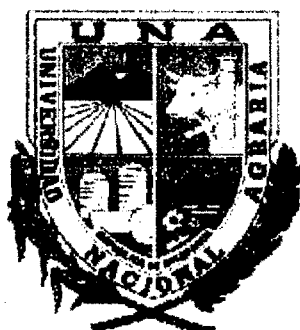


UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA
FACULTAD DE RECURSOS NATURALES Y DEL AMBIENTE

TRABAJO DE DIPLOMA



**EVALUACIÓN DEL ESTADO DE LOS SUELOS DE LA PLANICIE DE NANDAIME
A TRAVÉS DE LA IDENTIFICACION Y USO DE INDICADORES TÉCNICOS Y
LOCALES DE CALIDAD DE SUELOS**

Elaborado por: Br. *Wilford Davis German*

Asesores: MSc. *César Aguirre Jiménez*
Ing. *Antonio Avilés Silva*.

Noviembre 2004.

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA
FACULTAD DE RECURSOS NATURALES Y DEL AMBIENTE

TRABAJO DE DIPLOMA



**EVALUACIÓN DEL ESTADO DE LOS SUELOS DE LA PLANICIE DE NANDAIME
A TRAVÉS DE LA IDENTIFICACION Y USO DE INDICADORES TÉCNICOS Y
LOCALES DE CALIDAD DE SUELOS**

Elaborado por: Br. *Wilford Davis German*

Asesores: MSc. *César Aguirre Jiménez*
Ing. *Antonio Avilés Silva*.

Noviembre 2004.

INDICE GENERAL

	Pag.
CONTENIDOS	
INDICE GENERAL.....	I
INDICE DE TABLA.....	IV
INDICE DE FIGURA.....	V
DEDICATORIA.....	VI
AGRADECIMIENTO.....	VII
RESUMEN.....	VIII
SUMARY.....	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. Característica 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
4.1.1.2. 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 Nandaime.....	73
V. CONCLUSIONES.....	75
VI. RECOMENDACIONES.....	77
VII. BIBLIOGRAFÍA.....	78
ANEXO.....	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 Nandaimé.....	31
21.	Características químicas de los suelos de parcelas con cultivo pasto y bosque de dos fincas en la Serie Nandaimé.....	38
22.	Características 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.	Características 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.	Características físicas de los suelos de parcela con cultivo, pasto, bosque y arboles dispersos en tres finca de los Suelos Aluviales.....	61
27.	Características químicas de los suelos de las parcelas con cultivo, pasto, bosque y árboles dispersos de tres fincas de los Suelos Aluviales.....	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 Aluviales.....	63
17.	Comportamiento de la densidad aparente con respecto a la materia orgánica en los Suelos Aluviales.....	65
18.	Comportamiento de la Infiltración del agua en los Suelos Aluviales.....	66
19.	Comportamiento de la capacidad de intercambio catiónico con respecto a la materia orgánica en los Suelos Aluviales.....	69

DEDICATORIA

Esta obra esta dedicada con mucho cariño y aprecio a quienes quiero 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 Navarrete ¹ (abuelos paternos), quienes supieron educarme y sus consejos están y estarán en mi memoria todos los días de mi vida.

AGRADECIMIENTO

A Dios padre dueño de la sabiduría, 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 culminar mi formación universitaria sin costo alguno.

Agradezco de manera muy amena al Lic. Ronal José Quiroz Ocampo y MSc. Idalia Casco Méndieta; por su valiosa colaboración en mi formación profesional.

Agradezco a todos mis docentes de la UNA, especialmente al Ing. Ignacio Rodríguez Ibarra y al Lic. César Cajina que compartieron a mi lado sus conocimientos científicos y prácticos durante los cinco años de formación profesional.

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 catiónico, 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.

SUMMARY

The purpose of **investigation** was to know the state of the soils of the flat lands of Nandaime by means of the identification and evaluation of technical and local indicators of quality of soils, in order to contribute to an use and sustainable management of this resource. In spite of that in the environment scientific-technician, there are parameters in order to evaluate the physical condition, chemistry and biological of the soils is necessary to have local simple indicators that allow knowing the state of the quality of this resource.

The methodology of the work consisted of the evaluation of technical and local indicators of quality of soils in parcels with several uses, in nine properties located in the Series of Nandaime soils (2) San Felipe (2), The Granadilla (2) and Alluvial Soils (3). The technical indicators evaluated in each one of the parcels were structural stability, colour of the soils, compacting, infiltration, presence of organisms in the soils; while in the laboratory the apparent density, porosity, the pH, organic matter, the capacity of cationic exchange, the content of phosphorus and available potassium was determined.

The results indicate that the soils subjected to the agriculture in their majority they have lost the superficial horizon, it contains levels means of organic matter, are compacted, they have low infiltration, they show susceptibility to the erosion and they present levels means and low of phosphorus and available potassium. Nevertheless, these soils have potential for the agricultural activity, if they are provided and carried out of appropriate soil management practices that guarantee the sustainability of this resource and of the agro-ecosystems in general.

The inadequate practices of management, such like the deforestation and decrease of the vegetable covering, over shepherd and inadequate work, are the factors that more have influenced in the deterioration of the physical, chemical and biological characteristics of these soils.

The content of organic matter is the indicator of first degree in order to evaluate the quality of soils, in view of positive influence in the properties and basic functions of the soil. However, this should supplement with other indicators of the health of the soil, such like the rate of infiltration, structural stability, degree of compacting, productivity, the presence of worms, as well as the presence and abundance of overgrowths.

I. INTRODUCCION

Con el inicio de la agricultura el hombre empezó a considerar a los suelos como un medio para el desarrollo de las plantas. Esos primeros productores reconocieron las diferencias en los suelos, basándose en la capacidad de estos para producir alimento y desarrollaron prácticas de manejo del mismo. Actualmente, los suelos son los principales medios en los cuales los cultivos crecen y producen alimentos y a la vez vestir al mundo.

Sin embargo, la agricultura se ve sometida a una serie de factores que pueden afectar la producción. Uno de estos factores es el hombre, quien a través de los años ha convertido grandes áreas de bosque en suelos degradados. De tal forma que se hace imprescindible cambiar el uso intensivo a que estos suelos son sometidos, por sistemas que garanticen una producción continua y económicamente rentable, así como prácticas especiales de conservación y manejo que permitan recuperar las propiedades físicas, químicas y biológicas de los suelos.

En Nicaragua existen dos grandes tipos de tierras involucradas en la producción agropecuaria: los valles o planicies (generalmente usados con agricultura intensiva) y las zonas de laderas (principalmente con agricultura de subsistencia). Hace 50 años las planicies eran muy productivas, pero esta productividad se ha reducido fuertemente, al punto que muchos productores han tenido que abandonarlas. Por esta y otras razones han tenido que emigrar a áreas de laderas que son más susceptibles a la erosión, provocándose considerables efectos negativos en lo ambiental, económico y social.

Factores tales como: el uso inadecuado de los residuos de cosecha, agroquímicos, el mal manejo de la labranza, el sobre pastoreo, entre otros, 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 los suelos tanto de las áreas en laderas como en las planicies.

Por ser ambas áreas importantes para la seguridad alimentaria de los productores y del país en general, es necesario conocer los factores que determinen su estabilidad o degradación; en vista de la escasez creciente de tierra y la importancia de las áreas en las planicies, se vuelve impostergable la necesidad de conocer mejor los procesos de degradación de los suelos en dichas áreas.

En vista que en el ámbito científico-técnico se cuenta con una variedad de indicadores para monitorear el estado del recurso suelo, es de gran importancia validar indicadores locales de calidad de suelos en la planicie de Nandaime, así como identificar aquellos indicadores que los productores utilizan para designar la calidad de los suelos.

En ese sentido; se realizó la presente investigación con el propósito de 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 generar información que contribuya a lograr un uso y manejo sostenible de los suelos, y poder de esta manera garantizar la seguridad alimentaria presente y futura.

1.2. Objetivos

1.2.1. Objetivo general

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. Con ello se pretende generar información que contribuya a lograr un uso y manejo sostenible del recurso suelo, que garantice la seguridad alimentaría presente y futura.

1.2.2. Objetivos específicos

- ❖ Evaluar las características físicas y químicas de suelos de las Series Nandaime, San Felipe, La Granadilla y Suelos Aluviales mediante el uso de métodos sencillos para evaluar la calidad de los suelos.
- ❖ Identificar los principales factores de cambio relacionados con el deterioro de la capacidad productiva de los suelos de la planicie de Nandaime.
- ❖ Identificar los indicadores que los productores utilizan para designar la calidad de los suelos.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. Definición de suelos

Físicamente los suelos son una mezcla porosa inorgánica, materias orgánicas descompuestas, 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). Según Enrique (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 simultánea y producen al final un sustrato el cual brindará nutrimento, agua y sostén a las plantas y otros organismos.

Una de la definición 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), hidrosfera (cuerpo y formas de agua en la tierra) y en la biosfera (espacio viviente de la tierra). 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.

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 mas 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

Las propiedades físicas de los suelos son de importancia para el desarrollo de los cultivos; no obstante, los primeros investigadores subestimaron o incluso ignoraron la influencia de las propiedades químicas y biológicas de los suelos (Pritchett, 1990).

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, el agua, el aire, tan importante 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 el 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 tiene por objetivo la determinación de la distribución de los tamaños de las partículas en porcentaje.

La importancia de la estructura es que está estrechamente asociada con la porosidad de los suelos; influenciando las características tales como: el movimiento del agua, intercambio gaseoso, desarrollo de las raíces, 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 relativamente 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 al bloque cuya diferencia es que estos están limitados por otros agregados cuyas caras angular redondeadas forman el molde de un ped.
- **Granular fino (1 a 2 mm de diámetro):** son características de muchos suelos superficiales especialmente aquellos que son ricos en materia orgánica.

2.2.2.2. La estabilidad estructural de los suelos

Es la capacidad que tienen los granos de suelos de retener su forma cuando se humedecen, y permitir el paso del agua a través del suelo. Los granos deben tener suficiente estabilidad para que permitan 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 mismo mantiene unidos en forma mecánica, las partículas del suelo.
- ❖ 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: Este 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 de la caja. Una vez

que se ha logrado depositar los 18 terroncitos se espera 5 minutos para observar los cambios respectivos en su estructura. Si no existe cambio alguno se emerge y sumerge los terroncitos en cinco ocasiones, y posteriormente, 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

Tipo de estabilidad	Criterio de clasificación de estabilidad de los suelos
0	Suelo muy inestable (pasa el 100% a través del cedazo).
1	Nula: El 50% de la integridad estructural se pierde en 5 segundos después de la inmersión en agua.
2	Muy pobre: El 50% de la integridad estructural se pierde entre los 5 a 30 segundos de inmersión.
3	Pobre: 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	Regular; 10 a 25% del suelo permanece en el cedazo después de 5 ciclos de inmersión.
5	Buena: 25 a 75% del suelo permanece en el cedazo después de 5 ciclos de inmersión.
6	Alta: 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 constituye el peso de una unidad de volumen de suelo seco con una estructura natural (Cairo, 1995).

La densidad aparente de los suelos es una propiedad que está estrechamente ligada con la compactación y porosidad de los suelos, con la circulación del agua y aire. Por lo tanto, se trata de una propiedad de gran interés para el desarrollo de los cultivos (Pritchett, 1990).

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 (tabla 4) y esta estrechamente relacionada a ella (Pritchett, 1990).

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 (P_{ss}) y el volumen real o sea el volumen de sus partículas (V_p). Usualmente se expresa en g/cm^3 y podemos calcularla mediante la siguiente fórmula:

$$D_r = P_{ss} / V_p$$

Tabla 5. Clasificación de la densidad real de los suelos

Rango de la densidad real (g/cm^3)	Clasificación
< 2.40	Bajo
2.40 a 2.60	Mediano
2.60 a 2.80	Alto
> 2.80	Muy alto

Fuente: Cairo, 1995.

El conocimiento del peso específico es necesario para calcular la porosidad de los suelos, 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 orgánica (Cairo, 1995).

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 no ocupada por partículas sólidas. Estos espacios porosos están ocupados 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

espacios porosos total, mientras que los suelos de textura más fina tienen 40 al 60 % (Fitz Patrick, 1987).

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.- La textura de los suelos; los suelos de textura fina tienen una porosidad mayor que los de textura gruesa. 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
Franco arenosos	43
Franco	47
Franco limosos	50
Franco arcillosos	55
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/cm^2 .

La resistencia mecánica 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 dicha resistencia mecánica del suelo se utiliza 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 propiedades de suelos (Foth, 1987).

El color de los suelos 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 de la superficie a la roca; mientras que la profundidad efectiva se refiere al espesor del suelo de la superficie hasta donde se desarrolla el sistema radicular de los cultivos (Rodríguez, 2001).

La profundidad del suelo puede ser definida como el espesor del material edáficos 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).

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.

2.3. Propiedades químicas de los suelos

Estas propiedades son de mucha importancia, ya que son las responsables de la nutrición de las plantas.

2.3.1. pH del suelo

El pH de los suelos es una medida de la acidez o la alcalinidad; por lo general se considera como una propiedad muy importante ya que tiende a estar correlacionada con otras propiedades, tales como el grado de saturación de bases. La determinación de la concentración de iones de hidrógeno (H^+) en la solución del suelo, permite medir la acidez o la 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).

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

Son conjuntos complejos de sustancias constituidas por restos vegetales y organismos, 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 más 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 macros y micro nutrientes esenciales (Fitz Patrick, 1987).

Tabla 13. Clasificación de la materia orgánica de los suelos para uso agrícola

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, no presentan compuestos inorgánicos como los nitrogenados que pueden 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 podológica (Fassbender, 1984). El contenido de fósforo en el suelo 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 feldespato 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 arcilloso 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).

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.

Este fenómeno de intercambio catiónico se debe a las propiedades específicas del complejo coloidal de los suelos, que tienen 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 la productividad de las plantas 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 exponen los agregados de la superficie a la acción de la lluvia; como consecuencia ocurre el colapso estructural de estos 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 superficial lleva a la rotura de los agregados de los suelos, favoreciendo la formación de costras, escurrimiento y los transportes de partículas (erosión). La utilización de equipos inadecuados y el pase de maquinarias sobre los suelos cuando estos presentan consistencias plásticas, lleva al surgimiento de capas compactas que presentan resistencia a la penetración de las raíces de las plantas y restringe la capacidad de infiltración del agua.

