

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE NICARAGUA - LEON.

FACULTAD DE CIENCIA Y TECNOLOGIAS.

DEPARTAMENTO DE AGRO ECOLOGÍA.



**DETERMINACIÓN DE LA ACTIVIDAD MICROBIANA COMO INDICADOR BIOLÓGICO EN SUELOS
AGRÍCOLAS DEL OCCIDENTE DE NICARAGUA (En el periodo abril 2009 Marzo 2011)**

Presentado por:

Br. Clarisa Neret Ochoa Morales.

Br. Francisco Alberto Urroz Gutiérrez.

TUTOR: Dra. Xiomara Castillo.

ASESOR: Msc. Patricia Castillo.

León, Marzo del 2011

ÍNDICE GENERAL

SECCION	Pág.
INDICE GENERAL	i
INDICE DE GRAFICOS	iv
INDICE DE TABLAS	v
INDICE DE ANEXOS	vi
DEDICATORIA	vii
AGRADECIMIENTOS	viii
RESUMEN	x
I INTRODUCCION	01
II OBJETIVOS	05
2.1 General	05
2.1 Específicos	05
III MARCO TEORICO	06
3.1 Suelos	06
3.2 Suelos de Nicaragua	06
3.3 Clasificación de los suelos de Nicaragua.	07
3.3.1 Vertisoles (Sonzocuite)	07
3.3.2 Suelos Entisoles	07
3.3.3 Suelos Inceptisoles	08
3.3.4 Suelos Mollisoles	08
3.3.5 Suelos Alfisoles	08
3.3.6 Suelos Ultisoles	09
3.3.7 Suelos Oxisoles	09
3.3.8 Suelos Histosoles	09
3.4.1 Suelos de León Caracterización	09
3.4.1 Suelos de Larreynaga, Malpaisillo.	09
3.4.2 Suelos de La Paz Centro	10
3.4.3 Suelos de Quezalguaque	10

3.4.4 Suelos de Telica	11
3.4.5 Suelos del Jicaral.	12
3.5 Suelos de Chinandega Caracterización	12
3.5.1 Suelos de Chinandega	12
3.5.2 Suelos de Posoltega	13
3.6 Características químicas y biológicas de los suelos.	13
3.6.1 Indicadores microbiológicos y bioquímicos	14
3.6.1.1 Bacterias	14
3.6.1.2 Hongos	14
3.6.2 Materia orgánica del suelo (MO)	16
3.6.3 Microbiota del suelo	17
3.6.4 Actividad microbiana del suelo	19
3.7 Características físicas del suelo	20
3.7.1 Estructura	21
3.7.2 Pedregosidad	21
3.7.3 Profundidad efectiva del suelo	22
3.7.4 Drenaje	23
3.7.5 Compactación e infiltración	23
3.7.6 Erosión	24
3.7.7 Color superficial	24
3.8 Evaluación visual de suelo en base a indicadores agroecológicos	25
3.8.1 Cobertura del suelo	26
3.8.2 Situación de residuos	26
3.9 Índice de mineralización de la materia orgánica	27
IV MATERIALES Y METODOS	28
4.1 Información general de la zona de estudio	28
4.2 Descripción de los materiales	29
4.2.1 Obtención de la información sobre el manejo de suelos	29
4.2.2 Levantamiento de muestras	29
4.3 Metodología	30
4.3.1 Diseño experimental	30
4.3.1.1 Estudio de línea base	30

4.3.2 Definición y medición de las variables a evaluar	30
4.3.2.1 Parámetros considerados en el análisis químico	31
4.3.2.2 Parámetros considerados en el análisis físico	31
4.3.2.3 Indicadores biológicos considerados en análisis biológico.	32
4.3.2.4 Determinación de la respiración basal.	32
4.3.2.4.1 Reactivos.	32
4.3.2.4.2 Ejecución y determinación.	33
4.3.2.4.3 Cálculos y evaluación.	33
4.3.3 Determinación del índice de Mineralización	34
4.3.4 Consideraciones a tomar en el diagnostico visual	34
4.3.5 Definir la toma de muestra	35
4.3.6 Análisis e interpretación de los resultados	35
V RESULTADOS Y DISCUSION	36
5.1 Tasa de respiración basal de los suelos de los departamentos León – Chinandega.	36
5.2 Interacción entre la actividad microbiana y el estado Físico y Químico actual de los suelos.	43
5.3 Estado actual de los suelos de estudio en base a sus Indicadores agroecológicos.	49
VI CONCLUSIONES	55
VII RECOMENDACIONES	56
VIII BIBLIOGRAFIA	57
IX ANEXO	66

I. INDICE DE GRAFICOS

Grafica 1 Ubicación de los municipios seleccionados para el estudio.	28
Grafica 2: Indicadores de suelo de los municipios de León Y Nagarote.	53
Grafico 3: Indicadores de suelo de los municipios de Tonalá Y Posoltega.	54

II. INDICE DE TABLAS

Tabla 1: Tasa de respiración basal de los suelos de los departamentos de León y Chinandega.	36
Tabla 2: Respiración basal en las muestras de suelos de los municipios del departamento de León y Chinandega.	38
Tabla 3: Respiración basal de los suelos en base a su manejo.	40
Tabla 4: Distribución de la textura de los suelos en base a su manejo	42
Tabla 5: Actividad microbiana en los suelos en función de su textura.	44
Tabla 6: Tasa de respiración Basal (CO ₂ -C (ug/g/d)) en base al Contenido de MO	45
Tabla 7: Influencia del pH sobre la actividad microbiana en suelos de los departamentos de León y Chinandega.	46
Tabla 8: Índice de mineralización de los suelos en estudio en base al contenido de materia orgánica	47
Tabla 9: Diagnostico visual físico de los departamentos de León y Chinandega.	51
Tabla 10: Diagnostico visual biológico del departamento de León y Chinandega	52

III. INDICE DE ANEXOS.

Anexo 1: Total de área muestreadas en el departamento de León.

Anexo 2: Identificación de los años de uso de la tierra

Anexo 3: Tabla de correlación entre Materia orgánica y actividad microbiana.

Anexo 4: Tabla de correlación entre pH y actividad microbiana.

Anexo 5: Correlación entre Materia Orgánica (MO) e Índice de Mineralización (IM)

Anexo 6: Indicadores de calidad de suelo de los municipios de Nagarote y León.

Anexo 7: Indicadores de calidad de suelo de los municipios de Tonalá y Posoltega.

Anexo 8: Procedimiento para determinar actividad microbiana en laboratorio.

Anexo 9: Materiales utilizados en el laboratorio.

Dedicatoria

Agradecemos a todas las personas que de una u otra manera colaboraron para la realización y culminación de este trabajo, de manera especial a:

Nuestros padres, quienes nos brindaron todo su apoyo sin esperar nada a cambio, a estas personas tan importantes en nuestras vidas que siempre estuvieron ahí en el momento preciso colaborándonos con amor y paciencia.

Dra. Xiomara Castillo, una gran persona, buena amiga y excelente maestra quien con su conocimiento, paciencia y buenos consejos jugó un papel fundamental en la realización de este trabajo.

Al Proyecto Suelo-FUNICA, FAT, ejecutado por la UNAN-LEON.

Agradecimiento

Primero y antes que nada, dar gracias a Dios, por estar conmigo en cada paso que doy, por fortalecer mi corazón e iluminar mi mente y por haber puesto en mi camino a aquellas personas que han sido mi soporte y compañía durante todo el periodo de estudio.

A mi madre por haberme apoyado en todo momento, por sus consejos, sus valores, por la motivación constante que me ha permitido ser una persona de bien, pero más que nada, por su amor.

A mis tías por ayudarme a crecer y madurar como persona, y brindarme su apoyo incondicional.

A mi padre por brindarme los recursos necesarios que me permitieron culminar mi carrera profesional.

A mi tutora por su valiosa asesoría, su valioso tiempo dedicado a este trabajo de tesis, por sus consejos y por compartir desinteresadamente sus amplios conocimientos y experiencia.

A mi abuelita por encomendarme siempre con Dios para que saliera adelante. Yo se que sus oraciones fueron escuchadas.

Y por último, pero no menos importante, estaré eternamente agradecida a mi compañero de tesis, por su visión, motivación y optimismo que me ayudaron en momentos muy críticos de la Tesis, y a todos aquellos que participaron directa o indirectamente en la elaboración de esta tesis.

Clarisa Ochoa

A Dios por haberme permitido llegar hasta este punto, por enseñarme el camino correcto de la vida, y haberme dado salud para lograr mis objetivos, además de su infinita bondad y amor.

A mi tutora, Dr. Xiomara Castillo por su esfuerzo y dedicación. Sus conocimientos, sus orientaciones, su manera de trabajar, su persistencia, su paciencia y su motivación han sido fundamentales para mi trabajo de tesis.

A mi madre, como agradecimiento a su esfuerzo, amor y apoyo incondicional, durante mi formación tanto personal como profesional.

A mi padre, por brindarme sus consejos y recursos necesarios para la elaboración de esta tesis.

A mi compañera de tesis, quien con su persistencia y colaboración me ayudó a que siguiera siempre adelante, especialmente en situaciones difíciles.

A mis compañeros, quienes con su buen sentido del humor me ayudaron a superar momentos de aburrimiento, tristeza y frustración, y a todos aquellos que de una u otra manera contribuyeron a la culminación de este trabajo.

Francisco Urroz

RESUMEN

El estudio se realizó en muestras de suelo tomadas en áreas agrícolas de 11 municipios de occidente, comprendidos entre los departamentos de León y Chinandega en el periodo Febrero 2010 a Noviembre 2010. Con el objetivo de analizar el estado actual de los suelos agrícolas en los departamentos de León y Chinandega de acuerdo a sus indicadores biológicos más comunes, respiración microbiana del suelo e índice de mineralización. La estimación de la respiración del suelo brinda información sobre de la dinámica de los microorganismos y de la salud del suelo. Se registran los resultados y análisis del experimento, en el cual se determinó la actividad microbiana mediante la medición de la respiración basal del suelo, (CO₂ desprendido por unidad de tiempo). Se utilizó el método Isermeyer, 1952. Así como la identificación en campo de las condiciones actuales de la salud de los suelos. Los resultados obtenidos nos muestran que el departamento de León presento la mayor tasa de respiración basal con 180 µg de CO₂/gr de suelo / día, en comparación al departamento de Chinandega que obtuvo un máximo 70 µg de CO₂/gr de suelo / día. La actividad microbiana relacionadas con el tipo de manejo de los suelos, demuestran que la menor actividad se presenta en suelo bajo sistemas convencionales del departamento de Chinandega con valores promedios de 33 µg de CO₂ / gr de suelo / día. Al calcular el índice de mineralización de los suelos por municipio se obtuvo que el municipio que presento el mayor índice fue Quezalguaque con 1.26 % para un contenido de materia orgánica alto, por el contrario La Paz Centro presento el menor porcentaje de mineralización con 0.195% para un contenido de materia orgánica bajo.

La relación de los indicadores biológicos con los parámetros de caracterización de suelos agrícolas, tales como sus características físicas, químicas y biológicas se observan en primera instancia en una correspondencia entre los suelos agrícolas con las mejores condiciones físicas-químicas y los de mayor actividad microbiana, así mismo las correlaciones existentes, llegan a determinar que en los suelos de mayor contenido en materia orgánica la mineralización es menor, posiblemente debido a la acumulación del sustrato orgánico, favoreciendo la inmovilización de elementos esenciales, resultado del uso y manejo convencional de la unidad productiva, lo que hace que estas propiedades sean buenos parámetros para evaluar la calidad y salud de los suelos agrícolas.

I. INTRODUCCIÓN

Nicaragua ha sido un país con una larga trayectoria agrícola y ganadera fundamentada en las excelentes características de los suelos; abundantes recursos hídricos superficiales y subterráneos para el riego; condiciones climáticas favorables, aunque afectadas en algunas zonas por sequías interestacionales y un potencial humano con alta tradición agropecuaria (www.simas.org.ni).

Los suelos del Pacífico, se originaron a partir de cenizas volcánicas en la porción norte y central. Estos suelos son francos, permiten el laboreo, optimizan la retención de humedad, y por su misma estructura y textura, mejoran el desarrollo radicular. Los suelos de Occidente siguen considerados como los mejores de Centroamérica, orientados a la producción de arroz, caña de azúcar y otros. (www.simas.org.ni/noticia.)

Las propiedades Físicas del suelo junto con las químicas y biológicas determinan entre otras la productividad de los suelos. El conocimiento de las propiedades físicas y químicas permite conocer mejor las actividades agrícolas vitales, como el laboreo la fertilización, el drenaje, la irrigación, la conservación de suelo y aguas y el manejo de residuos y cosecha. (www.educar-argentina.)

Los suelos son uno de los hábitats menos investigados de la tierra. Aunque generalmente no sea evidente a simple vista, están entre los hábitats más variados y contienen algunas de las colecciones más diversas de organismos vivos. El suelo es uno de los ecosistemas más complejos de la naturaleza: contiene miles de organismos diferentes, los cuales interactúan e intervienen en los ciclos globales que hacen posible toda forma de vida (los sistemas de apoyo de la vida). En ningún lugar en la naturaleza están las especies tan densamente concentradas como en las comunidades del suelo. Como ejemplo, un solo gramo de suelo puede contener muchos millones de individuos y varios miles de especies de bacterias. La biota del suelo incluye también las raíces que crecen en él e interactúan con otras especies sobre y bajo tierra. (fao.org 2010).

A nivel mundial, la producción agrícola presentó una gran evolución con la aplicación creciente de fertilizantes minerales y productos químicos, lo que se reflejó en un incremento interrumpido de los rendimientos agrícolas. A través de los años, para mantener ese potencial productivo, los cultivos requerían de una aplicación masiva de diversos insumos químicos, lo que empezó a generar, junto con su efecto positivo, una serie de condiciones y factores negativos en los agroecosistemas actuales, por lo que en muchos suelos agrícolas se observaron acumulaciones importantes de nitratos, nitritos, pesticidas y otras combinaciones ecológicamente dañinas.

Una de las principales causas de que no se hayan detenido a tiempo los procesos negativos en la agricultura intensiva, lo fue el desconocimiento de las implicaciones en el uso excesivo de los insumos y al poco estudio de su efecto sobre la microflora del suelo y sobre los procesos biológicos que condicionan la fertilidad de los mismos. El efecto final fue una destrucción sustancial de las asociaciones microbianas y su actividad funcional o bioquímica.

En la actualidad, los factores biológicos se han convertido en criterios importantes para valorar el manejo de los suelos, de tal forma que se crea la necesidad de orientar la producción agrícola hacia nuevas tecnologías fundamentadas en la recuperación de los suelos mediante un manejo agroecológico sostenido.

La fertilidad de un suelo se define como su capacidad para proporcionar a las plantas un medio físico, que permita su establecimiento y desarrollo y suministre, en cantidad y forma adecuada, los nutrimentos que necesitan para satisfacer sus necesidades durante toda su existencia. Las propiedades químicas, físicas, biológicas y climáticas que actúan normalmente en interacción, son las que identifican la fertilidad de los suelos. Entre estos factores, quizás los componentes biológicos sean los últimos que se han tomado en cuenta en investigación y producción de los cultivos, además hoy se acepta que la actividad de los microorganismos no solo es un factor clave en la fertilidad del suelo, sino que también lo es en la estabilidad y funcionamiento de ecosistemas naturales como los agroecosistemas (Trasar *et al.*, 2000).

Como es bien conocido, las partículas minerales y orgánicas del suelo se asocian para formar agregados, constituyendo un entramado de materia que queda inmerso en las llamadas fases gaseosa (la atmósfera del suelo) y fase líquida (la solución acuosa del suelo), que en conjunto es un hábitat favorable para los microorganismos. Tanto en la superficie de las partículas, como en el interior de los agregados, o bien asociados a las raíces de las plantas, se ha detectado una amplia variedad de microorganismos. Entre éstos se incluyen bacterias, hongos, algas y protozoos, además de virus, cuyas cifras indican decenas de millones de microorganismos viables, muchos de ellos cultivables por gramo de suelo. Sin embargo, la disponibilidad de nutrientes asimilables y particularmente la de sustratos carbonados metabolizables (materia orgánica lábil), limita la actividad de la microbiota. (Acuña *et al.*, 2006).

