con el propósito de restaurar y mantener adecuadamente las propiedades físicas, químicas y biológicas de los suelos de ladera.
- ❖ Controlar el pastoreo de ganado y establecer pastos de corte para reducir los problemas de compactación de suelos causadas por el sobrepastoreo, así como la erosión.

VII. BIBLIOGRAFÍA

- ARIAS, J. A. 1998. Suelos tropicales. Editorial EUNED. San José. 168 pp.
- BOUL, S.W.; HOLE, F.D. & MCCRECKEN, R.J. 1991. Génesis y Clasificación de Suelos. Editorial Trillas S.A. de C.V. México. 527 pp.
- CAIRO, P. 1995. La fertilidad física de suelos y la agricultura orgánica en el trópico. Universidad Nacional Agraria, Managua. 228 pp.
- CATASTRO, 1971. Levantamiento de suelos de la Región Pacífica de Nicaragua. Volumen I, Parte 2, Descripción de Suelos. Catastro e inventario de los recursos naturales de Nicaragua, 591 pp.
- CIAT, 2002. Memoria taller de indicadores locales de calidad de suelos, CIAT Ladera, USDA-ARS. Estelí - Nicaragua. 28 pp.
- FAO, 1996. Planificación y manejo integrados de cuencas hidrográficas en zonas áridas y semiáridas de América Latina. Primera edición. Santiago. 230 pp.
- FASSBENDER, H. W. 1975. Química de suelos con énfasis en suelos de América Latina. Primera edición. Editorial IICA, San José. 455 pp.
- FASSBENDER, H. W. 1984. Química de suelos con énfasis en suelos de América Latina. Cuarta edición. Editorial IICA, San José. 398 pp.
- FERMANDEZ, R. 2000. Nandaime: Evaluación de la tenencia, situación legal, mercado de tierra y conflictos agrarios y socio ambientales. Proyecto Sur Oeste. Nandaime Nicaragua. 80 pp.
- FITZ PATRICK, E. A. 1987. Suelos su formación clasificación y distribución. Editorial CONTENCV. México. 430 pp.

- FOTH, H. D. 1987. Fundamentos de la Ciencia del Suelo. Editorial Continental, S. A. México. 433 pp.
- GEILFUS, F. 1997. 80 Herramientas para el desarrollo participativo: diagnóstico, la planificación, monitoreo, evaluación. Instituto Internacional de Cooperación para Agricultura. Editorial IICA-GTZ. San Salvador. 208 pp.
- HENRÍQUEZ, H. & CABALCETA, G. 1999. Guía práctica para el estudio introductorio de los suelos con un enfoque agrícola. 1^{ra} Edición. San José, Costa Rica. ACC. 111 pp.
- INTA/ FAO. 2001. Manejo integrado de la fertilidad de los suelos de Nicaragua. Manual del extensionista. Proyecto GCP /NIC /025 /NOR, INTA/ FAO, Gobierno de Nicaragua y Noruega, 130 pp.
- MULLER, S. & MUÑOZ, L. 1998. Indicadores para el uso de la tierra: el caso de la cuenca del Río Reventado, Costa Rica. Editorial IICA/O/BMZ/GTZ, Serie # 5. 58 pp.
- ORTIZ, B. & ORTIZ, C. 1990. Edafología. Editora V. Gómez Cueva, Universidad Autónoma de Chapingo. Texcoco, México. 394 pp.
- PAVON, A. & MIYAZAWA, M. 1996. Análisis químico de los suelos: parámetros para interpretación. Editorial Landrina. 46 pp.
- PORTA, J.; LOPEZ, M. & ROQUERO, A. 1999. Edafología para la agricultura y el medio ambiente. Segunda edición. Editorial Mundi-prensa, España. 849 pp.
- PRITCHETT, W. 1990. Suelos forestales. Editorial Limusa, México D.F. 364 pp.
- QUINTANA, O.; BLANDÓN, J; FLORES, A. & MAYORGA, E. 1983. Manual de Fertilidad para los suelos de Nicaragua. Editorial Primer Territorio Indígena Libre de América Latina, Nueva York. Managua. 60 pp.
- RODRÍGUEZ, I; AGUIRRE, C. & MENDOZA, R. 2000. Actualización del estado de los suelos y capacidad de uso de la tierra del municipio de Nandaime. Universidad Nacional Agraria, Proyecto Sur-Oeste. Managua – Nicaragua. 68 pp.

- RODRÍGUEZ, I. 2001. Taller de Capacitación en Aspectos Básicos de la Ciencia del Suelo y Clasificación de la Capacidad de uso de la Tierra. Universidad Nacional Agraria, Proyecto Sur Oeste. Managua – Nicaragua. 120 pp.
- RODRÍGUEZ, I. 2003. Estado de los Suelos y Capacidad de uso de la Tierra en el Municipio de Santa Teresa. Ed. IDR-GTZ. Managua Nicaragua. 22 pp.
- SALMERON, F. & GARCIA, L. 1994. Fertilidad y fertilización de suelos. Universidad Nacional Agraria. Managua. 141 pp.
- SAMPAT, G. S. 1987. Física de Suelos, principios y aplicaciones. Editorial LIMUSA. México, D.F. 352 pp.
- TREJO, M. BARRIOS, E. TURCIOS, W. & BARRETO, H. 1999. Método participativo para identificar y clasificar indicadores locales de suelos al nivel de microcuenca. Guía 1. En: Instrumento para la toma de decisión en el manejo de los recursos naturales. Cali. 255 pp.

ANEXO

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA
FACULTAD DE RECURSOS NATURALES Y DEL AMBIENTE
DEPARTAMENTO DE MANEJO DE CUENCA Y GESTION AMBIENTAL

Encuesta de campo

Finca: _____ Dueño: _____
Área: _____ Serie de suelos: _____ Fecha: _____

1. ¿Desde cuando habita en la finca?

2. Uso de la tierra: Agricultura _____, ganadería _____, bosque _____.

3. Fuente de agua. _____, río _____ ojo de agua _____.

3. ¿Cuántos lotes tiene su finca? _____

4 ¿Todo los lotes los trabaja? _____

5. Tipo de cultivo y su rendimiento por ciclo _____, _____, _____ y _____ entre otros

6. ¿Cuál de sus lotes tiene problemas de bajos rendimiento?

7. ¿A que cree usted que se debe estos bajos rendimientos?

8. ¿Cree usted que toda su finca es del mismo suelo?

9. ¿Cómo puede usted conocer un suelo malo?

10. ¿Conoce usted algún tipo de planta que (que no sea cultivo) que crecen dentro de sus suelos malos? _____

11. ¿Conoce usted algún tipo de planta (que no sea cultivo) que crece dentro de sus suelos buenos? _____

¿Qué tipo de labranza para la siembra en su finca?

13. ¿Conoce usted algún tipo de insecto ya sea benéfico o dañino que exista en sus suelos? _____

14. Podría usted dibujar el mapa de su finca

15. Observaciones _____