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

2.4.2. Procesos de degradación de suelos

Según Henríquez (1999); la degradación física de los suelos ocurre en tres etapas:

- Primera etapa; las características originales de suelos son destruidas gradualmente por el uso de correctivos y fertilizantes.
- Segunda etapa; ocurren pérdidas acentuadas 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 por el uso excesivo de maquinaria.

2.4.3. Tipos de degradación de suelos

Según el CIAT (2002), existen los siguientes tipos de degradación:

- Pérdida de la cobertura vegetal
- Incremento de la pedregosidad en la superficie del suelo
- Sedimentación
- Inundación
- Disminución en el nivel freático.

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

a) Erosión

- ❖ Erosión 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.
- ❖ Erosión eólica; es 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 desforestados y se practica una agricultura no conservacionista; en pocos años los suelos se vuelven improductivos y muy ácidos.

c) Salinización de un suelo

Los suelos en los 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 especializada; éstos se denominan suelos salinos.

Es una degradación que muchas veces es inducida por el hombre; por ejemplo, la sobre irrigación con agua que tiene alto contenido de sales, generalmente ocurre en zonas con altas temperaturas que elevan la evaporación y por tanto produce una afloración las sales.

d) Acidificación de un suelo

Se define como una disminución en la capacidad de neutralización de ácido (CNA), y/o un incremento en la capacidad de neutralización de base (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 provocada por la acción humana, por una cuenca mal manejada; por la deforestación, áreas no aptas para cultivos, provocan que los cauces de los ríos se llenen de sedimentos que hacen que estos se salgan de su cause normal.

2.5. Indicadores de calidad de suelos

2.5.1. Definiciones de indicadores

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 hectárea (Trejo et al, 1999).

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).

2.5.2. Indicadores de calidad de suelos

Un indicador de calidad de suelos son características que permite 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).

a. Indicadores físicos de calidad de suelos

El CIAT (2002), menciona los siguientes 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

El CIAT (2002), menciona los siguientes indicadores químicos de calidad de suelos:

- pH
- Materia orgánica
- Disponibilidad de nutriente
- Conductividad eléctrica
- Pérdida de base.

c. Indicadores biológicos de calidad de suelos

Se refieren a la presencia de mesofauna en el suelo, procesos microbianos, tasa de descomposición de la materia orgánica del suelo, biomasa microbiana, ciclo del nitrógeno y actividades enzimáticas (CIAT, 2002).

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 del 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 sé

esta 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 adoptados por un grupo de agricultores 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

Indicador de suelos buenos	Indicador de suelos malos
Verdolaga, quelite, chichicaste, chango, pica pica, guama	Tatascan, pino
Suelo profundo o grueso	Suelo delgado
Color negro	Colores claros, amarillos, colorados
Alto 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. 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; se estima que éste tiene una capacidad de flujo de 0.12 m³/segundo/ km², excepto en las zonas de mayor altitud.

3.1.1. La planicie de Nandaime

Esta zona se ubica en el centro del municipio hacia el extremo sur del mismo, a ambos lados de la Carretera Panamericana. Presenta una topografía plana, con pendientes que van de 5 a 15% y altitudes menores de 300 msnm. Posee

condiciones para la explotación intensiva de una variedad de cultivos, con la posibilidad de implementar sistemas de riego por disponer de un abundante recurso hídrico subsuperficial (Fernández; 2000).

3.1.2. Los suelos de las Series de la Planicie de Nandaime

Según Rodríguez et al. (2003), las Series de suelos de la Planicie de Nandaime presentan las siguientes características.

3.1.2.1. Serie Nandaime (NN)

Tiene una extensión de 25.52 km², que constituye el 6.81 % del área total del municipio. Son suelos aluviales desarrollados de cenizas volcánicas, en una planicie de ligera a fuertemente ondulada y en una área colinada con pendientes de 2 a 30%, en una zona de vida de Bosque Húmedo Subtropical a Sub-Húmedo. Son predominantemente profundos, con pocas áreas moderadamente superficiales y superficiales; bien drenados, con texturas franco arcillosas y arcillosas en la superficie, con subsuelo arcilloso. La erosión es laminar ligera, moderada, fuerte y severa.

3.1.2.2. Serie San Felipe (SF)

Cubre una área 16.84 km², que representa el 4.47% del área total del municipio. Son suelos profundos, bien drenados, de color pardusco. Se derivan de materiales aluviales viejos lavados de las tierras altas volcánicas; se encuentran en planicies con pendientes casi planas o ligeramente onduladas que se extienden al nordeste de Nandaime. Tienen permeabilidad moderadamente lenta, capacidad de humedad disponible moderada. El contenido de materia orgánica es moderadamente alto en el suelo superficial, disminuyendo en el subsuelo. Se encuentran en la zona de vida de Bosque Subtropical Húmedo, Transición a Sub-Húmedo.

3.1.2.3. Serie La Granadilla (LG)

Cubre un área de 3.39 km², que representa el 0.91% del área total del municipio. Son suelos formados a partir de cenizas volcánicas en una planicie aluvial de sedimentación, con 0 a 4% de pendiente; se localizan en una zona de vida de Bosque Subtropical, transición a Tropical Cálido. Estos son profundos y moderadamente superficiales, bien drenados. Con texturas franco arcillo-arenosa con gravas finas, a francos con gravas finas en la superficie y de franco arcillosos a francos en el subsuelo (0 a 42 cm); debajo de 42 cm son franco arenosos y con presencia de talpetate entre 30 y 50 cm.

3.1.2.4. Suelos Aluviales (Txi)

Cubre un área de 21.17 km², que equivale a 5.67% del área total del municipio. Consisten de depósitos de materiales estratificados recientes lavados de las tierras altas adyacentes, de ceniza volcánica, basalto, tobas y areniscas, y que son depositados por los ríos en las tierras bajas. Estos suelos generalmente se encuentran en áreas angostas y alargadas, y tienen mucha variación en drenaje y textura en distancias cortas. Debido a la falta de uniformidad en perfil no se han establecido series, pero los suelos se han diferenciado de acuerdo a textura, drenaje y pendiente.

3.2. Metodología del estudio

Para la evaluación del estado de los suelos de la planicie de Nandaime a través de la identificación y uso de indicadores técnicos y locales de calidad de suelo, se siguieron las siguientes fases 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 siguiente: "Actualización del estado del recurso suelo y capacidad de uso de la tierra en el municipio de Nandaime (Rodríguez et al; 2003), Levantamiento de suelos de la región pacífica

de Nicaragua, volumen I, parte 2, descripción de suelos (Catastro e inventario de recursos naturales de Nicaragua, 1971).

- b) A partir de la problemática que se encontró en los estudios antes mencionados, se planteó los siguientes criterios de selección de las fincas donde se realizó el estudio:
- Fincas donde se reporten bajos rendimientos
 - Fincas con uso intensivo de la tierra
 - Fincas donde se evidencie 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 y en él participaron técnicos del PSO, 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 y el uso de indicadores para evaluar su calidad, mediante la utilización de métodos sencillos.
- d) En el taller antes mencionado se priorizaron las Series de suelos en las cuales se realizó el estudio y se seleccionó de manera preliminar los productores dueños de las fincas sugeridas para ser parte de la investigación.
- e) Gira de reconocimiento para la verificación de sitio. A inicios 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 realizó 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.

3.2.2.1. Evaluación de indicadores de calidad de suelos

En cada finca se seleccionó tres parcelas con usos diferentes: cultivo, pasto y bosque; en cada parcela se evaluaron las características físicas, químicas y biológicas de los suelos. Estas parcelas fueron seleccionadas como comparadores entre sí. Una parte de los indicadores se evaluó en campo (tabla 18).

Tabla 18. Indicadores de calidad de suelo evaluados en campo

Indicadores de calidad de suelos	Método empleado en campo
Estabilidad estructural	Caja de estabilidad
Resistencia mecánica	Penetrómetro de martillo
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 levanto muestra de suelos para cada uno de las parcelas donde se evaluaron los indicadores. Las muestras tomadas se llevaron al Laboratorio de Suelos y Agua de la Universidad Nacional Agraria, donde se realizaron los análisis correspondientes (tabla 19).

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

Indicadores de calidad de suelos	Métodos usados en el laboratorio
Textura	Bouyoucos
Densidad aparente	Cilindro de densidad aparente de 100 cm ³
Densidad real	Picnómetro
Porosidad	A través de fórmula $(1-Da/Dr)*100$
Materia orgánica	Walkley Black
pH	pHchímetro de electrodos
Fósforo (P)	Olsen
Potasio (K)	Olsen
CIC	Kjeldhal

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

Paralelo a la evaluación de indicadores locales de calidad de suelos, se realizó una entrevista semi-estructurada (anexo formato de entrevista) con los productores dueños de las fincas; con el objetivo de recabar información sobre indicadores locales de calidad de suelo 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.

3.2.3.1. 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 datos de laboratorio.

3.2.3.2. Análisis de los resultados

Para el procesamiento y el análisis de los datos se utilizó 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 DISCUSION

4.1. Características y propiedades físico-químicas de los suelos de las Series de la Planicie de Nandaime

En este acápite se describen las propiedades y características físicas y químicas de las Series de suelos Nandaime, San Felipe, La Granadilla y Suelos Aluviales, obtenidos a partir de la evaluación de los indicadores locales de calidad de suelos y los análisis realizados en laboratorio, que a continuación se detallan.

4.1.1. Serie Nandaime (NN)

En esta Serie se estudiaron dos fincas ubicadas en la comunidad Río Chiquito; en ambas fincas se seleccionaran tres parcelas con diferentes usos (cultivo, pasto y boque).

La primera finca pertenece al señor José Domingo Esteban. Tiene una extensión de 8 mz; cuatro de ellas destinados a la agricultura (cultivos: yuca, maíz, frijol y chiltoma) y 2 mz de bosque con árboles de diferentes especies establecidas hace 6 años. Los rendimientos en el cultivo de maíz en los tres últimos años fueron de 20 a 25 qq/Mz, en el cultivo de frijol fueron de 10 a 15 qq/Mz. Labranza utilizada es la tradicional con tracción animal.

La segunda finca pertenece al señor Marcos Lara. Tiene una extensión de 13.5 Mz; 6 Mz con agricultura (banano, tomates, chiltoma, yuca, maíz, frijol y millón), 6 Mz destinadas para la ganadería. Cuenta con una pequeña parcela de bosque con especies tales como roble, madero negro, leucaena (nombre científico en anexos). Utiliza labranza tradicional de tracción animal. El rendimiento promedio de las cosechas (en los tres últimos año) en maíz fue de 25 qq/Mz, en frijol 12 qq/Mz y en millón 50 qq/Mz.

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 las dos fincas estudiadas en la Serie Nandaime se describen a continuación.

4.1.1.1. Características físicas de los suelos de la Serie Nandaime (NN)

En la tabla 20 se resumen las características y propiedades físicas de los suelos de las dos fincas antes mencionada, en parcelas con cultivo, pasto y bosque.

Tabla 20. Característica físicas de los suelos de parcelas con cultivo, pasto y bosque en la Serie Nandaime

Parcela	Pend %	Prof. suelo (cm)	Infiltración (mm)	Color	Estabilidad estructural		Prof. (cm)	Densidad g/cm ³		Poros %	Resistencia mecánica (golpes)	Textura
					Sup	Sub		Da	Dr			
Finca de José Domingo Esteban												
Cultivo	5	Mas de 100	8.78	Pardo rojizo	2	2	0-10	1.08	1.99	45.76	17	A
							10-20				83	
							20-30	-	-		76	
Pasto	5	60-70	8.55	Pardo rojizo	2	2	0-10	1.06	1.98	46.69	37	
							10-20				107	
							20-30				91	
Bosque	10	Mas de 100	15	Pardo rojizo	6	5	0-10	1.13	2.06	45.20	48	
							10-20				72	
							20-30	-	-		106	
Finca de Marcos Lara												
Cultivo	0-2	Mas de 80	2.25	Pardo	5	5	0-10	1.16	2.21	47.54	36	A
							10-20				63	
							20-30	-	-		92	
Pasto	3	25-30	17.77	Pardo rojizo	5	5	0-10	1.25	2.26	44.80	29	
							10-20				53	
							20-30	-	-		67	
Bosque	5	Mas de 80	20.08	Pardo rojizo	6	6	0-10	1.05	1.79	41.50	52	
							10-20				127	
							20-30	-	-		-	

a. Profundidad del suelo

Los suelos de las parcelas con cultivo y bosque son moderadamente profundos, lo cual coincide con los datos de Catastro (1971). Según Rodríguez (2003), estos suelos presentan problemas de prácticas inadecuada de la labranza y pérdida de la cobertura vegetal, factores que han favorecido los procesos de erosión y una

disminución de la profundidad del suelo. Sin embargo, a pesar de la influencia de estos factores negativos estos suelos aun presentan una profundidad óptima para uso agrícola.

No obstante, las parcelas de pasto son moderadamente superficiales, lo cual tiene que ver con la evolución histórica del uso del suelo; una vez que las parcelas de cultivo se han erosionado y se ha disminuido su capacidad productiva, éstas son destinadas a la ganadería.

La disminución de la cobertura vegetal, la labranza inadecuada en el pasado y el sobrepastoreo en la actualidad, son causantes de la compactación, lo que a su vez favorece la erosión del suelo y por ende la disminución de su profundidad.

b. Textura del suelo

Se encontró que los suelos de esta Serie presentan textura arcillosa en los primeros 20 cm. Este resultado difiere a lo descrito por Catastro (1971), que los clasificó como franco arcillo limoso. Este cambio puede explicarse en parte a partir de la erosión que han sufrido éstos suelos, lo cual ha provocado la pérdida del horizonte superficial, quedando al descubierto el horizonte arcilloso subsuperficial (horizonte B).

c. Color del suelo

El color de los suelos de la Serie Nandaime varía de pardo a pardo rojizo, lo cual esta relacionado a los materiales ricos en óxidos de hierro que les dieron origen.

d. Estabilidad estructural del suelo

De acuerdo a resultados obtenidos, estos suelos presentan una estabilidad estructural de agregados que va de muy pobre a buena. Según Trejo et al (1999), la estabilidad estructural muy pobre significa que el 50% de la integridad estructural del suelo se pierde entre los 5 a 30 segundos de inmersión; la estabilidad estructural

bueno significa que el 25 a 75% del suelo permanece en el tamiz después de 5 ciclos de inmersión. La alta estabilidad estructural significa que; 75 a 100% de los agregados del suelo permanecen en el tamiz después de cinco ciclos de inmersión.