Los micro-organismos del suelo son muy sensibles a cualquier cambio. Por tanto, para que exista una buena actividad biológica, es necesario que también exista estabilidad. Más aún, para un mismo tipo de suelo es importante que ésta sea la misma a lo largo de las diversas estaciones del año. Esto implica una protección constante del exceso de sol, lluvia, viento, etc. La actividad microbiana de un suelo es responsable directa de su fertilidad. Esta actividad es responsable de la producción de sustancias orgánicas que las plantas utilizan. Además de las bacterias y de otros organismos fijadores simbióticos o libres de bacterias y nitrógeno, cada vez se conoce más acerca del papel de los hongos asociados a las raíces de las plantas llamados Micorrizas, que aumentan el área de absorción de diversos minerales del suelo, tales como Fósforo (P), Calcio (Ca), Magnesio (Mg), etc. (www.eraecologica.org).

A pesar de la importancia para la vida, el suelo no ha recibido de la sociedad la atención que merece. Su degradación es una seria amenaza para el futuro de la humanidad. Por lo tanto, los científicos se enfrentan al triple desafío de intensificar, preservar e incrementar la calidad de la tierra. Para ello, es necesario contar con una sólida concepción de la calidad y con indicadores de calidad o salud de la

tierra y de manejo sostenible de la misma, tal como se cuenta para dar seguimiento a variables sociales y económicas. En este trabajo se analizan algunas características del suelo que indican una relación entre la actividad de microorganismos y la calidad del mismo. El adecuado manejo de los conceptos sobre estos temas debe redundar en un mejor manejo de la sostenibilidad del recurso, de la agricultura sostenible y en la toma de decisiones certeras en cuanto al uso del suelo. El desarrollo de indicadores biológicos de calidad del suelo debería basarse en el uso de este recurso y en la relación entre los indicadores y la función del suelo que se esté evaluando. Deben considerarse propiedades edáficas que cambien en un periodo de tiempo relativamente corto. (Bautista et al., 2004).

II. OBJETIVOS

Objetivo general:

Determinar la actividad microbiana como indicador biológico en suelos agrícolas del occidente de Nicaragua.

Objetivos específicos:

- Estimar la tasa de respiración basal, como un indicador biológico de suelos agrícolas de León – Chinandega y su interacción con el estado actual de los suelos.
- Calcular el índice de mineralización de la materia orgánica en suelos de estudio.

III. MARCO TEÓRICO

3.1 Suelos.

El suelo constituye el fundamento más importante de la producción agropecuaria y la alimentación humana.

En la agricultura moderna se ha impuesto el concepto del suelo como un simple medio de producción, cuya función, en el caso más extremo, se limita a sostener las raíces de la planta, mientras todo lo demás se añade en forma de sustancias minerales o sintéticas. Lastimosamente, hasta hoy en día se reproducen estas simplificaciones en algunos textos científicos sobre el suelo.

La ciencia del suelo o edafología define su objeto de estudio como una delgada capa superior de la corteza terrestre, donde la litosfera, es decir el material mineral original, ha sido transformada sustancialmente y se mezcla con la atmósfera, la hidrosfera y la biosfera. Eso significa que se puede hablar de suelo solamente donde estén presentes estas cuatro esferas. No existe suelo, p.ej., en un desierto donde nunca llueve, porque falta la hidrosfera y la biosfera, ni tampoco al fondo del mar, donde falta la atmósfera. (Benzing. A 2001).

3.2 Suelos de Nicaragua.

Los suelos del Pacífico de Nicaragua son de origen volcánico reciente, y localmente han sido afectados por erupciones durante los últimos 10,000 años. Como los volcanes activos están más cercanos a la costa Pacífica, donde las cenizas son llevadas por los vientos dominantes, la renovación de la fertilidad de los suelos por esta acción ha sido menor en la vertiente caribeña. A veces oímos que los suelos volcánicos son todos fértiles, aunque en realidad son muy variables en calidad. Su fertilidad depende tanto de la naturaleza del material volcánico original como de su susceptibilidad hacia los procesos principales de la formación de suelos; clima (temperatura, humedad, vientos), flora, fauna, relieve y drenaje, tiempo, y el impacto humano. Su buena porosidad permite cultivar en laderas con

fuertes pendientes, aunque muchos muestran deficiencias de fósforo, azufre y del micronutriente boro.

En Nicaragua, algunos suelos profundos de cenizas tienen la desventaja de drenar y secarse rápidamente, pero los suelos de las costas de los lagos de Nicaragua y Managua, con contenidos más altos de arcilla, mantienen mejor la humedad y así han sido más favorables para el cultivo. Sin embargo, hay áreas extensas del llamado talpetate en el sur de Nicaragua, que son considerados antiguos flujos de lava. El talpetate forma una capa relativamente impermeable cuya profundidad puede variar desde muy cerca de la superficie a dos metros en un área muy pequeña. El talpetate puede impedir el crecimiento de raíces, limitando la capacidad de cultivos y árboles de aguantar periodos secos. Los vientos también pueden causar erosión en suelos al descubierto, en particular en topografías planas o de pendiente moderada. En el noroeste de Nicaragua (zona de León y Chinandega) se han presentado problemas graves con erosión por viento, necesitando rompe vientos para reducirla. (Boshier *et al.*, 2004).

3.3 Clasificación de los suelos de Nicaragua.

3.3.1 Vertisoles (Sonzocuite): Son suelos minerales de desarrollo reciente, con horizonte superficial de poco espesor, muy arcillosos, que durante la estación seca se contraen y presentan grietas anchas y profundas y durante la estación lluviosa se expanden, tienen formación de micro relieve en la superficie, son de muy profundos a moderadamente profundos (que no tienen contacto rocoso a menos de 50 cm de profundidad), la fertilidad del suelo es de alta a baja, formados de sedimentos lacustres o lagunares, de tobas, basaltos y otras rocas ricas en bases y fácilmente meteorizables, en pendientes de 0–8%, también se encuentran en pendientes de hasta 15%.

3.3.2 Suelos Entisoles: Son suelos minerales de formación reciente que tienen poca o ninguna evidencia de desarrollo de horizontes genéticos, la mayoría no

poseen el horizonte superficial con algún nivel de desarrollo, pero cuando se encuentra tiene colores claros (epipedón ócrico) u oscuros (epipedón úmbrico), la profundidad varía de profundos a muy superficiales, relieve de plano a muy escarpado, la fertilidad del suelo es alta a baja, en algunos suelos las inundaciones son frecuentes y prolongadas durante la estación lluviosa.

3.3.3 Suelos Inceptisoles: Son suelos minerales de desarrollo incipiente, de poco profundos a muy profundos; el horizonte superficial es de colores claros (epipedón ócrico) o de colores oscuros (epipedón úmbrico) y el subsuelo tiene un horizonte alterado (horizonte cámbico) de textura franco arenosa muy fina a arcillosa, con estructura de suelo o ausencia de estructura de roca por lo menos en la mitad del volumen; con inundaciones ocasionales y prolongadas en algunas áreas, sobre todo en la región Atlántica de nuestro país, donde el contenido de aluminio fluctúa de alto a medio. Se presentan en relieve de plano a muy escarpado, la fertilidad se presenta de muy baja a alta. Son desarrollados de sedimentos aluviales, fluviales, coluviales, de cenizas volcánicas, de rocas básicas y ácidas.

3.3.4 Suelos Mollisoles: Son suelos minerales con estado de desarrollo: incipiente, joven o maduro. Con un horizonte superficial (epipedón móllico) de color oscuro, rico en humus, bien estructurado, suave en seco y un subsuelo de acumulación de arcilla aluvial (un horizonte argílico, o un horizonte cámbico cargado de arcilla); de poco profundos a muy profundos, fertilidad de baja a alta; desarrollados de depósitos aluviales y lacustres sedimentados de origen volcánico, rocas básicas, ácidas, metamórficas, sedimentarias y piroplásticas.

3.3.5 Suelos Alfisoles: Suelos minerales maduros, bien desarrollados. Con un horizonte superficial de color claro (epipedón ócrico) o de color oscuro (epipedón úmbrico) y un subsuelo de acumulación de arcilla aluvial (horizonte argílico); de muy profundos a pocos profundos (60 a > 120 cm). En relieve de plano a muy escarpado, con una fertilidad de baja a media; desarrollados a partir de rocas ácidas, básicas, metamórficas, materiales indiferenciados y estratos sedimentarios de lutitas.

3.3.6 Suelos Ultisoles: Son suelos que tienen un drenaje interno natural de imperfecto a bien drenados, de profundos a muy profundos, en relieve de plano a muy escarpado, la fertilidad natural tiene valores de baja a media, con un contenido variable de aluminio, se han desarrollado de rocas básicas, intermedias y ácidas, de sedimentos aluviales, coluviales y fluviales.

3.3.7 Suelos Oxisoles: Son suelos minerales seniles, en la última etapa de intemperización química, con un horizonte superficial de colores claros que descansa sobre un subsuelo muy grueso de color rojo amarillento, muy profundos, moderadamente estructurado, con altas concentraciones de Hierro (Fe) y Aluminio (Al), bien drenados, muy ácidos, con un alto contenido en aluminio intercambiable, de relieve ondulado a escarpado, fertilidad muy baja, desarrollados de rocas ultra básicas (diabasa o basalto ultra básico).

3.3.8 Suelos Histosoles: Son suelos orgánicos muy profundos con un horizonte superficial de gran espesor, que contiene más del 20% de materia orgánica, por el alto contenido de tejido orgánico; con drenaje interno pobre a muy pobre, en relieve plano depresional y áreas pantanosas, con fertilidad baja a alta, desarrollados a partir de acumulación de depósitos orgánicos y sedimentos lacustres y fluviales. La mayor parte del año, tienen el nivel freático en o sobre la superficie del suelo. (INETER, 2006).

3.4 Suelos de León Caracterización.

3.4.1 Suelos de Larreynaga, Malpaisillo.

En la Planicie, se encuentran los mejores suelos para la producción agrícola intensiva; son suelos profundos, bien drenados, de textura franco arcillosa, de topografía plana alternados con suelos de textura pesada, arcillosos de drenaje imperfecto a mal drenados conocidos como Vertisoles o Sonzocuite; esta planicie se separa en dos Zonas por las formaciones de lomeríos, tomando los nombres de las poblaciones que albergan: la Planicie de Malpaisillo, en el Sector Oeste y la Planicie de Larreynaga en el Sector Este; en ellas, se identifican a los llanos de La Palmera y Sinecapa, respectivamente.

Los Suelos de la Planicie de Malpaisillo, presentan una canícula muy prolongada, más de 30 días consecutivos; por lo que se hace necesario el riego para la producción de primera; los suelos de la Planicie de Larreynaga, presentan una topografía suavemente ondulada, con pendientes de 8 a 15 % y se encuentra fuertemente erosionados por el uso intensivo y sin prácticas de manejo y conservación de suelos.

3.4.2 Suelos de La Paz Centro.

Los suelos de La Paz Centro se caracterizan por ser suelos que van de profundos a moderados superficiales, de color rojizo con subsuelos arcillosos que se derivan de cenizas volcánicas, siendo ricos en minerales básicos se encuentran en las planicies con pendientes casi planas y onduladas.

Los suelos predominantes en el municipio son arena franca muy fina, franco arenoso, franco arcilloso, franco limoso y limo, arcillo arenoso, arcillo limoso con menos del 60% de arcilla y las arcillas pesadas (Vertisoles mayor del 60% de arcilla) estos suelos se encuentran distribuidos en todo el territorio existiendo áreas específicas de localización. Así se tiene que en la parte sur y sureste del municipio predominan los suelos Vertisoles; al oeste suelos con textura moderadamente finas (arena franca muy fina, franco arenoso, franco arcilloso, franco limoso y limo, arcillo arenoso, arcillo limoso) en la parte noreste, los suelos específicamente en la comarca momotombo los suelos arenosos que se han desarrollado a partir de sedimentos aluviales y lacustres.

3.4.3 Suelos de Quezalguaque.

Se encuentran los mejores suelos para la producción agrícola intensiva; son suelos profundos, bien drenados, de textura franco arcillosa, de topografía plana; este sector abarca la parte central y Sur del territorio; comprende algunas inclusiones de suelos arcillosos pesados de drenaje imperfecto o áreas de llano, buenos para la agricultura de riego o pasto con pendientes de 0 a 8%, bueno para todo tipo de cultivo adaptable a la región, se encuentra un área de lava volcánica,

aproximadamente unas 20 Ha y un área de suelos pedregosos, unas 250 Ha. aproximadamente.

En el Pie de Monte de la Cordillera de los Maribios, los suelos son frágiles, superficiales, pedregosos en algunas localidades, erosionados por la deforestación, presenta muchos barrancos y su uso potencial es para la Conservación de recursos naturales; siendo el Pie de Monte de un área protegida por decreto de Ley, debe ser reforestada, las actividades productivas de los pobladores afincados en el sector deben ser controladas y orientadas a la producción forestal, agrosilvopastoril y agroforestal con tecnología agroecológica; este Sector abarca las localidades de: La Joya, Zarandajo, Casa, El Guanacastal, y la Colonia Cristo Rey. Entre El Guanacastal y la Colonia Cristo Rey, se evidencia una Zona de unas 100 Ha, con muy buenos suelos para la agricultura intensiva, la que debe ser manejada con prácticas de tecnología agroecológica y en sistemas de producción agroforestal.

3.4.4 Suelos de Telica.

Los suelos son derivados de cenizas volcánicas recientes y antiguas, además de rocas volcánicas. Estos suelos pueden ser desde altamente productivos a improductivos, recomendados para la forestaría, pastizales y agricultura, con tratamientos especiales de conservación. Con fertilizantes y agua presentan alta productividad; la restricción se basa en su profundidad. El equilibrio de los acuíferos está limitado a la intensidad de uso.

En la Planicie del Pacífico o Planicie de Telica, Sector Sur, se encuentran los mejores suelos para la producción agrícola intensiva; son suelos profundos, bien drenados, de textura franco arcillosa, de topografía plana; esta planicie incluye la Planicie de Las Marías en el sector Noroeste del municipio. Los Suelos del Sector Norte, se ubican en la planicie de Malpaisillo, son igualmente buenos suelos para la agricultura intensiva.

En las planicies se encuentran algunas inclusiones de suelos arcillosos pesados de drenaje imperfecto o áreas de llano, buenos para la agricultura de riego o pasto: en el sector Norte se encuentra una zona de topografía ondulada con

alturas hasta de 216 msnm. , Lomas Las Mesas, y el Cerro Tagüistepe de 102 msnm. , donde los suelos son buenos para uso agroforestal o silvopastoril; y en el sector Sur se encuentra un área de lava volcánica, aproximadamente unas 200 Ha.

3.4.5 Suelos del Jicaral.

Los suelos del Jicaral son muy irregulares, el terreno es pedregoso, quebrado y árido. Tiene un clima de Sabana tropical. El Municipio se encuentra en los límites norte de la cuenca hidrográfica de los lagos de Managua y Nicaragua. Este Municipio se caracteriza por tener una vegetación caducifolia. (www.inifom.gob.ni/,2004).

3.5 Suelos de Chinandega Caracterización.

3.5.1 suelos de Chinandega

El territorio del municipio de Chinandega, abarca una diversidad de regiones ecológicas. La porción suroeste del municipio, donde se asienta la cabecera municipal del mismo nombre, forma parte de la fértil llanura de origen volcánico que corre paralela a la cordillera de los Maribios. El municipio se extiende también sobre esta cordillera, abarcando en su zona central y oriental una gran parte del complejo volcánico dominado por las cumbres de los volcanes Chonco, San Cristóbal y Casita, caracterizados por los suelos arenosos de sus faldas y ligeramente más fresco. En su extremo norte, el municipio se conecta con el ecosistema de manglares y pantanos salobres que bordean el rio Estero Real. Finalmente en su frontera noreste, limitando con los municipios de Villanueva y Somotillo, su territorio llega al borde donde comienzan los llanos (terrenos arcillosos y/o pedregosos) de la región más seca que se extiende hacia las mesetas segovianas.