La estabilidad estructural muy pobre está relacionada con las condiciones del suelo en el momento de realizar la medición; el suelo estaba relativamente suelto con agregados muy débiles en los primeros centímetros de profundidad debido a las prácticas de cultivo, lo cual favorece una desintegración de los agregados del suelo al entrar en contacto con el agua. En la parcela donde la estabilidad estructural es buena, ésta se debe principalmente al efecto agregante de la arcilla.

En la parcela con pasto la estabilidad estructural es buena debido a la textura arcillosa y el alto contenido de materia orgánica. Según Sampat (1987), tanto las partículas de arcilla como de humus, facilitan la formación de agregados de suelos y a mantenerlos unidos, resistiendo el efecto dispersante del agua.

Por otra parte, la estabilidad estructural en las parcelas con bosque es alta, lo cual está relacionado a valores altos de materia orgánica. Según Sampat (1987), los compuestos orgánicos tienen efectos estabilizador directo causado principalmente por las ceras, grasas y resinas. Por otra parte la mesofauna (caracolillo, lombrices de tierra) durante los periodos de intensa actividad de descomposición mantienen unido en forma mecánica las partículas del suelo.

e. Resistencia mecánica

El número de golpes usado para determinar la resistencia mecánica nos muestra que a los 10 centímetros de profundidad en las parcelas con cultivos, el suelo estaba moderadamente suelto. Este comportamiento se debe al efecto de la labranza, la cual desintegra los agregados de suelos. El comportamiento cambia a los 20 centímetros de profundidad, ya que aquí el suelo se vuelve denso; es decir, que a esta profundidad es donde se forma la capa compacta denominada pie de arado.

Según Porta (1999), la labranza excesiva año con año a una sola profundidad forma un horizonte compacto denominado pie de arado, que dificulta el desarrollo del sistema radicular de los cultivos y la penetración del agua a través del suelo.

El número de golpes usados para determinar la resistencia mecánica, nos muestra que en los suelos de las parcelas con pasto a los 20 centímetros de profundidad, el suelo es denso. El problema de compactación en estas parcelas está asociado a la labranza inadecuada en el pasado (puesto que eran usadas con cultivos) y el sobre-pastoreo en la actualidad.

En dos de las parcelas con bosque el suelo es denso, lo cual está relacionado también al sobre-pastoreo, ya que una gran parte del año el ganado pasta en estas parcelas.

La alta resistencia es causada en primer lugar al largo periodo mecanizado en que estos suelos fueron sometidos en el pasado, con el establecimiento de cultivos anuales y actualmente, la mayor parte del año el ganado es pastoreado en estas parcelas de bosque.

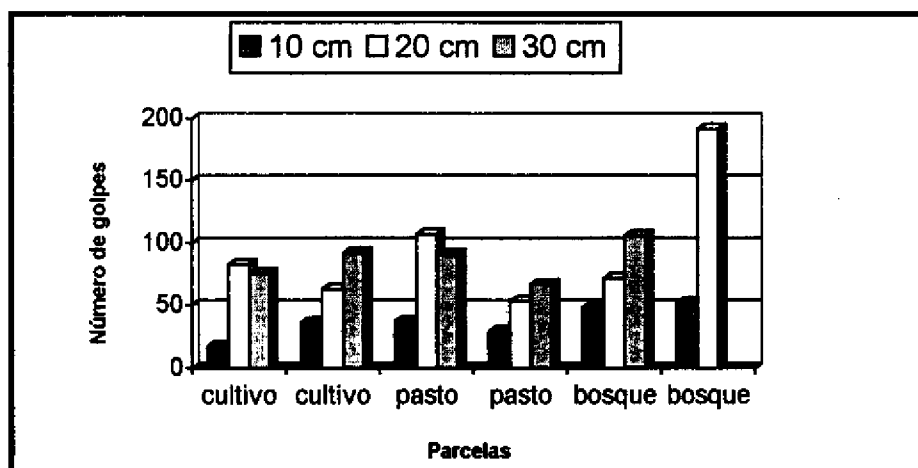


Figura 2. Comportamiento de la resistencia mecánica de los suelos de la Serie Nandaime

f. Porosidad del suelo

En las parcelas de cultivo y pasto la porosidad varía de 45 a 47 (porosidad media), lo cual es inferior a lo reportado para la textura arcillosa (58% de porosidad). Al parecer la compactación ha reducido la proporción de poros y es de esperarse que predominen los poros finos, lo cual dificultan la circulación del agua y del aire, así como la penetración de raíces.

En cambio, en la parcela de bosque la porosidad varía entre baja y media (41.5 a 45.2 % de porosidad), pero debido a que en éstos existe mayor actividad biológica (raíces, lombrices de tierra, caracolillos, entre otros), puede que aquí exista un mayor equilibrio entre poros finos y medios.

Según Foth (1985), los suelos arcillosos alcanzan porosidad hasta más de 55 %. La cantidad y naturaleza de la materia orgánica influyen positivamente en la porosidad, así como en su estructura.

g. Densidad aparente

La densidad aparente en las parcelas con cultivo y bosque puede clasificarse como baja (entre 1.0 a 1.2 g/cm³). Según Pritchett (1990), los suelos arcillosos presentan densidad aparente 1.0 a 1.2 g/cm³. No obstante Rodríguez (2003), señala que estos suelos presentan poco peso específico debido a que fueron originados a partir de materiales volcánicos.

Sin embargo, en la parcela con pasto la densidad aparente varía entre baja y media (1.06 a 1.25 g/cm³); el incremento del valor de la densidad posiblemente esté relacionado a problemas de compactación causada por el pisoteo de ganado. Según Pritchett (1990), a medida que los suelos se compactan disminuye la porosidad y aumenta la densidad aparente.

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

Según los resultados obtenidos existe una relación directa entre el comportamiento de la densidad aparente y el contenido de materia orgánica. Si el contenido de materia orgánica en el suelo aumenta, disminuye la densidad aparente; por otra parte, si la materia orgánica del suelo disminuye, aumenta la densidad aparente (figura 3). 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. Cabe señalar que a mayor profundidad la densidad aparente será mayor, debido a la disminución en el contenido de materia orgánica del suelo.

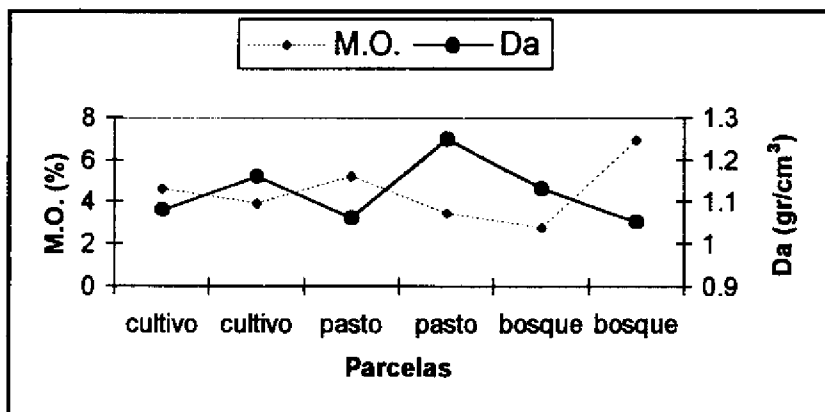


Figura 3. Comportamiento de la densidad aparente con respecto a la materia orgánica en la Serie Nandaime

i. Infiltración

En las parcelas con cultivo la infiltración es lenta a muy lenta (figura 4), lo cual está relacionado a la textura arcillosa y la compactación que dificulta la penetración del agua en el suelo. Según Porta (1999), los suelos arcillosos tienen una velocidad de infiltración muy lenta, en comparación con los suelos arenosos que presentan una velocidad de infiltración alta.

En la parcela con pasto la infiltración es rápida, a pesar de su textura arcillosa, pero ésto se debe a la presencia de pequeñas grietas. Según Porta (1999); es común que en suelos arcilloso expandibles existan grietas, lo cual facilita la penetración del agua. La infiltración del agua en el suelo es afectada por factores físicos tales como la estructura del epipedon, existencia de grietas, granulometría, contenido inicial de humedad

En cambio, en las parcelas con bosque la infiltración es rápida a muy rápida; la mejor estructura y porosidad (macro y mesoporos) que presentan estos suelos facilita la penetración de agua (figura 4). Según Pritchett (1990), la materia orgánica de los suelos influye positivamente en la formación de poros del suelo.

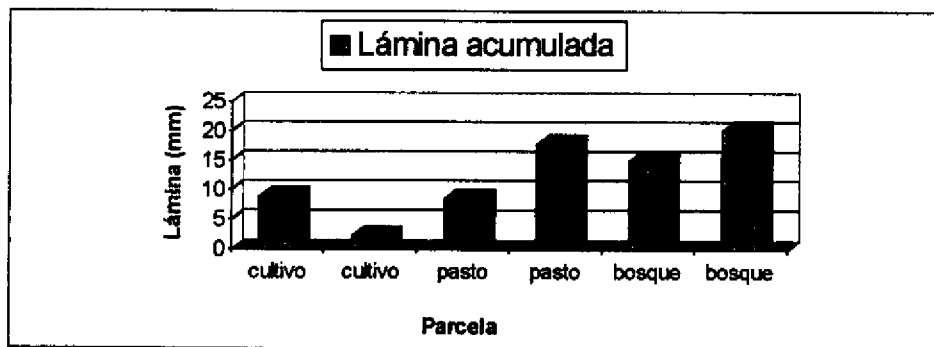


Figura 4. Infiltración del agua en los suelos de la Serie Nandaime.

4.1.1.2. Características químicas de los suelos de la Serie Nandaime (NN)

En la tabla 21 se resumen los resultados de las características químicas de los suelos de las parcelas con cultivo, pasto y bosque de las dos fincas estudiadas, los cuales se detallan a continuación.

Tabla 21. Características químicas de los suelos de las parcelas con cultivo, pasto y bosque en la Serie Nandaimé

Parcela	pH	M.O (%)	P (ppm)	K (meq/100g)	CIC (meq/100g)
Finca de José Domingo Esteban					
Cultivo	6.47	4.62	4.69	0.10	35.34
Pasto	6.17	5.22	2.35	0.18	35.80
Bosque	6.26	2.74	ND	0.21	32.70
Finca de Marcos Lara					
Cultivo	6.36	3.90	4.66	0.10	30.21
Pasto	6.56	3.43	ND	0.18	31.14
Bosque	6.82	6.93	5.36	0.23	43.45

a. pH

De acuerdo con la clasificación de Quintana (1983), los suelos de esta Serie se clasifican como ligeramente ácidos, lo cual se considera satisfactorio para la mayoría de cultivos. Según Foth (1985), comúnmente la mayoría de los cultivos especialmente las legumbres, se desarrollan en pH con valores entre 6.5 a 7.2.

b. Materia orgánica

En las parcelas con cultivo el contenido de materia orgánica es variable alcanzando valores desde 3.90 a 4.62%, los cuales se clasifican como medio y alto respectivamente (de acuerdo a la clasificación de Quintana, 1983). El contenido alto está relacionado a ciertas prácticas de manejo que se realizan en estas parcelas tales como la no quema e incorporación de rastrojos. El contenido medio está asociado con prácticas inadecuadas (la quema y la no-incorporación de rastrojos) y a la pérdida de la capa superficial del suelo por erosión.

En una de las parcelas con pasto el contenido de materia orgánica es alto. En la otra parcela el contenido de materia orgánica es media, debido a las pérdidas ocasionados por la erosión (de la capa superficial) y la mineralización de los componentes orgánicos.

El contenido de materia orgánica en una de las parcelas con bosque es alto debido al aporte de hojarasca, raíces, presencia de la flora y fauna del suelo; mientras que en la otra parcela con bosque el contenido es medio, debido a que el aporte de materia orgánica es menor (bosque joven) y que en esta parcela la vegetación es menos densa.

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-químicas del suelo y otros factores como el tipo y duración de la explotación del suelo.

c. Fósforo

En todas las parcelas estudiadas en esta Serie el contenido de fósforo disponible es bajo, lo cual coincide con el reportado por Catastro (1971). El bajo contenido de fósforo en estos suelos puede estar relacionado a la fijación que realizan de este elemento los compuestos de óxido de hierro y óxido de aluminio, volviendo el elemento (fósforo) no disponible.

Según Salmerón (1994), los suelos derivados de cenizas volcánicas son deficientes en fósforo disponible; la capacidad de fijación de fósforo disponible en estos suelos está relacionada a la alta reactividad y afinidad de la superficie del mineral arcilloso por fósforo.

d. Potasio

En la parcela de bosque el contenido de potasio disponible es medio. Mientras que en las parcelas de cultivo y pasto el contenido es pobre, lo cual difiere con los datos de Catastro (1971) ya que los valores reportados son medios. Posiblemente este cambio esté relacionado con la alta movilidad de este elemento (es el más móvil después del nitrógeno), que lo vuelve susceptible a las pérdidas por lavado y erosión.

Según Salmerón (1994), la velocidad de liberación del potasio para su utilización por las plantas en los suelos originarios de cenizas volcánica es frecuentemente demasiado lento; el ritmo de liberación puede ser acelerado por un buen tratamiento del suelo (incorporación de materia orgánica).

e. Capacidad de intercambio de cationes (CIC)

De acuerdo a los resultados de laboratorio la capacidad de intercambio de cationes en las parcelas estudiadas es alta. Estos altos valores están relacionados con la textura, el contenido de materia orgánica y el pH de estos suelos.

Según Fassbender (1984); las partículas del suelo como el humus y la arcilla son las responsables de incrementar la capacidad de intercambio catiónico; a mayor contenido de materia orgánica la capacidad de intercambio catiónico es mayor (figura 5).

Según Porta (1999), la reacción de los suelos influye en el contenido de materia orgánica; se ha encontrado que en suelos con valores de pH menores de 6 y 7.5 resulta más eficiente la mineralización y humificación de la materia orgánica, incrementando la capacidad de intercambio catiónico de los suelos.

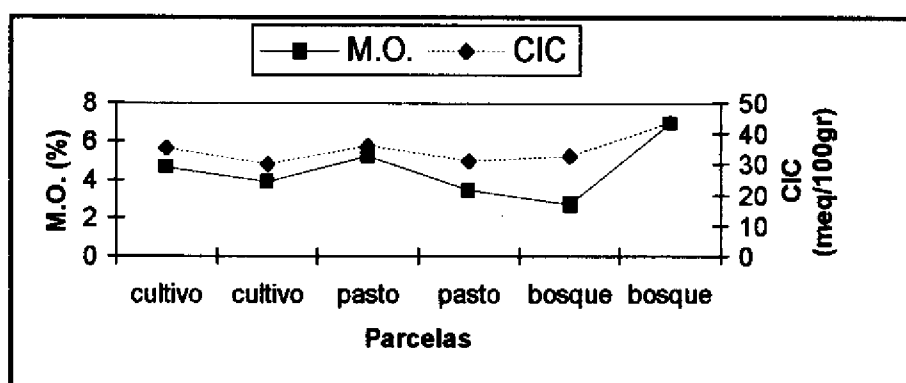


Figura 5. Comportamiento de la capacidad de intercambio catiónico con respecto a la materia orgánica en suelos de la Serie Nandaime.

4.1.2. Serie San Felipe

En esta Serie se estudiaron dos fincas con parcelas con cultivo y árboles dispersos. La primera finca está ubicada en la comunidad La Orilla y pertenece al señor Miguel Fautusell; tiene una extensión de 750 mz y está dividida en cinco lotes, todos plantados con el cultivo de yuca para la exportación. Utiliza labranza mecanizada, sistema de riego por aspersión y fertilizante químico inorgánico. Cuenta con una pequeña parcela de árboles disperso de 1.5 mz establecidos hace unos 4 años; en esta pequeña parcela prevalece la especie de leucaena.

La segunda finca pertenece al señor Gerardo Briceño y esta ubicada en la comunidad La Barranca; tiene una extensión de 5.5 mz. Anteriormente, estos suelos fueron cultivados con el algodón; actualmente se cultiva frijol (con rendimiento promedio en los tres últimos años de 12 qq/mz), maíz (con rendimiento de 18 a 25 qq/mz), sandía, chiltoma, yuca, plátano, árboles frutales (cítrico, aguacate, jocote). Utiliza labranza tradicional con tracción animal.

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; en los suelos de las dos fincas estudiadas en la Serie San Felipe se describen a continuación.

4.1.2.1. Características físicas de los suelos de la Serie San Felipe (SF)

En la tabla 22 se resumen las características y propiedades físicas de los suelos de las parcelas con cultivo y árboles dispersos de las fincas ubicadas dentro de la Serie San Felipe.

Tabla 22. Propiedades físicas de suelos de las parcelas con cultivo y árboles dispersos en la Serie San Felipe

Parcela	Pend. (%)	Prof. suelo (cm)	Infiltración (mm)	Color	Estabilidad estructural		Prof. (cm)	Densidad (g/cm ³)		Poros (%)	Resistencia mecánica (golpes)	Textura	
					Sup	Sub		Da	Dr				
Finca de Miguel Fautussel													
Cultivo	0-2	Mas de 80	1.17	Pardo oscuro	5	4	0-10	1.20	2.18	45	95	FAa	
							10-20				114		
							20-30				76		
Árboles	0-2	Mas de 100	6.27		5	5	0-10	1.24	2.22	44	50	FA	
							10-20				191		
							20-30				-		
Finca de Gerardo Briceño													
Cultivo	0-2	Mas de 80	9.53	Pardo claro	6	6	0-10	1.03	1.62	36	49	FA	
							10-20				99		
							20-30				68		
Árboles	0-2	Mas de 100	4.43		Pardo amarillento	6	6	0-10	1.06	2.16	50		95
								10-20					159
								20-30					95

a. Profundidad

La profundidad de los suelos en las parcelas estudiadas varía de profundos a moderadamente profundos; ésta última categoría difiere de lo reportado por Catastro (1971), ya que en éste se reportan como suelos profundos.

Según Rodríguez (2003), esta disminución de la profundidad se debe a que estos suelos están siendo utilizados por encima de su capacidad productiva (desde hace más de 40 años), de manera que se ha favorecido la erosión de la superficie del suelo, provocando la disminución en su profundidad.

Sin embargo, a pesar de la influencia de este factor negativo estos suelos aun presentan una profundidad óptima para uso agrícola.

b. Textura

Catastro (1971), describe la textura de los suelos de esta Serie como franco arcillosa a franco arcillo-limosa. Los resultados de esta evaluación indican que los suelos de esta Serie presentan textura franco-arcillosa (tabla 22), a excepción de una parcela con cultivo donde se clasifica como franco arcillo-arenosa.

Este cambio en la textura se explica en parte por la pérdida de las partículas finas del suelo causada por la erosión, como es el caso del limo que puede ser removido más fácilmente por la acción del agua y el viento.

c. Color

Los suelos de esta Serie son de color pardo oscuro, lo cual coincide con lo reportado por Catastro (1971).

d. Estabilidad estructural

La estabilidad estructural medida en las parcelas con cultivo resulta entre regular a buena. El resultado regular es influenciado por la escasa formación de la estructura del suelo, ya que ésta es intervenida por la actividad mecanizada en estos suelos y la escasez marcada en el contenido de materia orgánica.

Por otra parte, en estas parcelas se realizan prácticas de fertilización química y según Sampat (1987), los fertilizantes químicos tienden a degradar la estructura del suelo, al intensificar la mineralización de la materia orgánica.

En una de las parcelas con cultivo la estabilidad estructural es buena, debido al efecto benéfico causado por el alto contenido de materia orgánica. No obstante, en las parcelas con árboles la estabilidad estructural es alta, lo cual está relacionado con el efecto agregante del suelo causado por la materia orgánica y la actividad biológica (principalmente raíces y otros). Según Porta (1999), la velocidad de

crecimiento de las raíces de las plantas ensancha huecos preexistente y desecan el suelo, dando lugar a agregados estables del tipo granular compuesto.

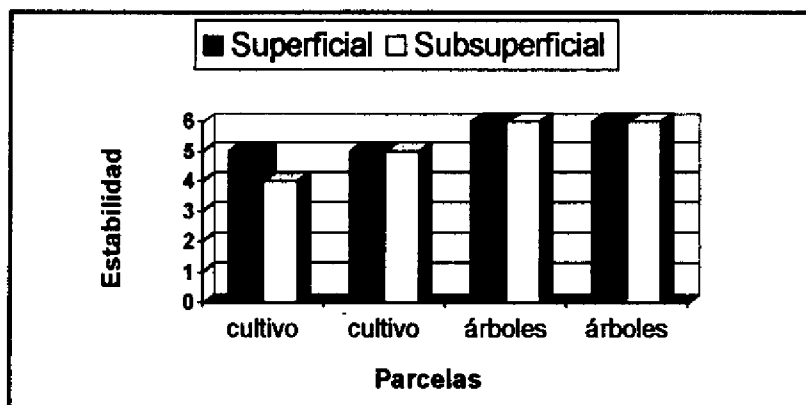


Figura 6. Comportamiento de la estabilidad estructural de suelos de la Serie San Felipe.

e. Resistencia mecánica

El número de golpes usado para determinar la resistencia mecánica indica que, a los 10 centímetros de profundidad en las parcelas con cultivos y árboles, el suelo tiene una resistencia mecánica que varía de densa a extremadamente densa (figura 7).

Esto significa que el suelo de ambas parcelas está compactado. Según Porta (1999), la compactación principalmente en la agricultura mecanizada es un proceso mediante el cual se produce una compresión de un suelo y como consecuencia el suelo se vuelve resistente a la penetración de cualquier objeto punzante.

En las parcelas con cultivo la compactación está influenciada por el uso intensivo al cual han estado siendo sometidos estos suelos, sin las debidas medidas de conservación de este recurso. En las parcelas con árboles la compactación ha sido inducida por la misma causa que en las parcelas con cultivo, debido a que estos suelos en el pasado fueron fuertemente mecanizados.

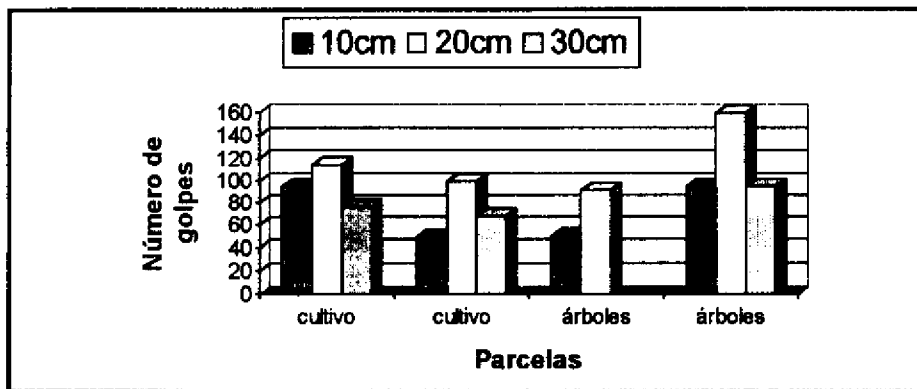


Figura 7. Comportamiento de la resistencia mecánica en los suelos de la Serie San Felipe.

f. Porosidad

En las parcelas con cultivo la porosidad es variada, de muy baja a media (36 a 45 %), lo cual no está acorde con lo reportado para la textura franco arcillosa de estos suelos. Según Fitz Patric (1987), el 55 % de poros es lo óptimo para suelos con textura franco arcillosa. Estos porcentajes bajo y medio de la porosidad de estos suelos se le atribuye a los problemas de compactación.

Según Porta (1999); la compactación controla el número y tamaño de los poros del suelo y de su posición, lo que permite el sellamiento de las galerías de la micro y macro fauna y a la vez dificultando el desarrollo del sistema radicular de las plantas.

En las parcelas con árboles la porosidad está entre baja a media; la explicación a este comportamiento se relaciona con que estos suelos en años anteriores fueron fuertemente cultivados y los árboles son jóvenes como para ejercer una influencia marcada en esta porosidad.

g. Densidad aparente

La densidad aparente en las parcelas con cultivo es baja; mientras que en las parcelas con árboles es de baja a muy baja, lo cual puede estar relacionado con el

bajo peso específico de los materiales volcánicos que les dieron origen y al efecto benéfico de la materia orgánica.

Según Arias (1998), existe una relación directa entre el comportamiento de la densidad aparente y el contenido de materia orgánica, es decir, en las parcelas donde la materia orgánica es alta la densidad aparente tiende a ser baja y viceversa, tal como se observa en el figura 8. Según Cairo (1995), la materia orgánica disminuye la densidad aparente al influir positivamente en la porosidad.

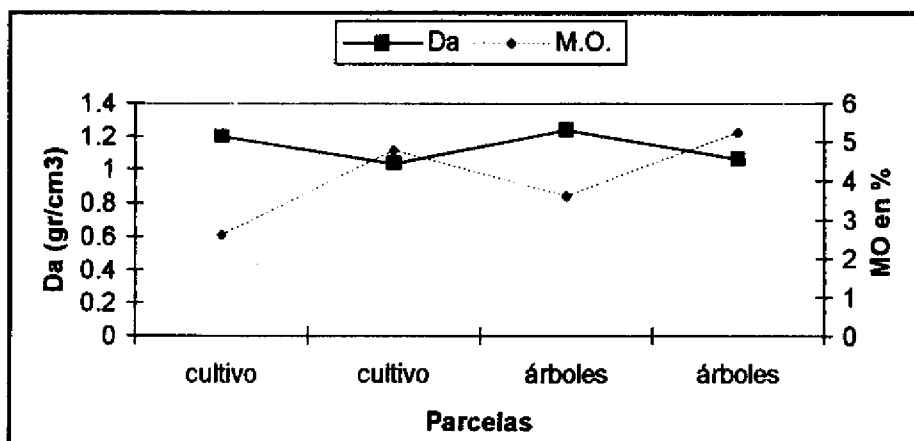


Figura 8. Comportamiento de la densidad aparente con respecto a la materia orgánica en los suelos de la Serie San Felipe.

h. Infiltración

En una de las parcelas con cultivo la infiltración es rápida (figura 9); este comportamiento se debe a efecto benéfico del alto contenido de materia orgánica en estos suelos. Mientras que en otra es muy lenta, lo cual está influenciado por la compactación de estos suelos, también se puede atribuir esta lenta infiltración al tipo de sistema de riego.

Según Porta (1999), las características del riego por aspersión (intensidad, tamaño de las gotas, energía cinética de las gotas simuladas del sistema de riego) producen un efecto de salpicadura ocasionando el sellamiento, apelmazamiento y encostramiento de

las partículas superficiales del suelo, dificultando la infiltración del agua en el suelo y ocasiona a su vez escorrentía sobre la superficie.

Un comportamiento similar ocurre en una de las parcelas con árboles, ya que en esta la infiltración es muy lenta, pero aquí es debido a la compactación del suelo ocasionada en el pasado. Mientras en la otra parcela la infiltración es muy rápida, debido a que el suelo presentaba pequeñas grietas y por tanto el agua penetraba con mas facilidad.