La llanura que está al pie de la cordillera de los Maribios, ha sido fertilizada desde el periodo cuaternario por cenizas arrojadas por los volcanes que brotaron en la cordillera y que fueron arrastradas por los vientos que normalmente soplan de este

a noreste, para ser depositadas en las llanuras. La acumulación de estas cenizas volcánicas ha conformado suelos fértiles, profundos y de textura franco-limosa, reconocidos como uno de los terrenos más favorables para el desarrollo de la agricultura a nivel nacional (Incer 1970)

4.5.2 Suelos de Posoltega

Posoltega posee un total de 12,250.42 hectáreas, de las cuales 6,582.10 hectáreas (53.70%) del total del municipio, concentra en un 94% aproximadamente los cultivos anuales de agro exportación y producción para consumo local, asimismo la producción cañera y las industrias del municipio, asimismo las zonas de mayor desarrollo urbanístico, con la carretera Panamericana que atraviesa el municipio de este a oeste. Como zona está comprendida entre la Cordillera de los Maribios y la zona costera.

Comprende las Planicies Nagrandana, con los mejores suelos agropecuarios y las mayores reservas de aguas subterráneas de la región, caracterizada por mesetas y colinas con suelos de vocación pecuaria y forestal.

Es el territorio de mayor desarrollo regional, con los mejores suelos agropecuarios y amplios de la región, de topografía plana y potencial de recursos hídricos para el consumo humano e irrigación. (www.inifom.gob.ni,2004)

3.6 Características químicas y biológicas de los suelos.

La fertilidad y el funcionamiento de los suelos dependen en una gran proporción de las propiedades bioquímicas y microbiológicas, ya que son muy importantes para definir las principales funciones edáficas: productiva, filtrante y degradativa. Por lo tanto, la actividad biológica y bioquímica del suelo es de importancia capital en el mantenimiento de la fertilidad de los hábitats terrestres y consecuentemente el funcionamiento de los ecosistemas forestales y agrícolas.

3.6.1 Indicadores biológicos y bioquímicos del suelo

3.6.1.1 Bacterias:

La función básica de las bacterias es la descomposición y mineralización de los residuos orgánicos, de donde obtienen su fuente energética y alimenticia. Mediante su metabolismo liberan al medio sustancias como enzimas, proteínas, reguladores de crecimiento, metabolitos y algunos nutrientes. Los beneficios de las bacterias para los cultivos se relacionan con un incremento en la cantidad de raíces y un aporte importante de elementos básicos para el desarrollo y producción.

El número de bacterias tiene una estrecha relación con algunas propiedades físicas del suelo, como la textura, estructura, porosidad, aireación y retención de humedad, ya que su actividad se beneficia con una mayor disponibilidad de oxígeno, principalmente en aquellos suelos con poca compactación y sin excesos de agua. (www.fontagro.org)

Dentro de las propiedades químicas que favorece la actividad de las bacterias se encuentra un pH cercano a la neutralidad, una baja acidez, altos contenidos de materia orgánica y alta disponibilidad de algunos elementos necesarios para su metabolismo, como N, Ca y Mg.

También es importante tomar en cuenta los factores que pueden afectar negativamente las poblaciones de bacterias, dentro de éstos está la presencia de otros organismos antagónicos y de sustancias contaminantes en el suelo, así como la aplicación de agroquímicos. (www.fontagro.org)

3.6.1.2 Hongos:

La función básica de los hongos es la descomposición y mineralización de los residuos orgánicos frescos o recién incorporados al suelo, por esto se les conoce como descomponedores primarios que mediante su metabolismo libera gran cantidad de enzimas capaces de destruir compuestos de estructuras complejas,

para así obtener su fuente energética y alimenticia. Además liberan al medio proteínas, reguladores de crecimiento, metabolitos y algunos nutrientes.

Los beneficios de los hongos para los cultivos se relacionan con un incremento en la cantidad de raíces, una protección al ataque de fitopatógenos y un aporte importante de elementos básicos para el desarrollo y producción.

Al igual que las bacterias y actinomicetos, la disponibilidad de oxígeno en el medio es importante, ya que el número de hongos del suelo tiene una estrecha relación con propiedades físicas relacionadas con la función filtrante del suelo: textura, estructura, porosidad, aireación y retención de humedad. En cuanto a parámetros químicos, se favorece la actividad de los hongos a un pH del suelo medianamente ácido, una acidez intercambiable intermedia, altos contenidos de materia orgánica y alta disponibilidad de elementos esenciales. Organismos antagónicos y sustancias contaminantes son factores que también afectan la actividad de los hongos en el suelo. (www.fontagro.org)

Los ciclos de algunos nutrientes mayoritarios, como el carbono, demuestran que la biomasa microbiana es clave en la dinámica de los nutrientes esenciales en el sistema edáfico; por ello, algunos autores afirman que la biomasa microbiana y su actividad en el suelo puede ser empleada como índice de comparación entre sistemas naturales o como indicador de las variaciones sufridas en el equilibrio de un suelo debido a la presencia de agentes nocivos o su manejo productivo (Doran *et al.*, 1994).

Es decir, que los parámetros microbiológicos, y por lo tanto bioquímicos, sirven para indicar posibles cambios netos en el equilibrio del suelo que no podrían detectarse con métodos tradicionales (Brookes, 1985; Doran *et al.*, 1994; García y Hernández, 2000).

Algunos autores (Nannipieri,1984; Brookes,1985; Doran *et al.*,1994) recomiendan indicadores sencillos de medir y de interpretar. Los más comunes que se utilizan son, entre otros, la biomasa microbiana, la respiración del suelo y las relaciones con la materia orgánica y el estado fisiológico del suelo, donde se ve involucrada la energía en los procesos orgánicos. En cuanto a la biomasa microbiana, este indicador expresa la cantidad de microflora presente en el suelo a través de la extracción del carbono microbiano. El mismo se ve afectado por la agroclimatología que sufren las muestras *in situ*, es decir la humedad, el calor, la biodiversidad de residuos orgánicos al ecosistema y por sustancias agresivas a la actividad microbiana. (Acuña *et al.*, 2006)

3.6.2 Materia orgánica del suelo (MO)

Indudablemente se trata del componente mas importante del suelo para la agricultura orgánica. La MO influye en todos los demás aspectos del suelo: en su estructura, en su capacidad de retener el agua, en su aireación, el contenido y la disponibilidad de nutrientes, el pH, la CIC, y a largo plazo incluso en la textura. La mayoría de los suelos agrícolas contienen entre 0,5 y 3% de MO pero el porcentaje en suelos volcánicos es muchas veces más alto, al igual que en suelos orgánicos, (Benzing. A 2001).

Se sabe que la materia orgánica es indispensable para el mantenimiento de la micro y meso vida del suelo. Y no hay duda de que la bioestructura y toda productividad del suelo se basa en la presencia de materia orgánica en descomposición o humificada.

¿Qué es materia orgánica? Es toda sustancia muerta en el suelo, ya sea que provenga de plantas, microorganismos, excreciones animales (de la fauna terrestre), ya sea de la meso y macrofauna muerta. (Primavesi, 1982)

3.6.3 Microbiota del suelo.

La fracción biótica de la materia orgánica, formada por microorganismos vivos, desempeña un papel básico en los suelos, al ser la responsable última del estado de la materia orgánica, y en general, del desarrollo y funcionalidad del ecosistema (Smith *et al.*, 1993). La microbiota del suelo influye tanto en el establecimiento de los ciclos biogeoquímicos como en la formación de la estructura de los suelos (Roldan *et al.*, 1994) por lo que resulta de gran interés en conocer los factores que regulan su tamaño, actividad y estructura (Zeller *et al.*, 2001). La microbiota es responsable de entre el 80 y el 90% de procesos que tienen lugar en el suelo (Nannipieri y Badalucco, 2003).

La población microbiana del suelo puede ser muy numerosa, dicha población puede alcanzar entre 10^8 y 10^9 células por gramo de peso seco, valorado microscópicamente. Hay que tener en cuenta que sólo han sido cultivados aproximadamente un 10% de los organismos microscópicamente observables de la biomasa del suelo (Prescott *et al.*, 2004). La microbiota del suelo representa entre el 1 y el 3% de la materia orgánica y está compuesta por bacterias, actinomicetos, hongos, algas y protozoos. (Labrador, 2001).

Las bacterias presentan una gran variedad fisiológica, y por lo general, es el grupo más numeroso del suelo. La mayoría son heterótrofas, y, aunque tienen un papel importante en la degradación de la materia orgánica, son poco eficaces en la formación del humus (Prescott *et al.*, 2004)

El grupo de los actinomicetos presenta una gran variabilidad; considerándolos como un grupo de transición entre las bacterias y los hongos. Son organismos heterótrofos, aerobios, poco tolerantes a la acidez y juegan un papel importante en la formación de sustancias húmicas. Los hongos del suelo presentan una alta heterogeneidad y diversidad. Han sido estudiados ampliamente por su importancia en la descomposición de tejidos vegetales y animales, por su papel en la rizosfera, por la formación de micorrizas y por su capacidad fitopatógena. Son organismos

heterótrofos y por regla general aerobios estrictos. Son capaces de degradar un alto número de sustratos, como la lignina, celulosa, quitina, o la queratina, entre otros (Prescott *et al.*, 2004)

La biomasa microbiana se ve afectada por factores como la temperatura (Wardle, 1992), humedad (Van Gestel *et al.*, 1993), contenido en arcillas (Kaiser *et al.*, 1992) y pH (Carter, 1986). La influencia de la topografía del terreno en el movimiento del agua y la consecuente redistribución de los materiales transportados por ella puede influir o controlar el tipo e intensidad de los procesos del suelo. La respuesta microbiana a la redistribución de los nutrientes y la humedad debido a la topografía puede alterar el ciclo de nutrientes (Chen y Chiu, 2000).

La biomasa microbiana varía con las fluctuaciones anuales de temperatura, humedad y disponibilidad de nutrientes (Arunachalan *et al.*, 1999). No obstante, estas variaciones estacionales dependen del ecosistema en cuestión (Chen *et al.*, 2005). La comunidad microbiana también varía con la profundidad del suelo, encontrándose una mayor biomasa en la superficie (Fierer *et al.*, 2003; Chen *et al.*, 2005), siendo la superficie del suelo bastante rica en fuentes de carbono debido al aporte de restos vegetales y exudados vegetales. Por el contrario, el carbono en los horizontes más bajos suele ser limitante (Ajwa *et al.*, 1998; Trumbore, 2000). Estos cambios en la disponibilidad de carbono van a afectar a la distribución microbiana del suelo (Griffiths *et al.*, 1999; Fierer *et al.*, 2003).

El contenido de materia orgánica y arcilla de los agregados determina la distribución espacial de los microorganismos, de tal manera que la mayor diversidad se encuentra en los microagregados de 2-20 μm . Tal circunstancia se debe a que este tipo de agregados tienen elevados porcentajes de carbono y nitrógeno y además ofrecen nichos para que los microorganismos puedan eludir a los protozoos depredadores (Van Gestel *et al.*, 1996). Los hongos son la

comunidad dominante en macroagregados mientras en los microagregados el grupo mayoritario son las bacterias (Guggeberger *et al.*, 1999).

La microbiota del suelo ha sido estudiada ampliamente en diferentes ambientes, como el desierto polar (Horowitz *et al.*, 1972), la tundra (Zhou *et al.*, 1997), bosques boreales (Henckel *et al.*, 2000), costas marinas (Chen *et al.*, 2005), los trópicos (Gomes *et al.*, 2001), desiertos de montaña (Bailey *et al.*, 2002) o zonas contaminadas (Kandeler *et al.*, 2000).

Dentro de cada suelo se encuentran diversos microhábitats con una alta actividad biológica que se conocen como “puntos calientes” (Nannipieri *et al.*, 1990). Un punto caliente por excelencia es la rizosfera que es la zona de interacción entre las raíces de las plantas y los microorganismos (Lynch, 1990). La comunidad microbiana que se encuentra en esta zona difiere notablemente de la microbiota característica del suelo, ya que aquí las plantas crean un hábitat único para el desarrollo de los microorganismos.

3.6.4 Actividad microbiana del suelo

Podemos medir la actividad metabólica de microorganismos heterotróficos del suelo estudiando la mineralización de sustratos orgánicos. Definimos mineralización como la degradación completa de un compuesto a sus constituyentes minerales, en donde el carbono orgánico es oxidado hasta CO₂. Dado que la descomposición de un sustrato orgánico por medio del proceso de respiración aeróbica tiene como productos principales CO₂ y H₂O, la evolución de CO₂ puede utilizarse como un indicador bastante preciso de la actividad respiratoria de comunidades en agua y suelo. ([ocw.um.es /ciencias/ecología/lectura](http://ocw.um.es/ciencias/ecología/lectura)).

La actividad microbiana del suelo puede ser estimada indirectamente en la determinación de la respiración basal. Esta consiste en determinar la producción de O₂ en el medio o bien la concentración de CO₂ desprendido (función de la actividad biológica y del contenido del suelo en carbono orgánico fácilmente

mineralizable), mediante la técnica de incubación estática que captura el producto de mineralización en una solución alcalina durante un periodo de tiempo bajo condiciones ambientales óptimas (Alef y Nannipieri, 1995; García *et al.*, 2003).

Comúnmente se analiza la tasa de evolución de CO₂ proveniente de la mineralización del sustrato orgánico del suelo. El flujo de CO₂ teóricamente representa una medición integrada de la respiración de raíces, respiración de la fauna del suelo y la mineralización del carbono desde las diferentes fracciones de la materia orgánica del suelo y del mantillo. Las mediciones también proveen una indicación sensitiva de la respuesta de la actividad microbiana a variaciones de temperatura y humedad, los efectos de humedecimiento – secado, la aplicación de agroquímicos o elementos metálicos, la exudación de sustancias supresoras y el manejo del medio, entre otros (García *et al.*, 2003; Peña, 2004).

A pesar de sus limitaciones, la respiración continúa siendo el método más popular que se usa como indicador de la actividad microbiana y de la descomposición de sustratos específicos del suelo. Estos parámetros indican de manera fehaciente la mineralización que ocurre en el sustrato orgánico del suelo y son indicadores de la calidad de la materia orgánica y salud del suelo. (Acuña *et al.*, 2006)

3.7 Características físicas de suelo

Las propiedades físicas permiten conocer mejor las actividades agrícolas fundamentales como el laboreo, la fertilización, el drenaje, la irrigación, la conservación de suelos y agua, así como, el manejo adecuado de los residuos de cosecha. Tanto las propiedades físicas como las químicas, biológicas y mineralógicas determinan, entre otras, la productividad de los suelos. (www.slideshare.net)

3.7.1 Estructura

Se la define como el arreglo de las partículas del suelo. Se debe entender por partículas, no solo las que fueron definidas como fracciones granulométricas (arena, arcilla y limo), sino también los agregados o elementos estructurales que se forman por la agregación de las fracciones granulométricas. Por lo tanto, «partícula» designa a toda unidad componente del suelo, ya sea primaria (arena, limo, arcilla) o secundaria (agregado o unidad estructural). (www.fagro.edu.uy)

El arreglo entre las partículas del suelo, la estructura, determina el espacio entre las mismas, que son predominantemente macroporosos. Según el nivel de observación, se puede hablar de macroestructura o microestructura. La macroestructura, es el arreglo de las partículas secundarias y primarias visibles a simple vista. La microestructura es el arreglo de las partículas primarias para formar las secundarias; de ella depende en alto grado la macroestructura. Al atender a la microestructura, se observa que los componentes coloidales del suelo (plasma) actúan como cemento de los granos más gruesos (esqueleto).