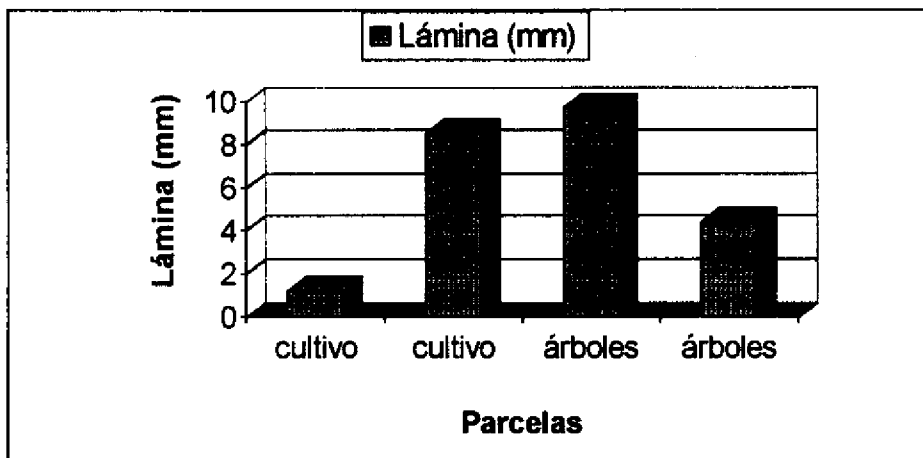


Figura 9. Comportamiento de la infiltración del agua en suelos de la serie San Felipe

4.1.2.2. Características químicas de los suelos de la Serie San Felipe (SF)

En la tabla 23 se resumen los resultados de las características químicas de los suelos de las parcelas con cultivo, árboles disperso de las dos fincas estudiadas en la Serie de suelo San Felipe, los cuales se detallan a continuación.

Tabla 23. Características químicas de parcelas con cultivo y árboles en la Serie San Felipe

Parcelas	pH	M.O. (%)	P (ppm)	K (meq/100g)	CIC (meq/100g)
Finca de Miguel Fautussell					
Cultivo	6.87	2.61	36.60	0.13	20.86
Árboles	7.12	4.02	8.35	0.21	22.17
Finca de Gerardo Briceño					
Cultivo	6.59	4.78	7.25	0.18	21.25
Árboles	6.68	5.25	6.33	0.33	27.55

a. pH

En las parcelas con cultivo y árboles el pH varía entre muy ligeramente ácido y neutro, lo cual difiere con lo reportado por Catastro (1971), ya que en éste se reporta que estos suelos eran ligeramente ácidos. Esto puede estar relacionado con un incremento de bases en el complejo de intercambio catiónico, favorecido por el uso de fertilizantes inorgánicos que contenían elementos tales como el Ca y Mg.

b. Materia orgánica

En una de las parcelas con cultivo el contenido de materia orgánica es medio, debido a la pérdida de la capa superficial del suelo por erosión hídrica y eólica, así como por la mineralización de la materia orgánica favorecida por el laboreo continuo. En cambio, en otra parcela el contenido es alto debido a que el productor incorpora rastrojo de cosecha y hay más cobertura vegetal, los que evita la pérdida de suelos por erosión. Según Trejo et al (1999), el manejo del suelo afectaría los niveles y rango de variación en contenido de la materia orgánica en el suelo, suelos con agricultura convencional experimentan contenidos bajo de materia orgánica y son susceptibles a la erosión; en cambio, suelos con agricultura conservacionistas experimentan altos contenidos de materia orgánica debido a que su movilización se da en una mínima cantidad.

Por otro lado, los resultados con respecto al contenido de la materia orgánica en las parcelas con árboles indican que el contenido es alto. Esto se explica debido al aporte de hojarasca que proporcionan los árboles al suelo, mejorando positivamente el contenido de materia orgánica y la actividad biológica del suelo.

c. Fósforo

En las parcelas con árboles y en una parcela con cultivo el contenido de fósforo disponible es pobre (<10 ppm) de acuerdo a la clasificación de Quintana (1983), lo cual coincide con lo reportado por Catastro (1971), puesto que en éste se reporta que estos suelos son generalmente bajos en fósforo disponible. Sin embargo; en la otra parcela con cultivo el contenido de fósforo disponible es alto, debido a que este productor aplica considerables cantidades de fertilizantes químicos inorgánicos para satisfacer la demanda del cultivo de yuca destinada a la exportación. Según Pavón (1996), la aplicación de fertilizantes inorgánicos incrementa la cantidad de fósforo en la solución del suelo.

d. Potasio

En las parcelas con cultivo el contenido de potasio disponible es pobre (<0.2 meq/100g de suelo) de acuerdo con la clasificación de Quintana (1983), lo que difiere a lo reportado por Catastro (1971), donde menciona que el contenido de potasio es medio. Este cambio puede estar relacionado con la alta movilidad de este elemento, que lo vuelve susceptible a las pérdidas por lavado y erosión. Según Pavón (1996), el potasio es el segundo macro elemento más móvil en el suelo, después del nitrógeno.

En cambio en las parcelas con árboles el contenido de potasio es medio (0.2 a 0.3 meq/100g de suelo); al parecer, el aporte de materia orgánica al suelo ha contribuido a recuperar el contenido de este elemento.

e. Capacidad de intercambio de cationes (CIC)

La capacidad de intercambio de cationes en las parcelas con cultivo y en una parcela con árboles es media (15 a 25 meq/100g de suelo), de acuerdo con la clasificación de Quintana (1983). Este comportamiento se atribuye en parte a la clase textural franco arcilloso-arenosa y franco arcillosa de estos suelos. Según Fassbender (1984), los suelos con textura franco arcillo-arenosa y franco arcillosa presentan deficiencia en la función como cambiadores.

En una de las parcelas con árboles la CIC es alta (25 a 40 meq/100g de suelo), debido a que ésta tiene un mayor contenido de materia orgánica. La CIC depende del contenido de arcilla y de materia orgánica, tal como puede observarse en la figura 13, a medida que aumenta el contenido de materia orgánica aumenta la CIC.

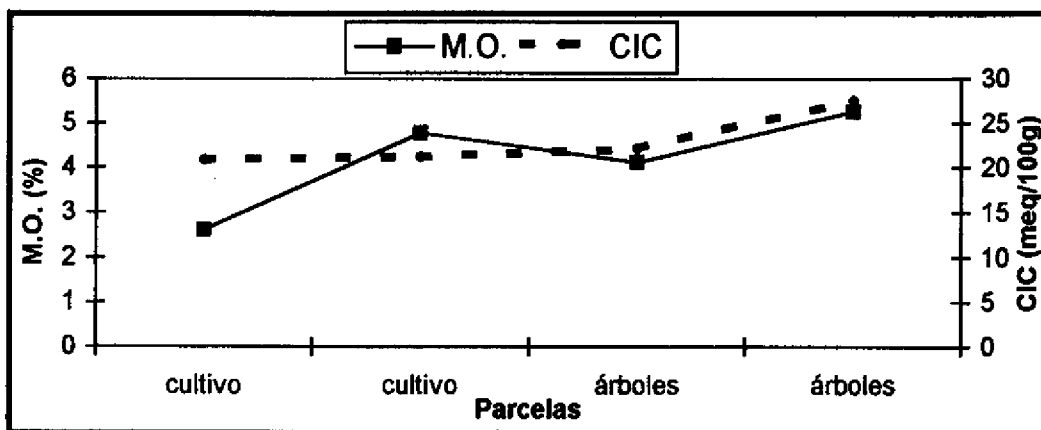


Figura 10. Comportamiento de la CIC con respecto a la materia orgánica en suelos de la Serie San Felipe.

4.1.3. Serie la Granadilla (LG)

En esta Serie se estudiaron dos fincas con cultivos y árboles frutales; ambas fincas están ubicadas en la comunidad La Granadilla.

Una de las fincas pertenece al señor Pedro Acevedo. Tiene una extensión de 2.5 mz de tierra; toda el área esta destinada al uso agrícola con cultivos de maíz (con rendimiento promedio en los tres últimos año de 25 qq/mz) y frijol (rendimiento de 15 qq/mz). A demás posee una parcela con árboles frutales como mango, aguacate, cítricos, papaya y plátano. Utiliza labranza tradicional con tracción animal; realiza rotación de cultivo, incorporación de rastrojo y la no quema.

La otra finca pertenece a la señora Martha López y tiene una extensión de 5 mz. La mayor parte del área esta destinada para la agricultura: maíz (con rendimiento promedio en los tres últimos año de 4 qq/mz) y frijol (con rendimiento de 12 qq/mz); a demás, cuenta con una área con árboles frutales. La labranza en esta finca es de forma tradicional con tracción animal; no quema y no hacen rotación de cultivo, pero incorporan los residuos de cosecha.

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.

4.1.3.1. Característica físicas de los suelos de la Serie La Granadilla (LG)

En la tabla 24, se resumen las características y propiedades físicas de los suelos de las dos fincas con parcelas de cultivo y árboles frutales.

Tabla 24. Características físicas de los suelos de dos fincas de la Serie La Granadilla

Parcela	Pend. %	Prof. suelo (cm)	Infiltración (cm)	Color	Estabilidad estructural		Prof (cm)	Densidades (g/cm ³)		Poros (%)	Resistencia mecánica (golpes)	Textura
					Sup	Sub		Da	Dr			
					Finca de Pedro Acevedo							
Cultivo	2	Mas de 80	20.22	Pardo	5	5	0-10	0.87	1.94	55	8	FA
							10-20				19	
							20-30				31	
Arboles/ frutales	2	Mas de 80	4.22	Pardo	6	5	0-10	1.05	14.91	45	55	
							10-20			-	62	
							20-30			-	27	
Finca de Martha López												
Cultivo	2	Mas de 80	17.07	Pardo	5	4	0-10	0.98	2.09	53	23	FAa
							10-20				68	
							20-30				55	
Arboles/ frutales	2-3	Mas de 80	3	Pardo amarilento	6	6	0-10	1.20	2.18	45	43	
							10-20			-	42	
							20-30			-	29	

a. Profundidad

Los suelos de las parcelas con cultivo y árboles frutales son profundos, lo cual coincide con lo reportado por Catastro (1971); no obstante, hay evidencia de pérdida del horizonte superficial. Según Rodríguez (2003), estos suelos han perdido parte del Horizonte A por erosión de tipo laminar. Sin embargo, estos suelos presentan condiciones de profundidad aptas para uso agrícola, pero se requiere la implementación de prácticas de conservación de suelo y un uso adecuado del recurso suelo.

b. Textura

Se encontró que los suelos de esta Serie presentan clase textural variada entre franco arcillosa a franco arcillo-arenosa. Estos resultados difieren con la textura reportada por Catastro (1971), el cual los clasifica como suelos de textura franca.

El cambio en la textura de estos suelo se debe posiblemente a los problemas de labranza y erosión (hídrica y eólica) que han sufrido estos suelos, principalmente de las partículas de limo. Porta (1999), plantea que en un suelo que es removido por la

labranza año tras año, se ocasiona un cambio de posición entre las distintas capas texturales y por ende una alteración en su granulometría.

c. Color

Las parcelas con cultivo y con árboles frutales presentan color pardo a pardo amarillento; mientras que Catastro (1971) reporta un color pardo muy oscuro. Según Rodríguez (2003), el color pardo corresponde a un horizonte subsuperficial, lo cual sugiere la pérdida del horizonte superficial por causa de la erosión que han sufrido estos suelos.

d. Estabilidad estructural

De acuerdo a los resultados, los suelos de la Serie La Grandilla presentan estabilidad estructural que oscila entre buena a alta. Pese a que se tiene una clase textural variada (franco arcillosa a franco arcillo-arenosa), su buena estabilidad estructural se debe a los altos contenidos de materia orgánica en estos suelos.

Según Sampat (1991), los compuestos húmicos provenientes de la materia orgánica producen mayor agregación en las partículas del suelo. La buena estabilidad estructural, según CIAT (2002), significa que el 25 a 75 % del suelo permanece en el tamiz después de 5 ciclos de inmersión. La alta estabilidad estructural significa que los agregados del suelo mantienen el 100% de su integridad después de 5 ciclos de inmersión. Lo cual está relacionado con el alto contenido de materia orgánica y al efecto de agregación del suelo favorecido por la actividad biológica del suelo (raíces, microflora, mesofauna y otros).

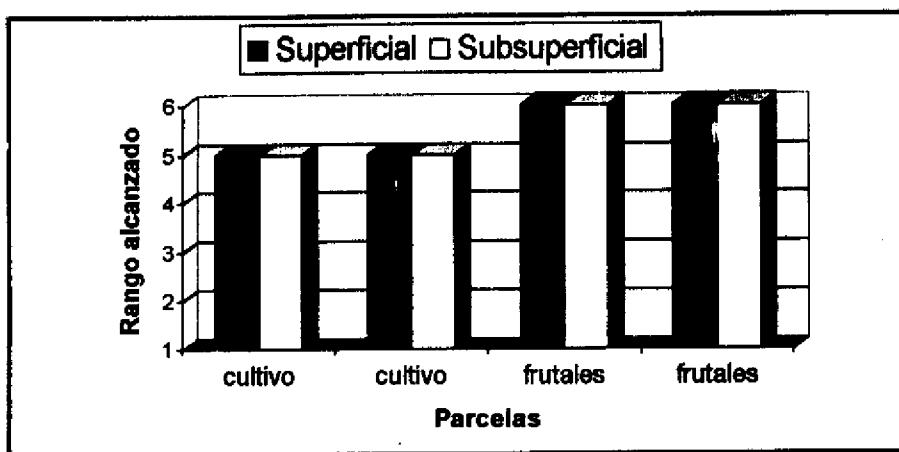


Figura 11. Comportamiento de la estabilidad estructural en los suelos de en la Serie La Granadilla.

e. Resistencia mecánica

La resistencia mecánica en los suelos de las parcelas con cultivo es variable, de acuerdo al número de golpes utilizados en la medición de este indicador. En una de las parcelas el suelo es suelto en los primeros 10 cm y medianamente suelto de los 10 a los 20 cm de profundidad, debido a que este suelo es friable y no ofrece resistencia a la penetración.

En cambio, en la otra parcela el suelo es medianamente denso en los primeros 10 cm y muy denso de los 10 a los 20 cm de profundidad (figura 12), debido a la compactación causada por la labranza inadecuada en años anteriores en estos suelos.

En las parcelas con árboles frutales el suelo es denso en una de ellas y muy denso en la otra parcela, lo cual indica que existen problemas de compactación, causada por la excesiva labranza a que fueron sometidos en el pasado.

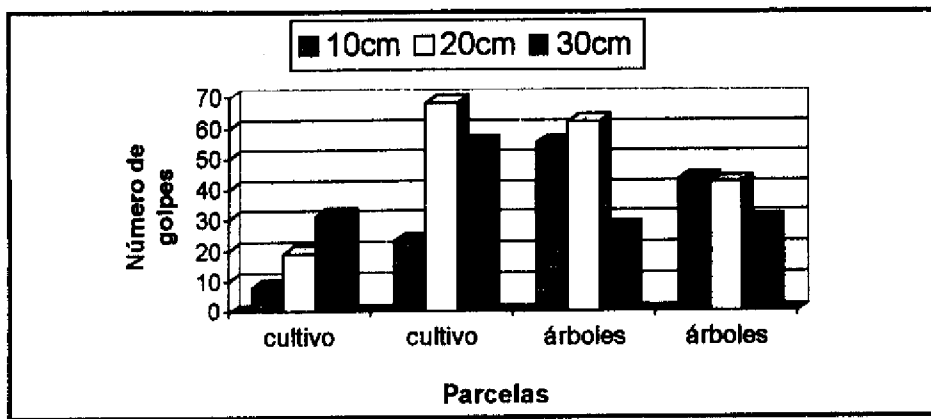


Figura 12. Comportamiento de la resistencia mecánica en los suelos de la Serie La Granadilla.

f. Porosidad

En las parcelas con cultivo la porosidad es alta (de acuerdo a la clasificación de Cairo, 1995) con 55 % de poros, porcentaje considerado como óptimo de acuerdo a la clase textural de estos suelos. Según Cairo (1995), los suelos de textura franco-arcillosa presentan porosidad de 55%, que es lo recomendado para uso agrícola.

En las parcelas con árboles frutales encontramos un contenido medio de poros (45 %), de acuerdo a la clasificación de Cairo (1995); lo cual se debe a los problemas de compactación que presentan estos suelos, que reduce el número de poros.

g. Densidad aparente de los suelos

La densidad aparente de estos suelos oscila entre muy baja a baja (0.87 a 1.2 g/cm³), de acuerdo a la clasificación de Cairo (1995). Según Rodríguez (2003), este bajo comportamiento de la densidad aparente se debe al origen de formación de estos suelos (materiales volcánicos con bajo peso específico) y al alto contenido de materia orgánica. Según Porta (1999), la densidad está directamente relacionada con el contenido de materia orgánica de los suelos (figura 13), que favorece en gran medida la regulación de la densidad aparente de los suelos.

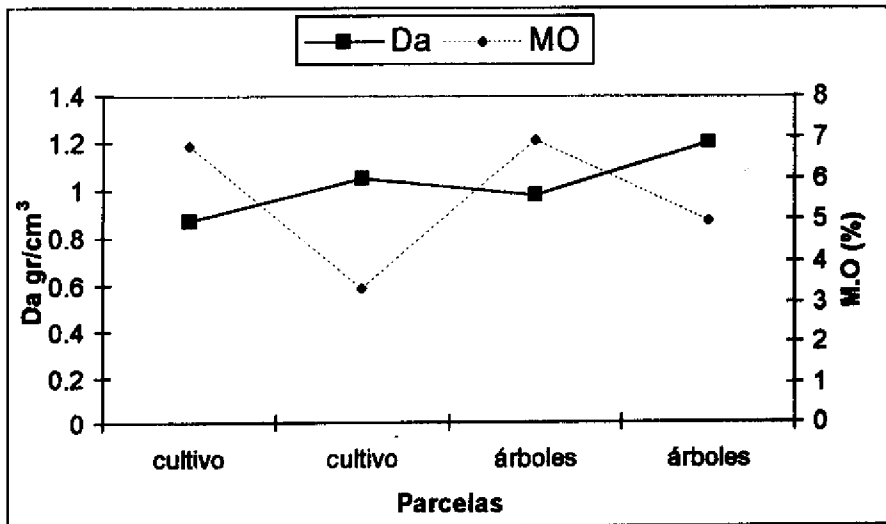


Figura 13. Comportamiento de la densidad aparente con respecto a la materia orgánica en los suelos de la Serie La Granadilla.

h. Infiltración

En las parcelas con cultivo la infiltración es rápida (figura 14) debido a que el suelo estaba relativamente suelto, al efecto positivo de la materia orgánica y las condiciones óptimas en cuanto a porcentaje de porosidad.

En las parcelas con árboles frutales la infiltración es muy lenta, debido a que el suelo está compactado. La compactación según Porta (1999), provoca el sellamiento de los espacios poroso de los suelos, dificultando el paso del agua a través del mismo (figura 14).

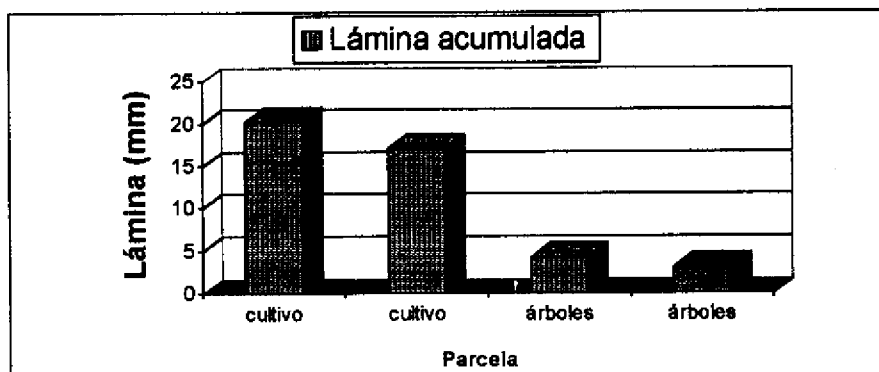


Figura 14. Comportamiento de la infiltración del agua en los suelos de Serie La Granadilla.

4.1.3.2. Características químicas de los suelos de la Serie La Granadilla (LG)

En la tabla 25 se resumen las características químicas de los suelos de las parcelas con cultivo y árboles frutales de las dos fincas estudiadas en la Serie La Granadilla.

Tabla 25. Características químicas de los suelos de las parcelas con cultivo y árboles frutales en la Serie La Granadilla

Parcela	pH	M.O. (%)	P (ppm)	K (meq/100g)	CIC (meq/100g)
Finca de Pedro Acevedo					
Cultivo	6.58	6.80	7.61	0.33	27.62
Árboles	6.64	6.93	20.10	0.33	29.84
Finca de Martha López					
Cultivo	6.56	3.36	30.78	0.46	18.58
Árboles	6.75	4.95	20.52	0.51	17.37

a. pH

En las parcelas estudiadas el pH del suelo se clasifica como muy ligeramente ácido, excepto en una parcela con árboles donde el pH es neutro. Se observa una pequeña variación con respecto a lo reportado por Catastro (1971), ya que éste refleja pH neutro para estos suelos.

b. Materia orgánica

En una de las parcelas con cultivo el contenido de materia orgánica es alto (6.80 %), de acuerdo a la clasificación de Quintana (1983), debido a que el productor no quema e incorpora rastrojos; en cambio, en la otra parcela el contenido es medio; el contenido medio de la materia orgánica en esta parcela se debe a que el agricultor no incorpora los residuos de cosecha. Según Trejo et al (1999), una de las fuentes principales de la materia orgánica son los restos vegetales, y en los terrenos agrícolas lo constituye en su mayoría los residuos de cosecha.

En las parcelas con árboles el contenido de materia orgánica es alto (>4 %), de acuerdo con la clasificación de Quintana (1983). Este alto contenido se debe al aporte de hojarasca, raíces, micro flora y fauna del suelo.

c. Fósforo

De acuerdo con lo reportado por Catastro (1971), en estos suelos el contenido de fósforo era bajo. Sin embargo, actualmente sólo una parcela con cultivo muestra un contenido bajo de este elemento. Cabe señalar que en el pasado estos suelos fueron de uso intensivo, en los cuales se realizaron aplicaciones de fertilizantes químicos inorgánicos a gran escala.

Según Pavón (1996), los fertilizantes fosfóricos juegan un papel importante en el contenido de fósforo disponible de los suelos, debido a su poca movilidad en la solución del suelo.

d. Potasio

Según Catastro (1971) el contenido de potasio en estos suelos era bajo; no obstante, los resultados de laboratorio indican que en todas las parcelas estudiadas el contenido de potasio es alto. Este incremento está asociado a la mineralización de la materia orgánica, la cual es fuente de este elemento. Además, este alto contenido puede estar también relacionado con las aplicaciones de fertilizantes químicos inorgánicos en el pasado.

e. Capacidad de intercambio de cationes (CIC)

La capacidad de intercambio de cationes es alta (27.62 a 29.84 meq/100 g de suelo) en una de las fincas. Este comportamiento está relacionado con el alto contenido de materia orgánica de estos suelos.

En la otra finca el comportamiento de la capacidad de intercambio catiónico es medio. Sin duda este comportamiento se relaciona con la textura franca arcillo-arenosa y el contenido medio (3.36%) de materia orgánica en estos suelos.

La figura 15, refleja en comportamiento de la CIC con respecto a la materia orgánica; a mayor contenido de materia orgánica la capacidad de intercambio de cationes es mayor y viceversa.

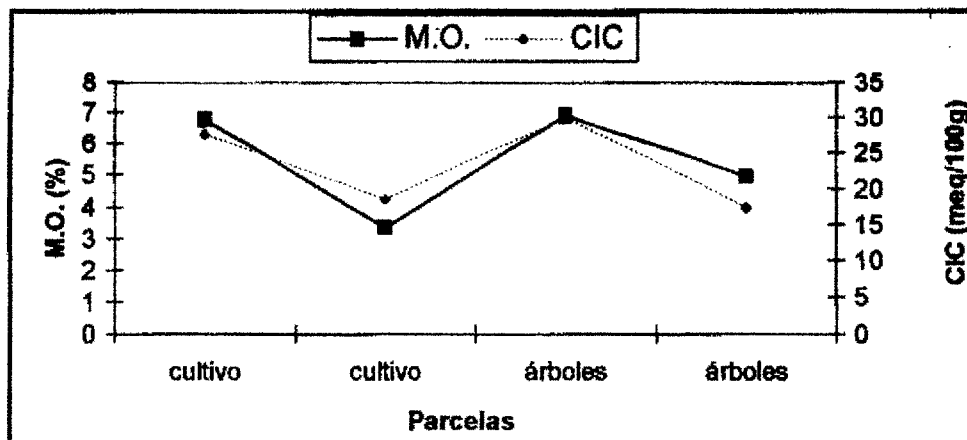


Figura 15. Comportamiento de la materia orgánica con respecto a la CIC en los suelos de la Serie La Granadilla.

4.1.4. Suelos Aluviales (Txi)

En los Suelos Aluviales (Txi) se estudiaron tres fincas. La primera finca está ubicada en la comunidad Nandarola y pertenece al señor Sebastián Girón. Tiene una extensión de 10 mz; 5 mz destinadas para la agricultura con cultivos frijol y yuca (siembra de primera), maíz y trigo (siembra de postrera), tomates, chiltoma, repollo (siembra de apante). El rendimiento promedio de los tres últimos años para el cultivo de maíz es de 25 qq/mz, el de frijol es de 5 qq/mz, trigo 35 qq/mz. La labranza utilizada es la tradicional con tracción animal. Esta finca también posee una área de pasto de 3 mz con carga animal de 3 animales por mz y una parcela de bosque de 2 mz, establecido hace unos 5 años.

La segunda finca esta ubicada en la comunidad Contadero y pertenece al señor Arnulfo Gaitan. Tiene una extensión de 14 mz; 5 mz para la ganadería con carga animal de 3 animales por mz, 3 mz de bosque establecido hace unos 6 años, 2 mz de árboles frutales y 4 mz destinadas para la agricultura. El rendimiento de los tres últimos años para el cultivo de maíz fue de 30 qq/mz, el de trigo fue de 25 qq/mz. La labranza utilizada es la tradicional con tracción animal.

La tercera finca esta ubicada en la comunidad El Empalme, que pertenece al Instituto Tecnológico Agropecuario de Nandaimé. En años anteriores esta área fue cultivada con algodón y sorgo. Actualmente, los suelos de esta finca son destinados para el establecimiento de parcelas demostrativas para fines académicos. Tiene una pequeña parcela con árboles dispersos.

4.1.4.1. Características físicas de los Suelos Aluviales (Txi)

En la tabla 26 se resumen las características y propiedades físicas de los suelos de las parcelas con cultivo, pasto, bosque y una parcela con árboles disperso de las fincas evaluadas en los Suelos Aluviales (Txi).

Tabla 26. Características físicas de los suelos de parcelas con cultivo, pasto, bosque y árboles disperso de tres fincas en los Suelos Aluviales (Txi)

Parcelas	Pend. (%)	Prof. suelo (cm)	Infiltración (mm)	Color	Estabilidad estabilidad		Prof. (cm)	Densidad (g/cm ³)		Poros %	Resistencia mecánica (golpes)	Textura
					Sup	Sub		Da	Dr			
Finca de Sebastián Girón												
Cultivo	2 - 3	Mas de 80	11.90	Pardo claro	5	5	0-10	1.16	2.24	48.13	50	FA
							10-20				80	
							20-30				58	
Pasto	3	25-30	39.82	Pardo rojizo oscuro	6	6	0-10	1.33	2.34	43.00	20	A
							10-20				48	
							20-30				65	
Bosque	5	Mas de 90	40.99	Pardo rojizo oscuro	6	6	0-10	1.24	2.39	48.06	38	A
							10-20				44	
							20-30				42	
Finca de Arnulfo Gaitán												
Cultivo	2	Mas de 80	0.75	Pardo	6	5	0-10	1.42	2.98	58.62	71	FAa
							10-20				68	
							20-30				27	
Pasto	2	40-50	0.66	Pardo	6	5	0-10	1.40	2.93	58.82	145	FA
							10-20				151	
							20-30				187	
Bosque	3	Mas de 80	25.15	Pardo oscuro	6	6	0-10	1.19	2.46	51.51	28	FA
							10-20				5	
							20-30				21	
Instituto Tecnológico Agropecuario (ITA-Nandaime)												
Cultivo	1	Mas de 80	12.22	Pardo	5	5	0-10	1.11	2.28	51.38	74	A
							10-20				209	
							20-30				M sólido	
Árboles	2	Mas de 80	7.44	Pardo	5	4	0-10	1.13	2.43	53.54	166	FA
							10-20				M sólido	
							20-30				-	

a. Profundidad de los suelos

Los suelos de las parcelas con cultivo y bosque son profundos (mas de 80 centímetro de profundidad), lo cual coincide con lo descrito por Catastro (1971), en el que se describe que estos suelos son profundos. Cabe destacar que estos suelos presentan una profundidad óptima.