(Rucks, 2004)

3.7.2 Pedregosidad

Se refiere a la presencia de piedras sobre la superficie del terreno y semienterradas. Se expresa en porcentaje de la superficie cubierta de piedras. La Pedregosidad tiene que ver con la eficiencia y grado de dificultad de la labor agrícola, viabilidad de mecanización del terreno y crecimiento de la biomasa, ya que niveles elevados de pedregosidad reducen el área y el espacio disponible para siembra y crecimiento de las plantas (caso de pasturas, por ejemplo). (www.rlc.fao.org)

La pedregosidad también influye sobre la erosión y el almacenamiento del agua del suelo. Un grado elevado de piedras cubriendo el terreno puede ser beneficioso, porque reduce el impacto de las gotas de lluvia sobre el suelo y la evaporación del agua. Sin embargo, la pedregosidad semienterrada o enterrada

reduce el área superficial y el volumen de suelo poroso por donde se infiltra el agua; en este caso, favorece la escorrentía.

El tamaño de las piedras también es importante. Se requiere saber si ellas pueden ser manejadas de alguna forma. Por lo anterior, es importante considerar si la pedregosidad está compuesta por piedras pequeñas, con diámetro menor de 10 cm (poco práctico moverlas) o muy grandes, con diámetro mayor de 50 cm (inamovibles).

3.7.3 Profundidad efectiva del suelo

Se refiere a la profundidad del límite inferior del perfil que posibilita el crecimiento radicular de las plantas y a partir del cual las raíces (por un impedimento de naturaleza física o química) tienen un crecimiento fuertemente restringido. La profundidad efectiva de un suelo posee un alto significado agrícola en aspectos como el volumen de suelo explotado por las raíces. En este sentido, cuanto mayor es el volumen explotado tiende a ser mayor el suministro de agua y nutrientes para las plantas.

En Nicaragua muchos suelos, principalmente en laderas, poseen poca profundidad efectiva, lo cual debe ser considerado en la planificación de nuevas opciones productivas y de prácticas que ayuden a paliar el rápido déficit hídrico que sufren estos suelos cuando se presentan períodos de estiaje.

También es importante considerar que en suelos delgados la construcción de ciertas obras físicas que requieren remoción de material (terrazas individuales, acequias, canales, etc.), no son recomendables o tienen dificultades para ser aplicadas, ya que el substrato rocoso cerca de la superficie puede no permitir el diseño y ejecución de las mismas.

Por lo señalado, el uso debe adecuarse a las limitaciones de profundidad efectiva del suelo, manejando el agua y la nutrición de manera más cuidadosa para posibilitar una producción aceptable y de bajo riesgo. Patrones de profundidad efectiva y su correspondiente significado. (www.rlc.fao.org)

3.7.4 Drenaje

Se refiere a la velocidad con que el agua se desplaza por la superficie del terreno (drenaje externo) y dentro del perfil del suelo hacia zonas más profundas (drenaje interno). Se dice que un suelo tiene mal drenaje cuando el desplazamiento del agua es lento o muy lento, o cuando la capa freática está dentro de la zona potencial de aprovechamiento de las raíces de las plantas. El drenaje tiene un importante significado agrícola, puesto que puede afectar positiva o negativamente la producción.

Es común encontrar terrenos con limitaciones de drenaje temporal, durante los períodos muy húmedos del invierno. Esta situación se presenta en terrenos cóncavos, suelos delgados y con impedimentos continuos, donde el agua puede acumularse temporalmente. Estos terrenos se presentan en forma de lunares y no podrían detectarse si el levantamiento se hace en el período seco. La información de los productores/as es de vital importancia para evaluar el comportamiento del drenaje en el período seco. (Espinoza; Cavazos, 1992; Castillo, 2000.)

3.7.5 Compactación e infiltración

Se define a la compactación como el aumento de la densidad del suelo como resultado de las cargas o presiones aplicadas al mismo. Su magnitud se expresa como un aumento de la densidad aparente y de la resistencia del suelo a la penetración. Las principales causas de la compactación del suelo son las presiones generadas por el paso de rodados e implementos agrícolas, el pisoteo animal y el reacomodamiento de las partículas de suelo en planteos de trabajo sin laboreo.

Este fenómeno tiene implicancias directas e indirectas sobre el desarrollo de los cultivos, afectando principalmente el abastecimiento de agua y nutrientes a la planta. Altera la capacidad de infiltración de agua, su redistribución en el perfil del suelo, la aireación, la transferencia de calor y el movimiento de nutrientes.

La reducción de la tasa de infiltración aumenta las pérdidas por escurrimiento y disminuye la reserva disponible para los cultivos (Gil et al., 1993). Bacigaluppo y

Gerster (2003), encontraron en el sector densificado por tránsito una marcada disminución en la disponibilidad de nitratos en el horizonte superficial, menores valores de conductividad hidráulica, y menor desarrollo radicular en profundidad. (Richmond, 2006).

3.7.6 Erosión

La erosión del suelo es causada por el aire y el agua de lluvia no infiltrada que escurre superficialmente de un campo. Muchas veces, la erosión hídrica y la escorrentía superficial de agua es aceptada como un fenómeno inevitable, asociado a la agricultura en terrenos con pendientes. Sin embargo, la pérdida de suelo y la escorrentía no son fenómenos naturales inevitables. Según Lal (1982), el surgimiento de daños causados por la erosión en áreas cultivadas no es más que un síntoma de que fueron empleados métodos de cultivo inadecuados para determinada área y su ecosistema. En otras palabras prácticas agrícolas inadecuadas han sido utilizadas. No es la naturaleza (relieve e intensidad de lluvias), sino son los métodos irracionales de cultivo utilizados por el hombre, los responsables por la erosión y sus consecuencias nefastas. El agricultor puede, mediante la utilización de sistemas de cultivo adaptados al lugar, controlar eficazmente la erosión, reducir la escorrentía y aumentar la infiltración de agua en sus campos. El agua que sale del campo en forma de escorrentía queda perdida para las plantas, mientras que el agua infiltrada puede ser utilizada eficientemente por las plantas. Esto es muy importante en climas más secos o donde ocurren períodos sin lluvias con cierta frecuencia. (Derpsch, 2004).

3.7.7 Color superficial

El color es un carácter del suelo, fácil de observar y de uso cómodo para identificar un tipo de suelo dentro del cuadro regional o local. Generalmente está en relación con los procesos de pedogénesis o con uno de los factores de formación.

Las principales sustancias que confieren al suelo su color son el humus, compuestos minerales como los óxidos, sulfuros, sulfatos, carbonatos. Los colores

claros, es decir, el blanco el blancuzco, son debidos a la abundancia de minerales blancos o incoloros. Los horizontes superficiales de suelos evolucionados presentan bastante raramente esos tintes, salvo en los suelos de regiones secas, áridas o desérticas.

Pero se encuentran más a menudo en los horizontes del subsuelo o en los suelos poco evolucionados, en los suelos esqueléticos y en los decapitados, en los que la erosión se ha llevado los horizontes superficiales. Los minerales que tienden a provocar estas coloraciones claras son la sílice, el calcáreo en un grado elevado de pureza, el yeso, los cloruros o la arcilla, también desprovista de impurezas. Los colores negros o pardo muy oscuro son provocados por el humus o el manganeso, estando a menudo este último al estado de bióxido (MnO_2), o también por los sulfuros de hierro.

Toda la gama de coloraciones que van por una parte; desde el rojo y a veces del granate, al beige, pasando por el amarillo, el anaranjado y el pardo, y, por otra parte del gris al verde pasando por los diferentes matices del gris, son casi siempre debidas a los compuestos del hierro, sea que intervengan prácticamente solos, o que se asocien a otros elementos coloreados del suelo para dar el tinte resultante. (Rucks, 2004.)

3.8 Evaluación visual de suelo en base a indicadores agroecológicos

Las evaluaciones visuales de las cualidades y características del suelo proporcionan un método práctico, semi cuantitativo y de bajo costo para evaluar y efectuar un seguimiento efectivo a las características del suelo comparadas con medidas de campo y de laboratorio. El método de evaluación visual del suelo (EVS) fue desarrollado para suministrar a los agricultores, expertos en manejo de tierras y autoridades reguladoras una herramienta simple que les permita determinar y efectuar seguimiento de la condición del suelo rápidamente, de bajo costo y muy eficaz. (Benites, 2008)

3.8.1 Cobertura de suelo

La cobertura del suelo tiene una acción protectora por la interceptación y absorción del impacto directo de la gota de lluvia, previniendo así el sellado de la superficie y preservando la estructura del suelo inmediatamente por debajo de la misma (Adams, 1966). De esa manera, la infiltración de agua puede ser mantenida a lo largo de la lluvia (Musgrave y Nichols, 1942). Por lo tanto, aumentando la cobertura del suelo se reducen la desagregación y movimiento del suelo por la salpicadura de la lluvia (Singer *et al.*, 1981), el promedio de la velocidad y la capacidad de transporte del flujo superficial (Lattanzi *et al.*, 1974; Meyer *et al.*, 1970; Mannering y Meyer, 1963). El volumen de escurrimiento superficial, según Singer y Blackard (1978), es afectado por la calidad y cantidad de residuos a través del retardo en el inicio de la escorrentía; del aumento del tiempo entre el inicio de la misma y el primer litro de agua escurrida; y de la disminución del tiempo entre el final de la lluvia y el final de la escorrentía.

3.8.2 Situación de residuos

López (1984) argumenta que a pesar de la disminución progresiva de la erosión durante el período vegetativo, los cultivos en desarrollo no reducen la erosión tan eficientemente como lo hacen sus residuos de cosecha mantenidos en contacto directo con la superficie del suelo. Por eso, la utilización de los residuos de cosecha como cobertura del suelo es la manera más eficiente, simple y económica del control de la erosión (Amado, 1985).

El efecto de los residuos de cosecha en el control de la erosión varía de acuerdo a la cantidad, la calidad, la cobertura del suelo, el manejo y el grado de descomposición del residuo (Cogo, citado por López, 1984). (<http://www.fao.org>)

3.9 Índice de mineralización de la materia orgánica

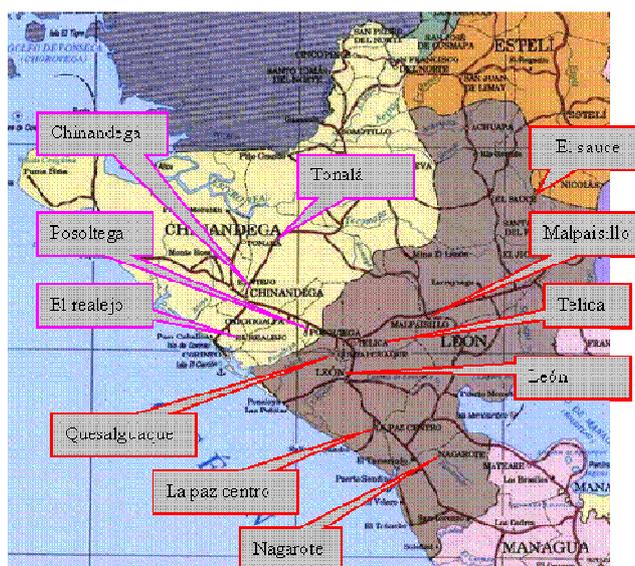
Se refiere al cálculo de la cantidad de C-CO que se relaciona con el **C total** de la materia orgánica, de donde se obtiene la proporción de la MO que es lábil o mineralizable.

La mineralización de la materia orgánica es un proceso esencialmente químico – biológico, llevado a cabo por diversos microorganismos. Depende de una serie de factores que son afectados por los sistemas de labranza. Así, la labranza convencional acelera la mineralización de la materia orgánica en los suelos debido a que crea un medio muy activo con altas temperaturas (suelo desnudo) y bien aireado (labranzas), mientras que bajo siembra directa ocurre lo contrario (Villanueva et al., 2004). Sin embargo como la materia orgánica es una mezcla de componentes con diferente velocidad de mineralización en función de su labilidad, el efecto del incremento de mineralización que causa la labranza convencional, posteriormente desaparecería, ya que después de algunos años bajo labranza convencional, quedarían en el suelo las fracciones de la materia orgánica humificada las más difíciles de mineralizar. Bajo siembra directa, en cambio, la acumulación de fracciones lábiles, acompañadas de temperaturas más bajas, causarían una mineralización más lenta, pero continua a través del ciclo del cultivo. (Melaj et al., 2003 en Videla et al., 2005).

IV. MATERIALES Y MÉTODOS

4.1. Información general de la zona de estudio

El estudio se realizó en 11 municipios de los departamentos de León y Chinandega, comprendidas entre las cooperativas del campo, Eddy Castellón, INTA / Alcaldía, Coop. Noel Murillo, UNAG-León, APRENIC, Coop. ASOGAL-León y Privadas. Se contaron con un total de 400 muestras las cuales fueron distribuidas, en los diferentes municipios de los departamentos, priorizando las zonas de mayor importancia productiva, cultivos de importancia, tipos de sistemas de producción y las condiciones topográficas de cada zona, comunidad y finca. Para esto se realizó un estudio de línea base por zona para determinar el uso actual del suelo.



Grafica 1: Ubicación de los municipios seleccionados para el estudio.

Los municipios en estudio fueron:

El Sauce, con condiciones climáticas que varía de 600 a 1800 mm anuales. La temperatura media anual oscila de 27⁰C a 35⁰C, y los suelos son de textura francos arcillosos. (Zapata, 1998).

Malpaisillo, Quezalguaque, Telica, con condiciones climáticas, la precipitación pluvial anual promedia entre los 1,100 y 1,400 mm³ y se concentra durante la estación lluviosa, entre mayo y octubre. La temperatura anual 30°C. Son suelos profundos, bien drenados, de textura franco arcillosa, de topografía plana alternados con lomeríos y suelos de textura pesada.

La Paz Centro, Nagarote, León. Con condiciones climáticas precipitación pluvial anual promedia entre los 1,300 y 1,000 mm³ y se concentra durante la estación lluviosa, entre mayo y octubre. La temperatura anual es de unos 30° C. suelos van de profundos a moderados superficiales, de color rojizo con subsuelos arcillosos que se derivan de cenizas volcánicas, siendo ricos en minerales básicos. (INIFOM 1994).

Chinandega, Tonalá, Posoltega, El Realejo. El clima es tropical seco, el mismo de todo el pacífico del país. El período de verano comprende desde el mes de Noviembre hasta el mes de Abril y el período lluvioso comprende de Mayo a Octubre. El clima es caluroso, con temperaturas medias entre 21° C. y 30° C. y máximas hasta de 42° C. La precipitación anual máxima alcanza 2,000 mm. y la mínima entre 700 y 800 mm. Anuales. La topografía del municipio es en general bastante llana. (www.inifom.gob.ni,2004)

4.2 Descripción de los materiales

4.2.1 Obtención de la información sobre el manejo de suelos:

1. Guía de encuesta de línea base
2. Guía de diagnóstico visual. (Altieri, 2001).

4.2.2 Levantamiento de muestras:

- Barreno, palines y barras.
- Baldes, Bolsas plásticas.
- Hoja de información de la muestra.
- Marcadores, GPS.

4.3 Metodología

4.3.1 Diseño experimental

4.3.1.1 Estudio de Línea Base:

Para la obtención de la información y resultados del estudio se procedió a la realización de una encuesta de línea base, con ayuda de preguntas abiertas y cerradas sobre el manejo actual de las parcelas a muestrear.

Para cada zona se realizó un estudio de línea base con los productores previo a la toma de muestras para obtener la información sobre el manejo actual de los suelos agrícolas, forestales y ganaderos, así como la planificación del muestreo de las parcelas de cada productor, tomando en cuenta los siguientes parámetros:

- Clasificar las fincas según su actividad principal (Agrícola, ganadera, forestal),
- Área destinada para cada actividad.
- Ubicación, tamaño de la parcela.
- Manejo (convencional, orgánico).
- Cultivos que ha sembrado.
- Tipo de fertilización, cantidad de fertilizante.
- Preparación de suelo.
- Diseño de un croquis de la finca.

4.3.2 Definición y medición de las variables a evaluar

Las variables físicas y químicas fueron medidas en el laboratorio de suelo de la UNAN – León.