En cambio, las parcelas con pasto son moderadamente superficiales, debido a que han ido perdiendo la capa superficial por erosión laminar.

b. Color de los suelos

El color de estos suelos es variado, desde pardo claro a pardo muy oscuro. Según Rodríguez (2003), estos suelos tienen mucha variación en color ya que consisten en depósitos de materiales estratificados recientes, lavados de las tierras altas adyacentes, de ceniza volcánica, basalto, tobas y areniscas, que son depositados por los ríos en las tierras bajas.

c. Textura

La textura de estos suelos varía de arcillosa, franco arcillosa, a franco-arcillosa arenosa. Esta variación se debe a los diferentes materiales de los cuales se han formado estos suelos, ya que éstos proporcionan partículas de diferentes tamaños (arena, arcilla y limo), lo cual hace que la textura varíe a distancias cortas.

d. Estabilidad estructural

La estabilidad estructural de los suelos de las parcelas con cultivo va de buena a alta, lo cual está relacionado con el efecto de agregación de las partículas de suelo que ejercen el alto contenido de materia orgánica y la arcilla. En las parcelas con pasto la estabilidad de los agregados es alta debido al contenido de arcilla y materia orgánica.

En las parcelas con bosque la estabilidad es alta, a excepción de una parcela que había sufrido quema. Esta alta estabilidad se debe a una combinación de factores que favorecen la agregación del suelo tales como el alto contenido de materia orgánica, contenido de arcilla y la actividad biológica (raíces, lombrices, caracolillos).

e. Resistencia mecánica

En las parcelas con cultivo en los primeros 20 cm de profundidad, la resistencia mecánica se clasifica como suelo muy denso (excepto en una parcela donde se clasifica como suelo denso), lo cual es evidencia del efecto negativo de prácticas de cultivos inadecuados en el pasado que causaron compactación, como por ejemplo, la labranza excesiva en condiciones de humedad inadecuada.

Además, es importante destacar que en el estrato que va de los 10 a 20 cm de profundidad, existe un incremento de la resistencia mecánica, lo cual indica que en dicho estrato se localiza una capa compactada o pie de arado, que se convierte en un obstáculo para la penetración de las raíces y la circulación del agua y del aire.

En las parcelas con pasto la resistencia mecánica varía; en una parcela el suelo en los primeros 20 cm es extremadamente denso, debido a la compactación causada por el sobrepastoreo a que es sometida esta área; en cambio, en otra parcela el suelo es medianamente denso en los primeros 10 cm y denso de los 10 a 20 cm, debido a que aquí hay menos compactación porque la presión de pastoreo es menor.

En las parcelas con bosque el comportamiento de la resistencia mecánica también es variable. En una parcela donde el bosque es maduro el suelo es medianamente denso en los primeros 10 centímetros y suelto de los 10 a 20 cm; esto se debe a la textura franco arcillosa y a que este suelo tiene una buena estructura, favorecida por el efecto agregante de la materia orgánica, raíces y la actividad biológica. Sin embargo, en otra parcela donde el bosque es joven el suelo es denso debido a la compactación ocurrida en el pasado.

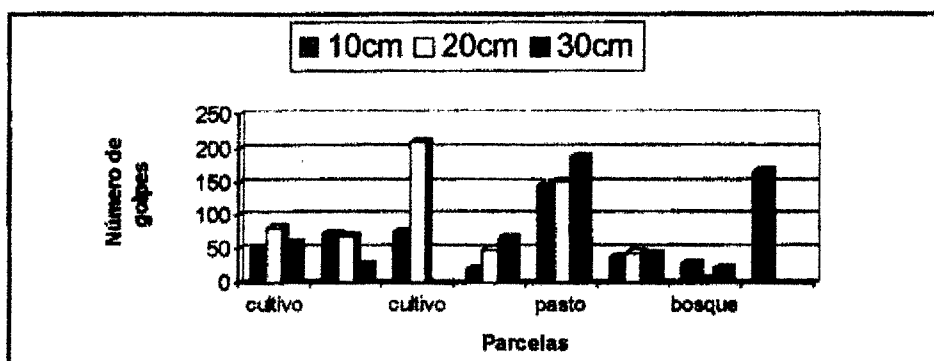


Figura 16. Resistencia mecánica en diferentes parcelas en los Suelos Aluviales (Txi).

f. Porosidad

En dos parcelas con cultivo la porosidad es media (48.13 y 51.38 %), lo cual es inferior a lo óptimo reportado en la literatura para este tipo de textura; este porcentaje de poros puede explicarse a partir de los factores de formación de estos suelos y los efectos de compactación causado por labranza que sufrieron estos suelos en años anteriores.

Sin embargo, debido al tipo de textura y a la diversidad de materiales de formación, es posible que predominen los poros finos, en los cuales se dificulta la circulación de agua y aire, así como la penetración de raíces.

En una de las parcelas con pasto, de textura arcillosa, la porosidad es baja (43 %), lo cual está por debajo de lo óptimo reportado para esta clase textural. Mientras que en otra parcela la porosidad es alta (58.82 %), coincidiendo con lo óptimo para esta textura. No obstante, aquí también cabe indicar que debido a la compactación que presentan estos suelos predominan los poros finos.

En las parcelas con bosque la porosidad es media, lo cual es inferior a lo óptimo para las texturas de los suelos de estas parcelas; pero, aquí existe un mejor equilibrio entre poros finos, medios y grandes por el efecto benéfico de la materia y la actividad biológica.

g. Densidad aparente

En las parcelas con cultivo la densidad aparente va de baja a alta (1.11 a 1.42 g/cm³). Esta última categoría es superior a lo reportado para la textura arcillosa y franco arcillosa de estos suelos; esto puede explicarse a partir de la compactación, ya que ésta hace que haya una mayor cantidad de suelo por unidad de volumen.

En las parcelas con pasto la densidad aparente es media (1.3 a 1.40 g/cm³), presentando valores superiores a los típicos para la textura arcillosa y franco arcillosa de estos suelos. Según Pritchett (1990), suelos de textura arcillosa presentan densidad aparente de 1.0 a 1.2 g/cm³ suelos francos 1.3 a 1.4 gr/cm³.

Mientras que en las parcelas con bosque la densidad es baja 1.19 a 1.13 g/cm³, excepto en la parcela de bosque joven donde el valor de la densidad se excede un poco pasando a la categoría media (1.24 g/cm³); no obstante, estos valores están acordes a lo típico para la textura arcillosa y franco arcillosa de estos suelos.

Este comportamiento adecuado de la densidad aparente esta relacionado con el efecto benéfico de la materia orgánica, tal como se refleja en la figura 17.

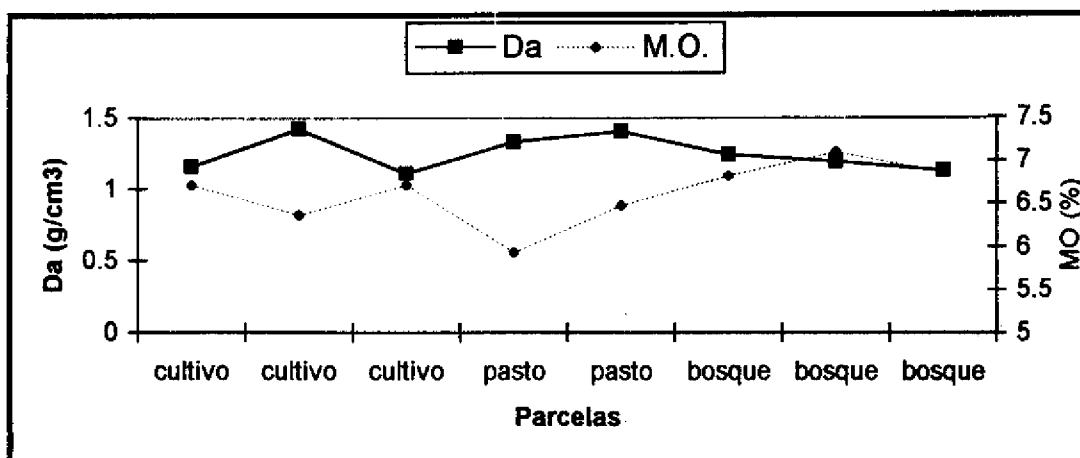


Figura 17. Comportamiento de la densidad aparente con respecto a la materia orgánica en los Suelos Aluviales (Txi).

Según Foth (1985), la materia orgánica incide directamente en la estructuración del suelo y por ende en el incremento del volumen por unidad de superficie, dando como resultado un menor valor de densidad aparente.

h. Infiltración

En las parcelas con cultivo la infiltración es rápida en dos de las parcelas estudiadas. Mientras que, es muy lenta en otra de las parcelas; la dificultad en la penetración del agua se explica por el alto grado de compactación que sufre este suelo; mientras que la facilidad de infiltración se puede atribuir a la presencia de pequeñas grietas (típicas en la época seca) provocadas por las arcillas expandibles que poseen.

En las parcelas con pasto el comportamiento de la infiltración también es variable, ya que en una parcela es muy rápida y en otra es muy lenta, debido a la compactación del suelo que dificulta la penetración del agua. En cambio, en las parcelas con bosque predomina una infiltración muy rápida, debido a la buena estructura y adecuada porosidad en estos suelos.

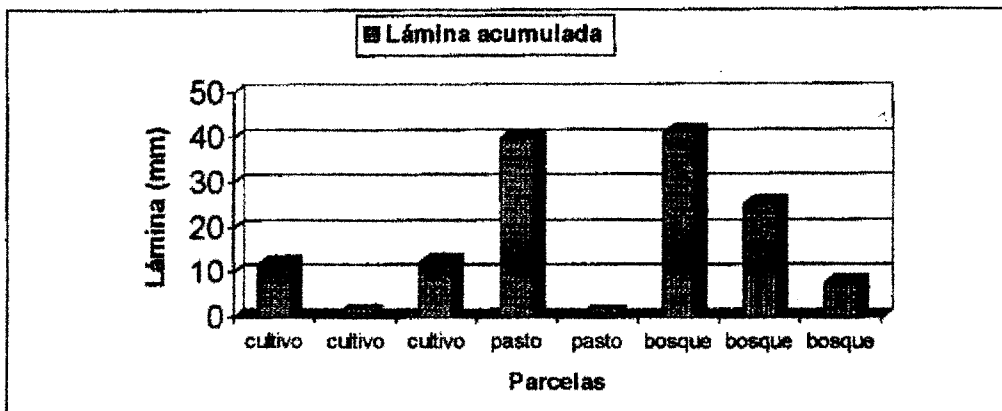


Figura 18. Comportamiento de la infiltración del agua en los Suelos Aluvial (Txi).

4.1.1.2. Características químicas de los Suelos Aluviales (Txi)

En la tabla 27 se resumen los resultados de las características químicas de los suelos con cultivo, pasto, bosque y árboles dispersos de tres fincas en los Suelos Aluviales (Txi).

Tabla 27. Características químicas de los suelos de parcelas con cultivo, pasto, bosque y árboles dispersos de tres fincas en la Suelos Aluviales (Txi)

Parcela	pH	M.O. (%)	P (ppm)	K (meq/100g)	CIC Meq/100gr
Finca de Sebastián Girón					
Cultivo	6.71	5.31	14.21	0.10	35.69
Pasto	5.93	3.63	-	0.27	53.21
Bosque	6.82	5.82	75.58	0.38	46.45
Finca de Arnulfo Gaitán					
Cultivo	6.36	4.17	38.24	0.23	34.84
Pasto	6.47	3.36	41.74	0.15	32.74
Bosque	7.10	4.30	85.63	0.21	43.75
Instituto Tecnológico Agropecuario (ITA-Nandaime)					
Cultivo	6.71	3.61	182.16	0.51	20.19
Árboles	6.86	4.42	201.65	0.64	22.00

a. pH

El pH del suelo en las parcelas estudiadas es variable. En las parcelas con cultivo el pH varía entre muy ligeramente ácido y ligeramente ácido (tabla 27). En las parcelas con pasto el pH varía entre ligeramente ácido y medianamente ácido, lo cual puede ser indicio de una pérdida de bases. Mientras que en las parcelas con bosque los suelos son neutros. Esta variabilidad en el pH puede estar relacionada al proceso de formación de estos suelos y a la naturaleza variable de los materiales a partir de los cuales se han originado.

b. Materia orgánica

En dos de las parcelas con cultivo el contenido de materia orgánica es alto, lo cual está relacionado a que los productores realizan prácticas de manejo que favorecen el incremento de la materia orgánica, tales como la no quema y la incorporando los rastrojos; mientras que en otra parcela el contenido es medio (3.36 a 3.63 %) de acuerdo a la clasificación de Quintana (1983), debido a que el suelo ha estado sometido a una erosión severa.

En las parcelas con pasto el contenido de materia orgánica es medio, debido a que estos suelos han perdido buena parte de la capa superficial (donde existe mayor cantidad de materia orgánica) a causa de la erosión.

En cambio en las parcelas con bosque el contenido de materia orgánica es alto, debido al aporte de hojarasca, raíces, la flora y fauna del suelo.

c. Fósforo

En una de las parcelas con cultivo el contenido de fósforo es medio; sin embargo, en otra parcela el contenido es alto y en otra podría decirse que es extremadamente alto, lo que puede estar relacionado al alto uso de fertilizantes fosfóricos en el pasado, al punto que puede causar deficiencia de nitrógeno. En las parcelas con pasto y bosque el contenido de fósforo es también alto.