4.3.2.1 En el análisis químico se consideraron los siguientes parámetros (Laboratorio)

- - **pH:** para la evaluación del pH se utilizó el método potenciométrico. (López, R. 1990)
- **Materia orgánica:** Método de Walkley – Black. (López, R. 1990). Métodos de evaluación visual de suelo. (Altieri, 2001)
- **Nitrógeno total**
 - **Amonio:** Método de Bremner
 - **Nitrato:** Método de Kjeldhal modificado (Rojas, L . *et, al;* 1989)
- **Ca:** Método del Acetato de Amonio (NH₄OAc). (Rojas, L . *et, al;* 1989)

4.3.2.2 En el análisis físico se consideraron los siguientes parámetros:

a) En Laboratorio:

- **Textura:** Método de densímetro de Bouyoucos. (López, R. 1990).

b) Diagnóstico en Campo:

- **Estructura:** Métodos de evaluación visual de suelo. (Altieri, 2001).
- **Erosión:** Métodos de evaluación visual de suelo. (Altieri, 2001).
- **Patrones de pedregosidad:** Métodos de evaluación visual de suelo. (Altieri, 2001).
- **Profundidad del suelo:** Métodos de evaluación visual de suelo. (Altieri, 2001).
- **Patrones de drenaje:** Métodos de evaluación visual de suelo. (Altieri, 2001).
- **compactación e infiltración:** Métodos de evaluación visual de suelo. (Altieri, 2001).
- **Color superficial, aspecto y olor:** Métodos de evaluación visual de suelo. (Altieri, 2001).

4.3.2.3 En el diagnóstico biológico se tomaron en consideración los siguientes indicadores:

a) Diagnóstico en Campo:

- **Situación de residuos:** Métodos de evaluación visual de suelo. (Altieri, 2001).
- **Cobertura de suelo:** Métodos de evaluación visual de suelo. (Altieri, 2001).
- **Actividad biológica en campo:** Métodos de evaluación visual de suelo. (Altieri, 2001).

b) En Laboratorio:

- **Determinación de la respiración basal** del suelo o actividad microbiana por el método de Isermeyer, 1952.
- **Determinación del índice de mineralización**

4.3.2.3.1 Determinación de la respiración basal

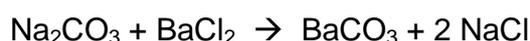
La determinación de la respiración basal del suelo se efectúa bajo las condiciones de incubación en laboratorio, sin la aplicación extra de nutrientes, bajo una temperatura constante (20-25 °C) y un contenido óptimo de agua en las muestras de suelos (aprox. 50-60 % del máximo de la capacidad de retención de agua) (Isermeyer, 1952; Alef 1991). Durante el periodo de incubación se mide la formación de bióxido de carbono (CO₂), como también respectivamente el consumo de oxígeno (O₂). Antes de la incubación las muestras de suelos se preincubaron por un tiempo de 24 h. para evitar anomalía ocasionadas por la alza de la actividad microbiana después de haber pesado las muestras y de ajustar el contenido de humedad de la misma (Jenkinson, 1988)

Reactivos

- NaOH (0,5 M; p.a Merck 6498)
- HCL (1,0 M; Titrisol, Merck 9970)
- BaCl₂ (Solución saturada; p.a. Merck 1719)
- Fenolftaleína (0.1 g in 100 ml 60% Etanol; Merck 7227)

Ejecución y determinación

200 g de suelo (correspondiente al suelo seco en horno) con humedad de campo se pesaron en cilindros, antes de regular el contenido de agua al 50% de su capacidad de retención hídrica. El suelo se colocó en recipientes de incubación con cerrojos (tapas) de 3 litros y se preincubaron en un cuarto oscuro por 24 horas y a 29 °C. Transcurrido este tiempo se colocó en el fondo de los recipientes de incubación un frasco de Gerber con 20 ml de agua para humedecer el aire interno y un frasco con 20 ml de una solución de 0,5 M NaOH para la absorción del bióxido de carbono formado (CO₂). A continuación se incubó el suelo por 2 días seguidos para la medición de la respiración basal a 29 °C en condiciones oscuras. Tras haber terminado la incubación se procedió al análisis de las muestras. Los frascos herméticos cerrados con la solución de NaOH se conservaron en un desecador que contiene absorbente de soda cálcica (Hidróxido de sodio) antes de iniciar la titulación, para evitar la contaminación con CO₂ del ambiente. Para la determinación del CO₂ se tomaron de los 20 ml de NaOH dos alícuota de 1 ml y se aplicó un 1 ml de solución saturada de BaCl₂ así como también 3 gotas de fenolftaleína (punto de cambio pH 8,3). Con la aplicación de BaCl₂ se precipita el CO₂ absorbido como BaCO₃.



Con una bureta y una solución de 0,5 M HCL se titulo la cantidad no consumida de NaOH hasta el punto cambio del indicador de fenolftaleína.

Cálculos y evaluación

Para el nivel de pH hasta 8,3:

$$\text{CO}_2\text{-C } (\mu\text{g g}^{-1} \text{ Suelo}) = (\text{B} - \text{S}) \times \text{M} \times \text{E} \times \text{A} / \text{Dw}$$

- B = HCl-Consumido por la muestra cero (μl)
- S = HCl-Consumido por las muestras de suelo (μl)
- M = Mol de la solución de HCl
- E = Factor de conversión del Carbono (6)
- A = Aliquota de la solución de NaOH
- Dw = Peso seco de la muestra de suelo (g)

4.3.2.3.2 Determinación del índice de Mineralización

En la materia orgánica ocurren varios procesos químicos y biológicos, entre los que se destaca la mineralización a través de la producción de CO₂ durante un periodo determinado. Si tomamos en cuenta que en la materia orgánica el mayor contenido de su peso es el carbono, la proporción de C-CO₂ producido por la respiración microbiana en función al C-Total de la materia orgánica corresponde al índice de mineralización del suelo. (F.E. Rosales et. All 2008).

$$\% \text{ índice de mineralización} = \frac{\text{g CO}_2 \text{ (respiración)}}{\text{g C total (M.O)}} \times 100$$

Índice de mineralización. Se refiere al cálculo de la cantidad de C-CO₂ que se relaciona con el C total de la materia orgánica, de donde se obtiene la proporción de la MO que es lábil o mineralizable. Es decir, se calcula el índice de mineralización del suelo. (ATLAS, R. and BARTHA, R. (2002).

4.3.4 En el diagnostico visual se consideran las siguientes variables:

Para la evaluación visual en campo, al momento de efectuar la recolección de muestras se observó en la zona de estudio los indicadores de calidad de suelos establecidos por Altieri, 2001 y la FAO, 2003: Estructura, Situación de residuos, color superficial, aspecto y olor, cobertura de suelo, Erosión, actividad biológica, presencia de materia orgánica, patrones de pedregocidad, profundidad del suelo, patrones de drenaje, compactación e infiltración. Cada uno de estos aspectos se valoró en rangos de 1, 5 y 10, valores que indican baja, regular y alta calidad de los suelos respectivamente.

V. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

5.1 Tasa de respiración basal de los suelos en los departamentos León – Chinandega.

La estimación de la respiración del suelo brinda la información sobre la dinámica de su biota y, por lo tanto, de los procesos metabólicos que en él se desarrollan; tales procesos varían en función de factores biofísicos del suelo y del uso de la tierra, por lo cual su medición es un indicador de la actividad de la biomasa microbiana presente. La actividad microbiana se desarrolla en función de factores intrínsecos y extrínsecos al sistema suelo, por lo cual constituye un indicador de la dinámica del suelo y de la salud del recurso, pues una buena actividad microbiana puede ser el reflejo de óptimas condiciones físicas y químicas que permitan el desarrollo de los procesos metabólicos de bacterias, hongos, algas y actinomicetos y de su acción sobre los substratos orgánicos. (Mora R, 2006).

Los resultados de respiración basal de los suelos agrícolas en estudio, se basan en un número total de 400 muestras, de las cuales 54 corresponden al departamento de Chinandega y 346 al departamento de León. (Ver anexo 1)

Tabla 1: Tasa de respiración basal de los suelos de los departamentos de León y Chinandega (n = 400).

Departamento	C- CO ₂ (µg / g de Suelo / día)				
	Mediana	Media	Mínimo	Máximo	Desv. típ.
Chinandega (n = 54)	30	32,78	15	70	15,16
León (n = 346)	35	43,51	15	180	30,24
Total	35	42,06	15	180	28,89

En la tabla 1 se observan los resultados promedios de la respiración basal en los suelos. Las muestras de suelo del departamento de León presentan un promedio de 43 ($\mu\text{g} / \text{g de Suelo} / \text{día}$), y en el caso de Chinandega un valor de 33 ($\mu\text{g} / \text{g de Suelo} / \text{día}$).

El departamento de León presentó el mayor desprendimiento de CO_2 con 180 (**$\mu\text{g} / \text{g de Suelo} / \text{día}$**), en comparación al departamento de Chinandega que obtuvo como máximo 70 (**$\mu\text{g} / \text{g de Suelo} / \text{día}$**). Cabe señalar que esta diferencia se debe a que el 86% de las muestras analizadas pertenecen al departamento de León, este último presentó una desviación típica de 30. 24, valor que nos indica una gran heterogeneidad en las muestras analizadas.

Estudios realizados en algunas zonas de los departamentos de León y Chinandega (Castillo, X. 2000), se obtuvieron resultados menores a los determinados en el presente estudio, siendo los valores para el departamento de León con una tasa de respiración de C- CO_2 de 11.85 $\mu\text{g} / \text{g de Suelo} / \text{día}$, y para el departamento de Chinandega con 11.77 $\mu\text{g de C- CO}_2 / \text{g de Suelo} / \text{día}$.

Debe tenerse claro que una alta tasa de respiración microbiana no necesariamente significa un resultado positivo, ya que si el sistema evaluado no tiene un aporte adecuado de nutrientes, puede ocurrir pérdida de C que lleve a un empobrecimiento del mismo. (ATLAS, R. and BARTHA, R. (2002).

Tabla 2: Respiración basal en las muestras de suelos de los municipios del departamento de León y Chinandega.

Municipio	C- CO ₂				Desv. típ.
	(µg / g de Suelo / día)				
	Media	Mediana	Mínimo	Máximo	
Chinandega	34	30	15	70	16
El realejo	25	22,5	15	35	8
La Paz Centro	52	50	25	80	17
León	29	20	15	110	17
Malpaisillo	59	45	15	180	39
Nagarote	63	60	20	120	25
Posoltega	58	50	50	70	11
Quezalguaque	21	20	15	35	6
El Sauce	39	40	15	65	15
Telica	42	37,5	30	65	11
Tonalá	28	30	15	45	8

n = 400

La determinación de este parámetro nos indica la actividad de los microorganismos del suelo. Se postula que el componente biótico del suelo y su actividad puede ser usado como indicador biológico para determinar el impacto del manejo agronómico en la calidad del agroecosistema (Zagal y Córdova, 2005).

Al comparar la tasa de respiración entre los municipios se observa que el municipio de Nagarote tiene la mayor tasa de respiración con 63 µg CO₂ /g de Suelo/día, seguido por Malpaisillo con 59, mientras que los suelos de Quezalguaque presentan la menor con 21 µg CO₂/g de Suelo/día. En el caso de Nagarote la respiración basal del suelo orienta que los microorganismos de este

suelo requieren de mayor energía para poder degradar la materia orgánica presente en ese suelo.

Las condiciones edáficas como contenido de minerales, materia orgánica, humedad, y flujo de oxígeno, son factores que influyen sobre la respiración basal del suelo. Los suelos del municipio de Nagarote son calcáreos, poco propicios para la explotación agrícola intensiva y favorecedores de una ganadería extensiva. La zona tiene suelos francos (arenosos y arcillosos) y arcillosos, la vegetación predominante son pastos naturales y mejorados (www.inifom.gob).

La prevalencia de pastizales y los pocos años de uso agrícola de los suelos del municipio de Nagarote, le facilitan a estos suelos las características propicias para un mayor desarrollo de la actividad microbiana en comparación al resto de suelos dedicados solamente al trabajo agrícola, ya que según (Primavesi, 1982), los pastos son considerados como los mejores renovadores de la bioestructura, y por consiguiente, de la productividad del suelo. Esto en conjunto con el aporte del estiércol vacuno contribuye a la proliferación de microorganismos del suelo. Por tanto los valores obtenidos en la actividad microbiana responden al uso actual de los suelos en Nagarote. Estudios realizados en El Ecuador (Chiriboga C, 2008) se encontró que en zonas con pastos activos la respiración del suelo fue de $12,96 \mu\text{g CO}_2/\text{m}^2/\text{día}$ superior a la encontrada en zonas de pastos abandonados con $9,800 \mu\text{g CO}_2/\text{m}^2/\text{día}$.

Para la interpretación de estos resultados es necesario considerar el tipo de productos químicos utilizados, ya que estos en los sistemas son un factor determinante para la proliferación de microorganismos del suelo. El estado de contaminación de los suelos influye sobre la respiración basal. Cuando las moléculas de los plaguicidas son adsorbidas por las partículas de suelo, esta adsorción puede durar desde unos días a muchos meses, e incluso ser tan fuerte que los microorganismos no puedan acceder a la sustancia para degradarla. El resultado es doble, por una parte, la presencia de plaguicida en el terreno, que

afecta a la microfauna y microflora del mismo, y por otro la disminución de la capacidad de intercambio catiónico debido a estar los plaguicidas ocupando el lugar que ocuparían las partículas minerales. (www. Mediterránea de agroquímicos. cat).

Tabla 3: Respiración basal de los suelos en base a su manejo.

Estadísticos	Chinandega	León	
	Convencional	Convencional	Orgánico
	CO ₂ (µg/g/d)		
Promedio	33	45	29
Mínimo	15	15	15
Máximo	70	180	60
n =	54	309	37
Porcentaje	14	77	9

En la tabla 3 se muestra que los suelos convencionales de Chinandega y León presentan la mayor respiración basal con valores promedios de **33 µg/CO₂/gr/día** y **45 µg/CO₂/gr/día** para cada uno, mientras que los suelos orgánicos de León liberaron **29 µg/CO₂/gr/día**. La prevalencia de los suelos bajo sistemas convencional en el departamento de León se encuentra con un 54 % con textura Franco y Arcilloso, por lo tanto las condiciones de materia orgánica y humedad favorecen la proliferación de microorganismos y su actividad mineralizadora. A pesar que en ambos departamentos los sistemas convencional se aplican a las áreas de estudio, estos presentan valores de actividad microbiana diferentes y con rangos del 15 hasta 180 µg/ CO₂ /gr/día. Estos valores proveen una indicación sensitiva de la respuesta de la actividad microbiana a variaciones al manejo de los suelos. Estudios realizados por (García *et al.*, 2003; Peña, 2004) demuestran la susceptibilidad de los organismos a los cambios de temperatura, humedad, a los efectos de humedecimiento – secado, a la aplicación de agroquímicos o

elementos metálicos, a la exudación de sustancias supresoras y el manejo del medio.

Los años de uso de las tierras son también un factor limitante para la actividad de los organismos del suelo, en estudios realizados en Antioquia en el 2006 demuestran que en el suelo virgen evidenció la mayor respiración con $130 \mu\text{g}/\text{CO}_2/\text{gr}/\text{día}$ y la menor la reportó el suelo con más de 20 años de labranza con una producción promedio de CO_2 de $4.35 \mu\text{g}/\text{CO}_2/\text{gr}/\text{día}$ (R Ramírez Pisco, et. all 2006). Estos valores se encuentran aun por debajo de los valores máximo y mínimo determinados en las muestras de suelo del occidente de Nicaragua, a pesar que los años de uso de la tierra en occidente oscilan entre 5 y 75 años.(Anexo 2)

Los suelos de textura arenosa predominan bajo el sistema orgánico, representando un 84% de las muestras analizadas. Esta clase de textura suelen presentar menores contenidos en materia orgánica. Es bien conocido el hecho de que para una zona climática dada y provista de vegetación y topografía de planicie, el contenido de materia orgánica depende especialmente de las propiedades texturales. (www. wikispaces.com. 2010).

Otro factor que afecta los contenidos del componente biótico en especial de los microorganismos, además de la materia orgánica, y la textura es la cobertura del suelo. La cantidad de biomasa radical es importante, ya que supe una cantidad significativa de carbono para la biota del suelo. Además, el hecho de que el suelo esté cubierto lo hace menos vulnerable a la desecación y la erosión. (Castro, 1995). El suelo bajo sistema de manejo orgánico se encuentran en texturas franco arenosa que sumado a las aplicaciones de material fácil de descomponer (estiércol vacuno), por su baja relación C/N, el proceso de mineralización de la materia orgánica es más rápida en relación a los suelos bajo manejo convencional, quedando al final del proceso los ácidos húmicos y fúlvicos que son resistente a la degradación microbiana. Disminuyendo con ello la fuente de

alimento de materia orgánica metabolizable para los microorganismos y por ende su población. Es por ello que la producción de CO₂ en las muestras orgánicas es baja en comparación a los determinados en muestras convencionales, donde la materia orgánica aun se encuentran es estado poco mineralizado.

Tabla 4: Distribución de la textura de los suelos en base a su manejo

Textura	Total (%)	Chinandega	León	
		Convencional	Convencional	Orgánico
		Textura (%)		
Arcilloso	3	0	4	3
Areno francoso	6	0	4	38
Franco	10	11	10	3
Franco arcillo-arenoso	20	11	23	11
Franco arcilloso	14	0	17	0
Franco arenoso	47	78	42	46
Total	100	100	100	100

En la tabla 4 se observan los resultados de los análisis de textura, donde se representan la distribución porcentual de la textura en dependencia de los sistemas de manejos, en esta se aprecia que en los suelos convencionales de Chinandega el 23% son suelos Franco arcillo – arenoso, mientras que el 78% son suelos Franco arenosos al igual que el 42% de los suelos convencionales y el 46% de los suelos orgánicos del departamento de León, el 38% de los suelos orgánicos de este departamento también presentan suelos Areno francoso. Numerosos investigadores (Beare et al., 1994; Puget et al., 1995; Angers et al., 1996), coinciden en que la labranza del suelo no solo afecta directamente la agregación del suelo sino que también induce cambios en la distribución de la materia orgánica en el perfil del suelo, en sus condiciones físicas, químicas y en la población microbiana. Esta mala distribución explica los grandes rangos existentes entre los valores máximo y mínimo encontrados en el sistema convencional, los cuales oscilan entre 15 y 180 **µg de CO₂ /gr/día** respectivamente.

5.2 Interacción entre la actividad microbiana y el estado Físico y Químico actual de los suelos.

La contribución de los microorganismos a las características físicas del suelo es importante: los microorganismos ayudan al proceso de fragmentación y transformación química de los suelos y se establecen con rapidez en las superficies recientemente erosionadas, con lo que contribuyen al desgaste de la roca. Por otra parte, los microorganismos pueden liberar compuestos químicos al suelo (ácidos orgánicos, agentes quelantes, fenoles, etc.) que contribuyen a incrementar la erosión.

En cuanto al aspecto químico, en ciertos suelos puede detectarse una actividad enzimática no despreciable, a pesar de que el contenido proteico del suelo es muy bajo. Esto es más frecuente en ciertos suelos de alto componente arcilloso y probablemente se debe a que la arcilla, debido a su carga eléctrica neta, actúa como un intercambiador iónico reteniendo enzimas procedentes de la descomposición de tejidos y células. Estas actividades enzimáticas son más frecuentes en suelos ricos desde el punto de vista agrícola en los que la composición de arcillas es también favorable. (W.D. Grant y P.E. Long).

La textura influye como factor de fertilidad y en la productividad del suelo para lograr altos rendimientos en los cultivos agrícolas. Según la clase de textura que predomina en los territorios, esta influye sobre las condiciones de vida de los organismos del mismo. Suelos de textura pesada tienen mayor contenido de materia orgánica que los suelos de textura media, los cuales a su vez tienen un contenido de materia orgánica más alto que los suelos arenosos. (www.wikispaces.com. 2010)

Tabla 5: Actividad microbiana en los suelos en función de su textura.

Departamento	Textura	%	C- CO ₂			
			(µg / g de Suelo / día)			
			Media	Mínimo	Máximo	Desv. típ.
Chinandega (n = 54)	Franco	11	29,17	20	35	7,36
	Franco arcillo-arenoso	11	33,33	25	45	7,53
	Franco arenoso	78	33,21	15	70	16,78
León (n = 346)	Arcilloso	4	56,73	20	110	26,56
	Areno francoso	7	22,60	15	35	6,79
	Franco	9	69,54	20	180	41,86
	Franco arcillo-arenoso	21	44,63	15	170	29,63
	Franco arcilloso	16	54,68	20	135	22,35
	Franco arenoso	42	35,36	15	180	27,19
	Franco limoso	0.28	40,00	40	40	

Se ha propuesto un gran número de métodos para identificar y cuantificar los componentes lábiles de la MO. Los métodos biológicos se basan en el análisis de la población microbiana, el componente más activo y sensible al impacto del manejo de los suelos y que define sus características, especialmente en lo referente a su fertilidad. Interviniendo en los procesos de descomposición de residuos, ciclado de nutrientes y transformaciones de la MO del suelo (Zunino *et al.*, 1982; Schnürer *et al.*, 1985; Collins *et al.*, 1992; Lobkov, 1999). La respiración es uno de los parámetros más antiguos y más frecuentemente usados para cuantificar actividad microbiana en el suelo. (Zunino *et al.*, 1982; Schnürer *et al.*, 1985; Collins *et al.*, 1992; Lobkov, 1999).

A pesar de sus limitaciones, la respiración continúa siendo el método más popular que se usa como indicador de la actividad microbiana y de la descomposición de sustratos específicos del suelo. Estos parámetros indican de manera fehaciente la mineralización que ocurre en el sustrato orgánico del suelo y son indicadores de la calidad de la materia orgánica y salud del suelo.

La influencia que ejerce la textura en las poblaciones de microorganismos se presenta en la tabla 5, en donde se observa que el departamento de León contiene un 9% de suelos Franco arcillo arenoso liberando 69.54 $\mu\text{g CO}_2 / \text{g de Suelo / día}$, mientras que el departamento de Chinandega contiene 11% de arcilla y libera 33.33 $\mu\text{g CO}_2 / \text{g de Suelo / día}$.

Tabla 6: Tasa de respiración Basal ($\text{CO}_2\text{-C}$ ($\mu\text{g/g/d}$)) en base al contenido de MO

Estadísticos	Contenido de materia orgánica			
	Bajo	Medio	Alto	Muy Alto *
	0.6-1.8	1.81-3.0	3.1-4.2	> 4.2
	(CO ₂ -C ($\mu\text{g/g/d}$))			
Promedio	30	40	50	40
Mínimo	15	15	15	15
Máximo	55	180	180	100
Desv. Std.	11	31	30	23
Numero	48	172	131	49
Porcentaje	12	43	32.75	12.25

*) Tomado de la tabla de interpretación LAQUISA

La tabla 6 nos muestra que en los suelos donde el contenido de materia orgánica es alto (**3.1-4.2 %**), la actividad microbiana es elevada con un promedio de 50 $\mu\text{g/CO}_2\text{-C /gr/d}$, lo que representa un 32.75 % de las muestras.

Los suelos con un contenido de materia orgánica medio (**1.81-3.0 %**), presentan actividad microbiana con 40 $\text{CO}_2\text{-C}$ $\mu\text{g/gr/d}$, para un 43 por ciento de las muestras. Estos datos se asemejan a los presentados por (Pajares. S, 2010), quien encontró que la respiración basal fue significativamente más baja en suelos de talpetate desnudo ($8.1 \mu\text{g C-CO}_2 \text{ g}^{-1} \text{ d}^{-1}$) por el escaso contenido de carbono orgánico edáfico de este sustrato, mientras que en suelos de pino reforestado obtuvo los mayores valores significativos de respiración basal ($27-8 \mu\text{g/C-CO}_2/\text{g}^{-1}/\text{d}^{-1}$), congruente con el mayor contenido de carbono orgánico edáfico. (www.scielo.org). Al realizar el análisis de correlación de Pearson, la influencia que ejerce la MO en la actividad microbiana tiene una correlación de 0.174 lo que indica que hay una significancia baja pero positiva en dicha influencia, ver anexo 3.

Tabla 7: Influencia del pH sobre la actividad microbiana en suelos de los departamentos de León y Chinandega.

Departamento		pH	C-CO ₂
			($\mu\text{g} / \text{g de Suelo} / \text{día}$)
Chinandega (n = 54)	Media	6,41	32,78
	Mediana	6,4	30
	Mínimo	5,9	15
	Máximo	7,4	70
	Desv. típ.	0,31	15,16
León (n = 346)	Media	6,75	43,51
	Mediana	6,7	35
	Mínimo	5,9	15
	Máximo	9,3	180
	Desv. típ.	0,43	30,24

La tabla 7 nos muestra que los departamentos de León y Chinandega poseen en sus suelos un pH neutro de 6.75 y 6.41 respectivamente. Armado, A. 2009. Realizó un estudio encontrando que el pH del suelo correlacionó significativamente con algunas actividades enzimáticas, sin embargo, no tuvo ninguna correlación con la mineralización de carbono (Respiración basal). Esto se explica porque existen microorganismos que se adaptan al pH del suelo, y por lo tanto, no podemos decir que en suelos con un determinado pH existe una mayor o menor actividad microbiológica. (<http://docs.google.com>)

Muchos microorganismos y en particular los nitrificantes son inhibidos por la acidez; mientras otros requieren un pH bajo para funcionar efectivamente. En oposición, la alcalinidad nos conduce también a desviaciones en las poblaciones microbianas. (Arteta, 2006). En los suelos de Occidente la reacción del pH con la producción de CO₂-C se muestra en que los suelos de León con un nivel de 6.75 presentaron la mayor producción de CO₂, al mismo tiempo el valor máximo de respiración (180 CO₂-C $\mu\text{g} / \text{gr} / \text{día}$) corresponde al un valor máximo de pH (9.3). Al realizar el análisis de correlación de Pearson, la influencia que ejerce el pH en la actividad microbiana tienen una correlación de 0.263 la cual es baja pero positiva en dicha influencia, ver anexo 3.

Tras el análisis de la respiración del suelo, se calculó el índice de mineralización, que es la proporción estimada de CO₂ en función al C-total del suelo (%). Los ensayos de mineralización nos permiten evaluar el efecto de variaciones de factores bióticos y abióticos sobre la descomposición de materia orgánica. A través de los estudios de mineralización podemos entonces determinar la susceptibilidad y razón de descomposición de compuestos orgánicos naturales y sintéticos.

Es decir que pueden ser utilizados como indicador ecológico de los suelos, dentro de los cuales esta el índice de mineralización, que nos indica la cantidad de energía o liberación de CO₂ utilizada por los organismos del suelo en el proceso de descomposición de la materia orgánica. Éstos porque en la medida en que una unidad de C es incorporada al tejido celular de los microorganismos se desprenden aproximadamente 0.4-0.6 unidades de C-CO₂ de acuerdo a la eficiencia de conversión (Osorio, 2005).

Tabla 8: Índice de mineralización (gr C-CO₂ /gr C) de los suelos en estudio en base al contenido de materia orgánica.

Municipios	Contenido de materia orgánica (%)			
	Bajo	Medio	Alto	Muy alto
	0.6-1.8	1.81-3.0	3.1-4.2	> 4.2
Índice de mineralización (%)				
Chinandega	*	*	0.39	0.43
El realejo	*	*	0.51	0.48
EL Sauce	0.49	0.28	0.65	0.86
La Paz Centro	0.20	0.32	0.40	0.53
León	0.44	0.48	0.50	*
Malpaisillo	0.53	0.43	0.40	0.52
Nagarote	*	0.37	0.44	0.54
Posoltega	*	0.42	0.50	*
Quezalguaque	0.9	0.7	1.26	*
Telica	0.7	0.5	0.50	0.50
Tonalá	*	*	0.47	0.48

La Tabla 8 nos muestra que el municipio que presentó el mayor índice de mineralización fue Quezalguaque con 1.26% para un contenido de materia orgánica alto, por el contrario el municipio que presentó el menor porcentaje de mineralización fue La paz Centro con 0.20%, el cual corresponde a un contenido de materia orgánica bajo.

Estos resultados identificados en suelos agrícolas del occidente de Nicaragua se deben probablemente a las características propias de los suelos de cada zona, ya que según (Acuña, O. 2006) en los suelos de mayor contenido de materia orgánica el índice de mineralización es menor debido a la acumulación del sustrato orgánico. Un suelo rico en materia orgánica y microbiota es un indicador de alta fertilidad y disponibilidad de nutrientes. La microbiota utiliza la energía del carbono para su metabolismo, por lo que existe una relación directa entre microorganismos, fertilidad del suelo y contenido de materia orgánica en el suelo, (Gómez, 2000). La cuantificación de los procesos de mineralización suministra información acerca del estado fisiológico o potencial metabólico de la población microbiana del suelo, de la biomasa del mismo y de la relativa contribución de los microbios del suelo al flujo total de C del suelo (Zibilske, 1994).

Los valores obtenidos en el índice de mineralización nos indican sobre el potencial de degradación de los microorganismos del suelo, que a pesar de presentarse contenido altos y medios de materia orgánica, fuentes de alimento para ello, esta no está metabolizable, por lo tanto su actividad es baja. Es la fracción lábil de la materia orgánica la que induce a un aumento de la actividad microbiana. La fracción lábil contribuye a mantener una elevada actividad microbiológica, lo que favorece la liberación de nutrientes y la degradación de compuestos contaminantes (Ceccanti y García, 1994).

5.3 Estado actual de los suelos de estudio en base a sus indicadores agroecológicos.

A pesar de la preocupación creciente acerca de la degradación del suelo, de la disminución en su calidad y de su impacto en el bienestar de la humanidad y el ambiente, aún no hay criterios universales para evaluar los cambios en la calidad del suelo (Arshad y Coen, 1992). Para hacer operativo este concepto, es preciso contar con variables que puedan servir para evaluar la condición del suelo. Estas variables se conocen como indicadores, pues representan una condición y conllevan información acerca de los cambios o tendencias de esa condición (Dumanski *et al.*, 1998). Según Adriaanse (1993) los indicadores son instrumentos de análisis que permiten simplificar, cuantificar y comunicar fenómenos complejos. Altieri and Nicholls, (2002) de la Universidad de California han desarrollado indicadores realizados a nivel de establecimiento para evaluar la fertilidad de los suelos y la sanidad de los cultivos de café en Costa Rica. Tales indicadores se aplican en muchos campos del conocimiento (economía, salud, recursos naturales, etc.). Los indicadores de calidad del suelo pueden ser propiedades físicas, químicas y biológicas, o procesos que ocurren en él (SQI, 1996).

Para que las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo sean consideradas indicadores de calidad deben cubrir las siguientes condiciones (Doran y Parkin, 1994):

- a) Describir los procesos del ecosistema; b) integrar propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo; c) reflejar los atributos de sostenibilidad que se quieren medir; d) ser sensitivas a variaciones de clima y manejo; e) ser accesibles a muchos usuarios y aplicables a condiciones de campo; f) ser reproducibles; g) ser fáciles de entender; h) ser sensitivas a los cambios en el suelo que ocurren como resultado de la degradación antropogénica; i) y, cuando sea posible, ser componentes de una base de datos del suelo ya existente. (Bautista, A; et al. 2004)

Para el análisis visual de las condiciones en las áreas de estudio se consideraron los siguientes indicadores: (Altieri, 2001):

Indicadores Físicos, Químicos y Biológicos Contemplados en el análisis visual.