El alto contenido de este elemento al parecer está relacionado a la génesis de este tipo de suelos. Es posible que los materiales arcillosos que fueron depositados por las corrientes durante su formación, hayan estado cargados con fósforo, en vista que dicho elemento tiene baja movilidad y forma complejos con las arcillas.

d. Potasio

El contenido de potasio en las parcelas con cultivo es variable; en una parcela el contenido es pobre, al parecer debido al antagonismo con el calcio (el cual muestra un contenido muy alto) y a pérdidas por lavado, ya que es un elemento de movilidad alta.

En otra parcela el contenido es medio. En otra parcela dicho contenido es alto, lo cual puede estar relacionado a un mayor uso de fertilizantes que contienen este elemento.

En una de las parcelas con pasto el potasio es medio; mientras que en otra el contenido es pobre, lo cual puede estar relacionado a problemas de antagonismo con calcio (cuyo contenido es muy alto) y a las pérdidas por lavado.

En cambio en las parcelas con bosque el contenido de potasio está entre medio y alto, por el efecto benéfico de la materia orgánica en el aporte y retención de nutrientes.

e. Capacidad de intercambio de cationes (CIC)

La capacidad de intercambio de cationes en la mayoría de parcelas estudiadas es alta, a excepción una parcela de pasto y una de bosque donde la CIC es media. Estos valores están relacionados con la textura arcillosa y el contenido de materia orgánica de medio a alto que presentan estos suelos, ya que tanto la arcilla como el humus son las partículas que tienen la capacidad de intercambiar cationes. Tal como se muestra en la figura 25, a mayor contenido de materia orgánica la capacidad de intercambio catiónico es mayor.

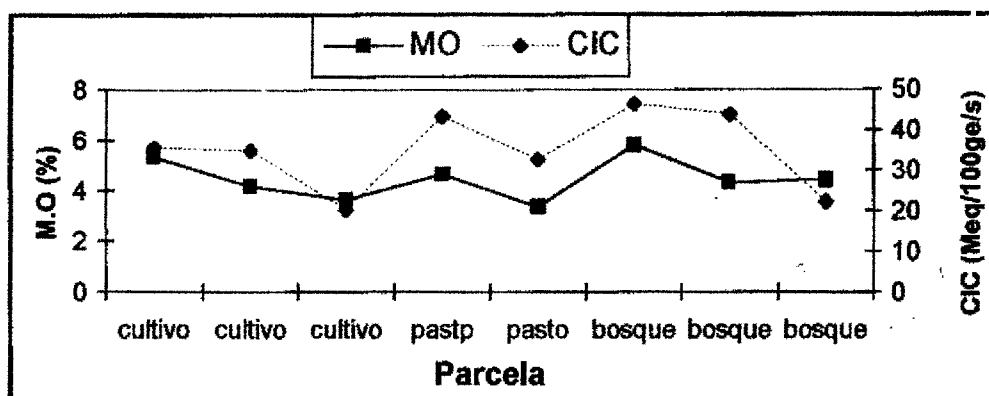


Figura 19. Comportamiento de la capacidad de intercambio catiónico con respecto a la materia orgánica en los Suelos Aluviales (Txi).

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

Producto de la entrevista semi-estructurada y el taller de concertación con los productores 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 locales de la calidad de suelos identificados en este estudio corresponden al lenguaje tradicional, utilizado por los agricultores para describir las cualidades de los suelos.

4.2.1. Indicadores de suelos de buena calidad para uso agrícola

Los productores indican que un suelo es de buena calidad para uso agrícola cuando éste es *"suelto, de color oscuro, retiene humedad y produce altos rendimientos"*.

Como puede observarse la calidad del suelo se asocia con características que reflejan un estado favorable de las funciones básicas de los suelos. Los productores también hacen referencia a la calidad de los suelos basándose en cualidades físicas y biológicas del mismo.

En otras palabras, los productores manejan una serie de indicadores para identificar los suelos de buena calidad, los cuales están relacionados con características o cualidades intrínsecas o vinculadas a alguna función del suelo, presencia y abundancia de determinadas plantas y por supuesto el nivel de rendimiento de los cultivos, tal como aparece en la tabla 28.

Tabla 28. Indicadores locales de suelos de buena calidad para uso agrícola

Indicadores	Característica técnica asociada
Flor amarilla, garbancia, pica pica, verdolaga, bledo, escoba negra (porte alto), zacate dulce, mozote zarcillo (zarcillo), chichicaste, tortoquelite, jalacate.	Fertilidad del suelo o diversidad de malezas
Tierra negra	Contenido de materia orgánica
Suelos profundos (mas de 45 cm)	Profundidad efectiva
Alto contenido de basura en descomposición	Contenido de materia orgánica
Suelo suelto	Estructura granular fina
Suelo poroso	Mesoporos
Buen drenaje y retención de agua	Capacidad de retención de agua o infiltración
Suelo no erosionado	Profundidad efectiva
Fácil de labrar	Resistencia mecánica
Buenos rendimientos	Fertilidad
Abundantes mazamorras	Actividad biológica

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 y la presencia y abundancia de malezas, lo cual coincide con lo reportado por el Trejo et al. (1999).

4.2.2. Indicadores de suelos de mala calidad para uso agrícola

Los productores señalan que un suelo es de mala calidad para uso agrícola cuando presenta características contrapuestas a las mencionadas para un suelo bueno; es decir que un suelo es de mala calidad cuando éste es *"duro, de color amarillento, no retiene humedad y produce bajos rendimientos"*.

Al igual que para los indicadores usados para suelos buena calidad, los productores manejan diferentes indicadores para determinar si un suelo presenta una baja calidad para producir alimentos, los cuales están relacionados con cualidades

intrínsecas o vinculadas a alguna función del suelo, presencia y abundancia de determinadas plantas y el nivel de rendimiento de los cultivos, tal como aparece en la tabla 29.

Tabla 29. Indicadores locales de suelos de mala calidad para uso agrícola

Indicadores	Característica técnica asociada
Escoba lisa (suelo compactado), coyolillo, invasor, malva, grama, mozote de clavo, zacate de gallina, escoba roja, zacate peludo, zacate de alambre.	Fertilidad del suelo o diversidad de maleza
Poco profundo	Profundidad efectiva
Color claro o amarillo	Presencia de minerales (Hierro y Aluminio)
Suelo que no tiene soltura	Resistencia mecánica
Suelo duro,	Compactación
No retiene el agua	Capacidad de retención de agua o infiltración
No hay animalitos o muy poco	Actividad biológica
Suelos encharcados	Drenaje
Suelo quebrado (agrietado)	Textura
Suelo donde se ve el cascajo	Erosión
Bajos rendimientos	Fertilidad
No hay basura,	Materia orgánica

Como puede apreciarse en las tablas 28 y 29, los productores señalan 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. Este conocimiento local acerca de las plantas nativas como indicadoras de calidad de suelos es el resultado de la experiencia acumulada por los productores.

Por otro lado, 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 los suelos de la Planicie de Nandaimé

Los resultados de este estudio demuestran que el mal manejo de los suelos afecta varias de sus 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 inapropiado 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 productores para describir los suelos de buena calidad para uso agrícola, tales como la 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 mas importantes para determinar la calidad de un suelo.

Según Fassbender (1984), la importancia de la materia orgánica se explica por la influencia que ésta tiene sobre muchas características físicas y químicas del suelo; por ejemplo, en el color del suelo, en la formación de agregados, en la mejora de la capacidad de retención de agua, en el aumento de la capacidad de intercambio catiónico, en favorecer la disponibilidad de nitrógeno, fósforo y azufre, regula el pH, en participar en procesos pedogenéticos, en incrementar la producción de biomasa y contribuir a la facilidad de laboreo.

Sin embargo, el indicador de materia orgánica 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.

Pero tal como señala Muller (1998), los indicadores locales de calidad de suelos se definen de acuerdo con las condiciones agro - ecológicas de una determinada región. Por tanto, estos indicadores son válidos básicamente para la Planicie de Nandaimé y quizás para otras áreas planas con condiciones similares.

V. CONCLUSIONES

- ❖ Los suelos de las Series Nandaime, San Felipe, La Granadilla y Suelos Aluviales tienen potencial para la actividad agropecuaria; sin embargo, se requiere de prácticas adecuadas de manejo de suelos, que garanticen la sostenibilidad de este recurso y de los agroecosistemas.
- ❖ Los suelos de las parcelas con cultivos anuales, pasto y bosque evaluadas en la Serie Nandaime presentan diferencias en cuanto a infiltración, profundidad, fósforo y potasio disponible; no así, para en la textura, resistencia mecánica y profundidad.

Basados en la evaluación de los indicadores técnicos y locales de calidad de suelos, es posible decir que los suelos de esta Serie y principalmente en las parcelas con cultivo presentan problemas de compactación, susceptibilidad a la erosión, pérdida de la capa superficial y muestran deficiencia de fósforo y potasio disponible.

- ❖ Los suelos de las parcelas con cultivos anuales y arboles dispersos evaluadas en la Serie San Felipe presentan diferencias en cuanto a textura, infiltración, fósforo disponible y capacidad de intercambio catiónico; no así en profundidad, estabilidad estructural, resistencia mecánica, pH y potasio disponible.

Las suelos de esta Serie presentan problemas de compactación, pérdida de la capa superficial y muestran deficiencia de fósforo y potasio disponible, principalmente en parcelas donde no se realiza fertilización complementaria.

- ❖ Los suelos de las parcelas con cultivos anuales y arboles frutales evaluados en la Serie La Granadilla, presentan similar comportamiento en la mayoría de

sus propiedades físicas y químicas, a excepción de la resistencia mecánica y la capacidad de intercambio catiónico.

- ❖ Los suelos de las diferentes parcelas evaluados en la Serie Aluvial presentan diferencias en la mayoría de las características físicas y químicas del suelo; a excepción de los contenidos de fósforo y profundidad (principalmente en las parcelas con pasto). La compactación y la susceptibilidad a la erosión son los principales restricciones de estos suelos.
- ❖ Los indicadores locales mas utilizados por los productores participantes en el estudio son el color, soltura del suelo, drenaje y capacidad de retener agua. La importancia de estos parámetros fue corroborada con los indicadores técnicos de calidad de suelos evaluados.
- ❖ 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 físicas, químicas y biológicas 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.
- ❖ Los agricultores usan frecuentemente la presencia y abundancia malezas que crecen en los suelos cultivados como indicadores de la calidad de suelos, debido a que la dinámica de estas plantas responden a cambios en las características físicas, químicas y biológicas de 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 del municipio de Nandaime, para que a su vez éstos los den a conocer a los productores, principalmente del área de la planicie de Nandaime.
- ❖ Promover entre los extensionistas y promotores del municipio de Nandaime el uso indicadores locales de calidad de suelo, con el propósito de difundir el uso de estas técnicas para 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 mas 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 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.
- ❖ 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.
- CARLOS G; JOSÉ G & JOSÉ A. 1995. Enciclopedia práctica de la agricultura y la ganadería. Editorial OCÉANO, Barcelona, 1032 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 suelo con énfasis en suelos de América Latina. Cuarta edición. Editorial IICA, San José, 398 pp.
- FERNANDEZ, R. 2000. Nandaime: evaluación de la tenencia, situación legal, mercado de tierra y conflictos agrarios y socio ambientales. Proyecto Sur Oeste. GTZ. Nandaime Nicaragua, 80 pp.

- FITZ PATRICK, E.A. 1987. Suelos su formación clasificación y distribución. Compañía editorial CONTENCV. México 430 pp.
- FOTH, H. D. 1987. Fundamentos de la Ciencia del Suelo. Compañía 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.
- SALAS E. J. 1993. Arboles de Nicaragua. Editorial HISPAMER, Managua, 388 pp.
- SALMERON, F. & GARCIA, L. 1994. Fertilidad y fertilización de suelo. Universidad Nacional Agraria. Managua, 141 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/BMZ/GTZ Serie # 5, 58 pp.
- MUÑOZ R. & PITTY A. 1994. Guía fotográfica para la identificación de maleza. Primera parte. Editorial Academic press, Tegucigalpa, 124 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 del recurso 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.
- SALAS E. B. 1993. Arboles de Nicaragua, Editorial HISPAMER, Managua, 388 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 calidad del suelo a nivel de microcuencia. 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 suelo: _____ Fecha: _____

1. ¿Desde cuando habita en la finca?

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

3. fuente de agua. Pozo _____, río _____ ojo de agua _____.

3. ¿Cuántos lotes tiene su finca? _____

4 ¿Todo los lotes los trabaja _____

5. Tipo de cultivo y sus 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 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 _____

Tabla 30. Lista de plantas indicadores de calidad de suelos

Nombre común	Nombre científico	Tipo de suelo
Flor amarilla	Melampodium divaricatum	Bueno
Pica pica	Mucuna sp	Bueno
Verdolaga	Portulaca oleraceae	Bueno
Bledo	Amaranthus spinsus	Bueno
Zacate dulce	Ixophorus unicetus	Bueno
Jalacate	Titonia rotundifolia	Bueno
Tortoquelite	Melantera aspera	Bueno
Escoba negra	Sida acuta	Malo
Coyotillo	Cyperus rotundus	Malo
Mozote de clavo	Bidens pilosa	Mala
Zacate de gallina	Cynodon dactylon	Malo
Zacate de alambre	Rottboellia cochinchinensis	Malo

Tabla 31. Lista de cultivos mencionados en esta investigación

Nombre común	Nombre científico
Maíz	Zea maíz
Frijol	Phaseolus vulgaris
Sorgo o millón	Shorgum bicolor
Algodón	Gossypium sp
Tomates	Lecupersicum esculentum mil
Chiltoma	Capsicum annatum
Repollo	Brassica oleracea
Yuca	Manihot esculentum L.
Banano	Musa balbisiana
Plátano	Musa sp
Papaya	Carica papaya

Tabla 32. Lista de plantas forestales mencionadas en esta investigación

Nombre común	Nombre científico
Roble	Tabebuia rosea
Madero negro	Gliricidia sepium
Leucaena	Leucaena leucocephala