Físicos	Químicos y Biológicos
Estructura	Situación de residuos
Erosión	Color superficial aspecto y olor
Patrones de pedregosidad	Cobertura de suelo
Patrones de drenaje	Actividad biológica
Compactación e infiltración	Presencia de materia orgánica

Para la interpretación de los indicadores se consideraron los siguientes rangos:

1– 5: Suelo de baja calidad

5- 10: Suelo en regulares condiciones

10 en adelante: Suelo en excelentes condiciones

Al analizar la tabla 9 los datos de diagnóstico visual del departamento de León y Chinandega nos muestran que sus suelos se encuentran en regulares condiciones con un valor promedio general de 6. Al observar de manera más específica los departamentos, se encontró que los municipios que presentaron el menor y mayor valor en cuanto a sus condiciones de suelos, fueron para el departamento de León el municipio de Nagarote con el menor valor y el municipio de León con el mayor valor. Ver gráfico 2. Mientras que para el departamento de Chinandega el municipio con el menor valor fue Posoltega y el de mayor valor Tonalá. Ver gráfico 3. Ver anexo 5 y 6.

Baker y Laflen (b), 1983, mencionan que la pérdida de nutrientes por erosión puede ocurrir por percolación en el perfil del suelo, en solución en el agua de escurrimiento y adsorbidos a los sedimentos erosionados. La cantidad de nutrientes en el perfil del suelo original está directamente relacionada con la concentración de estos en el sedimento erosionado y en el agua del escurrimiento. (Baker y Laflen, 1983; Stocking, 1985; Weir, 2002).

Tabla 9: Diagnostico visual físico de los departamentos de León y Chinandega

Indicador	Valor de campo		Características	Valores de calidad
	León	Chinandega		
Estructura	4.6	4.89	Suelo suelto con pocos agregados que se rompen al aplicar presión suave.	Regular
Erosión	6.38	7.56	Erosión evidente pero baja, formación de canales solo en épocas de inviernos.	Regular
Patrones de pedregosidad	8.24	8.22	Las piedras en el terreno no ocupan más del 10% de la superficie, lo cual no llega a ser determinante en las labores agrícolas y manejo del terreno.	Buena
Patrones de drenaje	7.73	7.17	El tiempo de permanencia del agua en el perfil es mayor; normalmente se trata de suelos moderadamente profundos o profundos, con estructura bien desarrollada, porosos, aireados y con colores dominantes claros pardos o rojizos; puede tratarse de suelos de textura media, arcillosa o muy arcillosa; normalmente está en situaciones de pendientes suaves u onduladas, hay pocas posibilidades de déficit hídrico.	Buena
Compactación e infiltración	6.11	6.78	Presencia de capas compactadas delgada, agua se infiltra lentamente.	Regular

Como se puede observar en la tabla 9 el indicador que presenta el menor valor en ambos departamentos es Estructura con 4.6 para León y 4.89 para Chinandega, esto se debe a la baja actividad biológica de sus suelos.

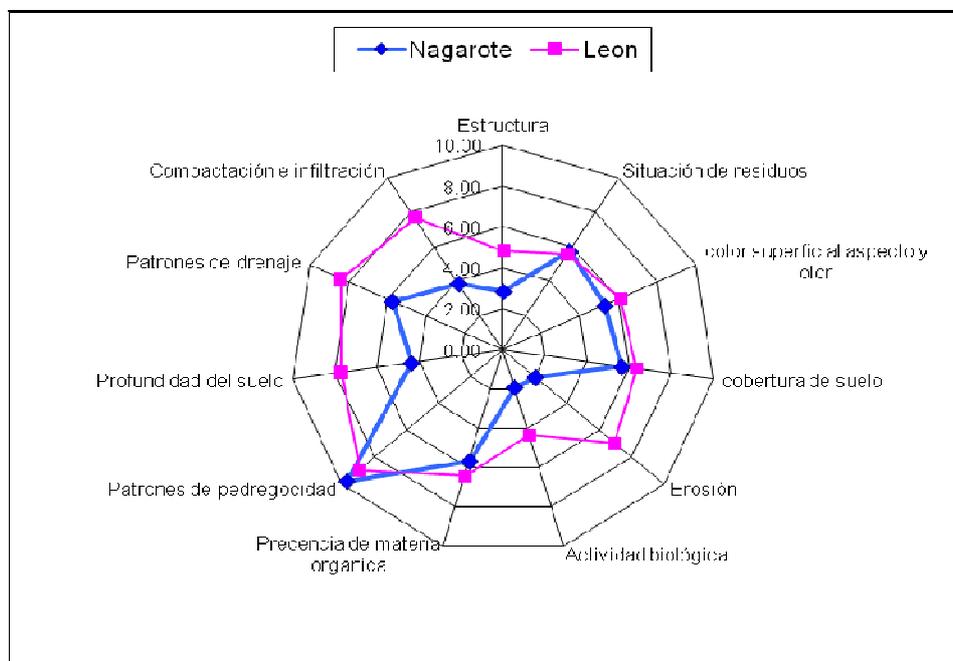
La materia orgánica y la actividad biológica que ésta genera tienen gran influencia sobre las propiedades químicas y físicas de los suelos. La agregación y la estabilidad de la estructura del suelo aumentan con el contenido de materia orgánica. Éstas a su vez, incrementan la tasa de infiltración y la capacidad de agua disponible en el suelo así como la resistencia contra la erosión hídrica y eólica. La materia orgánica del suelo también mejora la dinámica y la biodisponibilidad de los principales nutrientes de las plantas. (www.miliarium.com)

Tabla 10: Diagnostico visual biológico del departamento de León y Chinandega

Indicador	Valor de campo		Características	Valores de calidad
	León	Chinandega		
Situación de residuos	5.37	5.50	Residuos orgánicos presentes que no se descomponen o muy lentamente.	Regular
color superficial aspecto y olor	5.7	5.33	Suelo de color café claro o rojizo, con poca materia orgánica o humus. Con un poco de olor a tierra mojada	Regular
cobertura de suelo	5.88	6.28	Menos de 50% de suelo cubierto por residuos, hojarasca o cubierta viva.	Regular
Actividad biológica	3.82	4.56	Sin signos de actividad biológica, no se ven lombrices o invertebrados (insectos, arañas, centípedos, etc.)	Baja
Presencia de materia orgánica	5.55	5.89	Suelo de color café claro, sin mayor y con algo de materia orgánica o humus. Hay presencia de manchas color café en las paredes del suelo.	Regular

Como se observa los indicadores que presentaron el menor valor para ambos departamentos fue Actividad biológica con 3.82 para León y 4.56 para Chinandega, también Situación de los residuos con 5.37 para León y 5.50 para Chinandega, esto se debe a que la cantidad, diversidad y actividad de la fauna del suelo y los microorganismos están directamente relacionadas con la materia orgánica de los suelos en ambos departamentos.

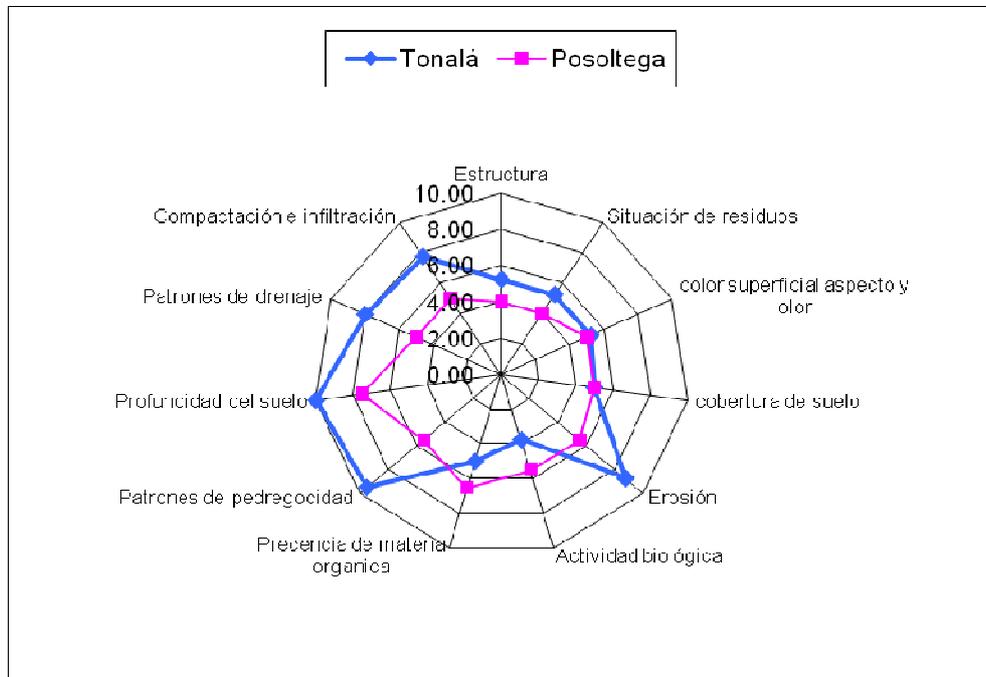
Grafica 2: Indicadores de suelo de los municipios de León Y Nagarote.



En el departamento de León, los municipios de León y Nagarote fueron los que presentaron el mayor y menor indicador en la evaluación visual de todo el departamento, sobresaliendo el indicador de patrones de pedregosidad en ambos con un valor de 9.75 Nagarote y 8.97 León, por el contrario el indicador que presento menos equilibrio fue actividad biológica con un promedio de 1.87 Nagarote y 4.32 León.

La poca pedregosidad influye sobre la erosión y el almacenamiento del agua del suelo, Características que influyen a su vez en su actividad biológica. Un cierto grado de piedras cubriendo el terreno puede ser beneficioso, porque reduce el impacto de las gotas de lluvia sobre el suelo y la evaporación del agua. (Espinosa, A. 1992)

Grafica3: Indicadores de suelo de los municipios de Tonalá Y Posoltega.



La grafica 3 muestra que en el departamento de Chinandega, los municipios de Tonalá y Posoltega presentaron el mayor y menor indicador de todo el departamento, siendo el indicador más sobresaliente profundidad del suelo con 10 para Tonalá y 7.5 para Posoltega, por el contrario los indicadores de menor valor fueron actividad biológica para Tonalá con 3.75, estructura y situación de los residuos para Posoltega con un valor de 4.

El hecho de que los suelos de Tonalá y Posoltega presenten una baja actividad biológica, estructura y situación de los residuos se debe a la sobreexplotación de sus suelos y mal manejo de este recurso, ya que según (Sampat A. Gavande 1991). Las prácticas de labranza influyen en todas las condiciones físicas del suelo, el laboreo excesivo causa erosión, compactación, perdida de humedad y mala estructura del suelo.

VI CONCLUSIONES

De los indicadores biológicos del suelo evaluados en esta investigación se presentó que la respiración basal fue mayor en el departamento de León promediando 43.51 (μg) de C- CO_2 / gr / día, este parámetro nos indica la actividad de la microflora, mediante la degradación de residuos de plantas, exudados y de materia orgánica del suelo.

A nivel de municipios el más representativo fue Nagarote con 63.33 (μg) de C- CO_2 /gr/día, esto se debe a la prevalencia de pastizales en la zona factor que le facilita a estos suelos buenas condiciones para un mayor desarrollo de la actividad microbiana en comparación a los otros municipios dedicados en su mayoría a actividades agrícolas.

El tipo de textura predominante en un territorio determinado influye en las condiciones de vida de los organismos del mismo, razón por la cual el departamento de León al presentar el mayor porcentaje de suelos de textura franca (9%) liberó 69.54 μg de C- CO_2 por gramo de suelo al día, mientras que el departamento de Chinandega al poseer 11% de suelo franco arcillo - arenoso libero 33.33 μg de C- CO_2 por gramo de suelo al día.

Los suelos donde el contenido de materia orgánica es alto (3.1-4.2%) presentaron la mayor actividad microbiana con un promedio de 50 microgramos (μg) de C- CO_2 por gramo de suelo al día, por el contrario los suelos con un contenido de materia orgánica bajo (0.6-1.8%) solo liberaron 40 microgramos (μg) de C- CO_2 por gramo de suelo al día. Los diagnósticos visuales de ambos departamentos mostraron que sus suelos se encuentran en regulares condiciones con un valor promedio general de 6. Siendo los indicadores de patrones de pedregosidad y cobertura del suelo los más representativos con valores promedios de 8 y 6 respectivamente.

VII RECOMENDACIONES

Como se ha demostrado la actividad microbiana es indispensable para mantener un suelo saludable y consecuentemente un buen desarrollo en los cultivos, por lo cual es necesario tomar medidas que activen la vida en el suelo, medidas como rotación de cultivos, incorporación de materia orgánica, preparación del terreno cuando este presente las condiciones adecuadas, cobertura muertas etc.

La mayoría de los microorganismos realizan sus funciones metabólicas en pH neutros, por lo que es muy importante tener presente las variaciones de pH que genera la fertilización industrial o cualquier otra técnica agrícola. Recomendando periodos de descanso para los suelos.

La textura de un suelo incide en la actividad de los microorganismos al contener o no cierto grado de MO, la cual influye en las condiciones favorables para el desarrollo de la microvida como estructura, humedad, porosidad, etc. Por lo que es conveniente la incorporación de MO de manera periódica, pudiendo ser utilizado los rastrojos de cosechas siempre y cuando provengan de un cultivo saludable.

A pesar de que muchos de los suelos en estudio tenían muy altos contenidos de MO, no presentaron un índice de mineralización relevante esto se debe a que dicha MO no está metabolizable para ellos, por lo que se recomienda atender el tipo de MO a utilizar así como la manera de incorporarla al suelo, siendo lo más favorable una mezcla de abonos verdes y gramíneas superficialmente incorporada.

Los indicadores físicos, químicos y biológicos comprendidos en el análisis visual son una manera práctica y sencilla de detectar las condiciones en que se encuentra un suelo por lo que su utilización es muy importante en la toma de decisiones oportunas y acertadas al momento de manejar un suelo.

VIII BIBLIOGRAFÍA

1. ACUÑA, O, *et al.* La importancia de los microorganismos en la calidad y salud de suelos. (en línea).San José, Costa Rica. Consultado 15 de marzo del 2010. Disponible en <http://www.digital.csic.es/bitstream/10261/10206/1/TESIS.pdf>
2. Acuña, O. et al. La importancia de los microorganismos en la calidad y salud de suelos.2006 (en línea) consultado el 22 de agosto del 2010. Disponible en www.fontagro.org/Projects/04_110_Suelos/.../OAcuña-Article.pdf
3. Albrech Benzing. 2001: Agricultura orgánica. Fundamentos para la región andina. Edit. Neckar Verlag. Edic. 1. ISBN 3-7883-1912-7. Alemania.
4. Altieri, M and C. I. Nicholls. 2002. Sistema agroecológico rápido de evaluación de calidad de suelo y salud de cultivos en el agro ecosistema de café. Universidad de California, Berkeley.
5. Alvear, M.et al. Revista de la ciencia del suelo y nutrición vegetal. Efecto de la Aplicación de Herbicidas en Condiciones de Campo Sobre Algunas Actividades Biológicas. 2006. (en línea) consultado el 02 de Octubre del 2010. Disponible en http://www.scielo.cl/scielo.php?pid=S0718-27912006000100007&script=sci_arttext
6. Ariel Espinosa (CENTA / FAO, INTA, M.Sc. Manejo de cuencas hidrográficas)
7. Arnaldo, A. Correlación de actividades enzimáticas con la respiración basal en suelos cacaoteros del occidente Venezolano.2009. Universidad de los Andes Venezuela (en línea) consultado el 24 de Octubre del 2010. Disponible en <http://docs.google.com/>.

8. ATLAS, R. and BARTHA, R. (2002). Ecología microbiana y microbiología ambiental. 2ª ed. Trad. Español. Addison Wesley, Madrid. pp 250-261.
9. Baker, J.L. y Laflen, J.M. 1983. Water quality consequences of conservation tillage. J.Soil Water Cons. 38: 186-193.
10. Bautista A, et al. La calidad del suelo y sus indicadores. Oaxaca, México 2004. (en línea) consultado el 27 de diciembre del 2010. Disponible en : <http://www.revistaecosistemas.net/pdfs/149.pdf>
11. Baker, J.L. y Laflen, J.M.(a) 1983. Runoff losses of nutrients and soil from ground fall fertilized alter soybean harvest. Trans. ASAE 26: 1122-1127. (en línea) consultado el 02 de octubre el 2010. Disponible en: http://www.ecoportel.net/Temas_Especiales/Suelos/Relacion_entre_variables_quimicas_del_suelo_y_del_sedimento_erosionado.
12. Bautista, C. A, et al. La calidad del suelo y sus indicadores. 2004. (en línea) consultado el 10 de Julio del 2010. Disponible en <http://www.um.es/gtiweb/allmetadata/calidad%20suelo.htm>
13. BENITES, J. 2008. Evaluación visual del suelo (en línea). Consultado el 17 de junio del 2010. Disponible en [www. incagro. gob. Pe /...aa.../ Resumen _EVS_ Ponencia_Benites.pdf](http://www.incagro.gob.pe/...aa.../Resumen_EVS_Ponencia_Benites.pdf) -
14. BOSHIER D, et al. La diversidad de América Central enriquece -clima y suelos de la región. edición nº2. Tegucigalpa, MDC, Honduras C.A, 2004.20p.
15. Castillo, X. 2000. GÖttinger Bodenkundliche Berchte. Aktivität und biomasse der mikroorganismen in böden von Ökologisch und konventionell bewirtschafteten ackerflächen Nicaraguas. ISSN 0340-4153.

16. Ceccanti, B. García, C. (1994). Coupled chemical and bio- chemical methodologies to characterize a composting pro- cess and the humic substances. En Senesi N, Miano TM (Eds). *Humic substances in the Global Environment and Impli- cations on Human Health*. Elsevier. Amsterdam, Holanda. pp. 1279-1284.
17. Chiriboga, C. 2008. Medida de la respiración del suelo y determinación de biomasa en zonas de pastos activos y pastos abandonados. Tesis previa la obtención del título de Ingeniero Agropecuario. LOJA – ECUADOR.
18. Collins, H.P., P.E. Rasmussen, and C.L. Douglas. 1992. Crop rotation and residue management effects on soil carbon and microbial dynamics. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 56:783-788.
19. Degradación biológica del suelo. (en línea) consultado el 02 de Octubre del 2010. Disponible en <http://www.miliarium.com/prontuario/Medioambiente/Suelos/DegradacionBiologica.htm>
20. Derpsch, R. 2004. Entender el proceso de la erosión y de la infiltración de agua en el suelo (en línea). Consultado el 18 de junio del 2010. Disponible en [www.inpofos.org/ppiweb/iaarg.nsf/\\$webindex/.../\\$file/6.pdf](http://www.inpofos.org/ppiweb/iaarg.nsf/$webindex/.../$file/6.pdf).
21. Doran, J.W. y Parkin, B.T. 1994. *Defining Soil Quality for a Sustainable Environment*. Soil Science Society of America, Inc. Special Publication. Number 35. Madison, Wisconsin, USA.
22. Educar – Argentina. El suelo. Características físicas del suelo. (en línea) consultado el 22 de agosto del 2010. Disponible en <http://www.educar-argentina.com.ar/JUN2005/educ68.htm>

23. El suelo (en línea) consultado el 22 de Julio del 2010. Disponible en <http://www.mediterraneadeagroquimicos.cat/Informa/suelo3.htm#Cansancio>.
24. Factores que influyen en el contenido de materia orgánica y relación C/N de un suelo (en Línea) consultado el 31 de Julio del 2010. Disponible en <http://af2.wikispaces.com/file/view/materia+org+C+N.doc>
25. GARCÍA, C.; GIL-SOTRES, F.; HERNÁNDEZ, T.; TRASAR-CEPEDA, C. 2003. Técnicas de análisis de parámetros bioquímicos en suelos: medida de actividades enzimáticas y biomasa microbiana. Mundi-Prensa, Madrid. 371 p.
26. García, C., Hernández, T, Costa, F., 1992. Variation in some chemical parameters and organic matter in soils regenerated by the addition of municipal solid-waste. *Environmental Management* 16, 763-768.
27. GÓMEZ, Á. 2000. Elaboración de abonos orgánicos con bajos insumos en las condiciones del productor rural. Memoria del primer seminario de investigación científica y tecnológica sobre el istmo de los Estados de Veracruz, Chiapas, Tabasco y Oaxaca". ECOSUR, Unidad Tabasco. (en línea) consultado en septiembre de 2010. Disponible en:
www.ciesas-golfo.edu.mx/istmo/docs/ponencias/iponencias.htm
28. Guazelli, M. Fundación La Era Agrícola. Recursos naturales e indicadores biológicos en agricultura ecológica. (en línea) consultado el 06 de Septiembre del 2010. Disponible en http://www.eraecologica.org/revista_17/era_agricola_17.htm?indicadores_biologicos.htm~mainFrame.

29. GUERRERO R. / Los suelos han perdido - su fertilidad / La Prensa - Campo y Agro .miércoles 18 de mayo del 2005 / edición no.23813/ consultado03/11/2008. disponible en www.laprensa.com.ni
30. Guía para la planificación integral de fincas (en línea) consultado el 06 de Septiembre del 2010. Disponible en [http:// docs.google.com/viewer?a=v&q=cache:_dXxyT6wJvIJ:www.rlc.fao.org/es/desarrollo%255Ceducacion%255Cpdf%255Cestratinst/Guiafincas.pdf](http://docs.google.com/viewer?a=v&q=cache:_dXxyT6wJvIJ:www.rlc.fao.org/es/desarrollo%255Ceducacion%255Cpdf%255Cestratinst/Guiafincas.pdf)
31. Instituto Nicaragüense de Fomento Municipal (INIFOM) 2006 Ecología de los suelos de León (en línea). Consultado 3 junio de 2010. Disponible en: www.amunic.org/descargas/Caracterizaciones/leon/m_leon.pdf
32. Instituto Nicaragüense de Fomento Municipal (INIFOM) 2004. Ecología de los suelos de León (en línea). Consultado 3 junio de 2010. Disponible en: <http://www.inifom.gob.ni/municipios/documentos/CHINANDEGA/.pdf>
33. Instituto Nicaragüense de Estudios Territoriales (INETER) 2006. Clasificación de los suelos de Nicaragua (en línea). Managua, Nicaragua. Consultado 20 de Noviembre del 2009. Disponible en [www. ineter. gob.ni/caracterizaciongeografica/capitulo7.3.html](http://www.ineter.gob.ni/caracterizaciongeografica/capitulo7.3.html)
34. Jairo Ricardo Mora Delgado: La actividad microbiana: un indicador integral de la Calidad del suelo. Palmira-Colombia, 2006. (en línea) consultado el 09 de Julio del 2010. Disponible en [http:// lunazul.ucaldas.edu.co/downloads/9cc8db94Revista5_6_9.pdf](http://lunazul.ucaldas.edu.co/downloads/9cc8db94Revista5_6_9.pdf).
35. Lobkov, V.T. 1999. Biodiversity in agroecosystems as a factor optimizing the biological activity of soil. *Eurasian Soil Science* 32:664-668.

36. Manejo ecológico del suelo, Ana Primavesi. Quinta edición 499p 197 La bioestructura del suelo.
37. Manejo sostenible de los suelos (en línea) consultado el 11 de Octubre del 2010. Disponible en <http://www.monografias.com/trabajos15/manejo-de-suelos/manejo-de-suelos.shtml#EfectoSist>.
38. Miller C; L-M- Turk; H.D. Foth: 1980. Fundamentos de la ciencia del suelo. Edc. 4, edit. Continental. Mexico. D.F
39. Mineralización de la materia orgánica. (en línea) consultado el .6 de Septiembre del 2010. Disponible en <http://ocw.um.es/ciencias/ecología/lectura-obligatoria-1/p4-mineralizacion.pdf>
40. Morales, M. 2003. La materia orgánica y el estado de fertilidad de los suelos pardos con carbonatos bajo diferentes sistemas de manejo (en línea) consultado el 02 de Octubre del 2010. Disponible en: <http://biblioteca.idict.villaclara.cu/UserFiles/File/tesis%20de%20maestria/Tesis%20de%20Maestr%EDa%20Mayelin.pdf>.
41. Organización de las naciones unidas para la agricultura y la alimentación (FAO). La biota del suelo y la biodiversidad. Los fundamentos del desarrollo sostenible. (en línea) consultado el 22 de julio del 2010. Disponible en ftp://ftp.fao.org/paia/biodiversity/soilbiota_biod_es.pdf
42. Organización para la Agricultura y la Alimentación (FAO) Manual de prácticas integradas de manejo y conservación de suelos (en línea). Consultado el 18 de junio del 2010. Disponible en http://www.fao.org/ag/ags/AGSE/agse_s/7mo/iita/C10.htm

43. OSORIO N. W. 2005 Guía de laboratorio Practica 3. Aislamiento de microorganismos del suelo. Preparación de diluciones seriales. Preparación de medios de cultivo. Siembra en platos y conteo de UFC. Universidad Nacional de Colombia.
44. Pajares, S. et al. Indicadores bioquímicos en suelos de un transecto altitudinal en el eje neovolcánico mexicano. 2010. (en línea) consultado el 22 de Octubre del 2010. Disponible en <http://www.scielo.org.mx>
45. Paulina del Carmen Castillo (2000): El estudio del suelo como recurso natural renovable (Panamá). Organización de Estados Iberoamericanos. Para la Educación, la Ciencia y la Cultura
46. PEÑA, W. 2004. Los suelos desarrollados sobre serpentinitas y su relación con la flora endémica. *Índice bioquímico y metales*. Tesis doctoral, Universidad de Santiago de Compostela y CSIC, España. 404 p.
47. Propiedades físicas del suelo (en línea) consultado el 19 de junio del 2010. Disponible en <http://www.enfoquescompetitivos.com/.../Propiedades%20Fisica%20del%20Suelo.pdf>.
48. Ramírez R, *et al.* (2006): Identificación y cuantificación de la actividad microbiana, y macro fauna de un andisol bajo diferentes sistemas de manejo, en el municipio de marinilla (antioquia).
49. Régulo León Arteta: Nueva Edafología. Edición nº3. México, 2006.
50. Richmond, P. 2006. Compactación por el rodado de maquinarias en siembra directa (en línea) INTA EEA, Buenos Aires, Argentina. Consultado el 18 de

junio del 2010. Disponible en [www.inpofos.org/ppiweb/iaarg.nsf/\\$webindex/.../\\$file/6.pdf](http://www.inpofos.org/ppiweb/iaarg.nsf/$webindex/.../$file/6.pdf).

51. Rosales F, et al. Guía de diagnóstico de la calidad y salud de suelo. Edit. Bioversity international. Costa Rica (2008).

52. Rucks, L. 2004. Propiedades físicas del suelo (en línea). Montevideo, Uruguay. Consultado el 18 de junio del 2010. Disponible en <http://www.fagro.edu.uy/~edafologia/curso/Material%20de%20lectura/FISICAS/fisicas.pdf>.

53. SALAZAR I. Estudio de procesos ecológicos para el desarrollo sostenible del castaño (*castanea sativa* mill.) Microbiota del suelo. (en línea). Consultado el día 15 de marzo del 2010. Disponible en www.digital.csic.es/bitstream/10261/10206/1/TESIS.pdf

54. Sampat A. Gavande, (1991), Física de suelo principios y aplicaciones, editorial Limusa, México. Pág. 17.

55. Schnürer, J., M. Clarholm, and T. Rosswall. 1985. Microbial biomass and activity in an agricultural soil with different organic matter contents. *Soil Biol. Biochem.* 17:611-618.

56. Servicio de información mesoamericana (SIMAS). Producción y comercialización agropecuaria. Los suelos han perdido su fertilidad (en línea) consultado el 22 de agosto del 2010. Disponible en <http://www.simas.org.ni/noticia.php?idnoticia=1611>

57. Stocking, M. 1985. Pérdida de la productividad del suelo a causa de la erosión, un diseño de investigación. Informe de Trabajo No 12. Programa de Conservación de Suelos. FAO - Roma. Italia.
58. SQI-Soil Quality Institute. 1996. *Indicators for Soil Quality Evaluation*. USDA Natural Resources Conservation Service. Prepared by the National Soil Survey Center in cooperation with The Soil Quality Institute, NRCS, USDA, and the National Soil Tilth Laboratory, Agricultural Research Service. USA.
59. Teresita Cavazos & Octavio Rodríguez (1992): Manual de prácticas de física de suelos, Edit. Trillas, México.
60. Weir, E. 2002. Pérdida de suelo y agua en parcelas de escurrimiento. 2do. Congreso de Contaminación Agrícola. Pergamino. Buenos Aires. Argentina.
61. W.D. Grant y P.E. Long. Microbiología ambiental. Capítulo 1º. Ed. ACRIBIA, Curso 2008 - 2009 (en línea) consultado el 10 de Julio del 2010. Disponible en <http://www.unavarra.es/genmic/index.htm>.
62. ZAGAL, E., CÓRDOVA, C. 2005. Indicadores de calidad de la materia orgánica del suelo en un andisol cultivado. Agricultura Técnica. 65(2). (en línea). consultado en septiembre de 2005. Disponible en: <http://www.inia.cl/at/agritec.htm> .
63. Zunino, H., F. Borie, M. Aguilera, J. P. Martín, and K. Haider. 1982. Descomposition of C¹⁴-labeled glucose, plant and microbial products and phenols in volcanic ash-derived soils of Chile. Soil Biol. Biochem. 14:37-43.

Anexo 1: Total de área muestreadas en el departamento de LEÓN.

Municipio / comarca	Numero de Muestras	Área Muestreada
		mz
MALPAISILLO	117	478,5
LA PAZ CENTRO	31	188
SAUCE	26	83
NAGAROTE	22	76
QUESALGUAQUE	28	79,75
TELICA	15	76,4
TELICA / San Jacinto	8	13,75
León/Lechecuagos	17	64
León / Chacraseca	24	80
León / Convento	13	40
León / Chagüe	4	10
León / Troilo	22	76
León / Salinas grandes	5	7,25
León / Poneloya	14	53
TOTAL	346	1.325,65

Anexo 2: Identificación de los años de uso de la tierra

Municipio	Estadísticos		
	Media	Mínimo	Máximo
DETP. LEON	22	1	75
La Paz Centro	28	25	30
León	21	5	75
Malpaisillo	29	5	40
Nagarote	16	3	28
Quezalguaque	16	2	35
El Sauce	24	1	50
Telica	20	2	65
DETP. CHINANDEGA	16	5	50
Chinandega	17	5	30
Posoltega	12	10	15
El Realejo	15	10	20
Tonalá	18	8	50

n = 132

Anexo 3: Tabla de correlación entre Materia orgánica y actividad microbiana.

		MO	CO2ugd
MO	Correlación de Pearson	1	0,174
	Sig. (bilateral)		0,000
	N	400	400

**

La correlación es significativa al nivel 0,01 (bilateral).

Anexo 4: Tabla de correlación entre pH y actividad microbiana

		pH	CO2ugd
pH	Correlación de Pearson	1	0,263
	Sig. (bilateral)		0,000
	N	400	400

La correlación es significativa al nivel 0,01 (bilateral).

Anexo 5: Correlación entre MO e IM

		MO	IM
MO	Correlación de Pearson	1	-.342(**)
	Sig. (bilateral)		.000
	N	400	400
IM	Correlación de Pearson	-.342(**)	1
	Sig. (bilateral)	.000	
	N	400	400

** La correlación es significativa al nivel 0,01 (bilateral).

Anexo 6: Indicadores de calidad de suelo de los municipios de Nagarote y León.

Indicador	Promedios	
	Nagarote	León
Estructura	2,88	4,88
Situación de residuos	5,75	5,59
color superficial aspecto y olor	5,25	6,09
cobertura de suelo	5,63	6,35
Erosión	2,00	6,94
Actividad biológica	1,88	4,32
Presencia de materia orgánica	5,63	6,38
Patrones de pedregocidad	9,75	8,97
Profundidad del suelo	4,38	7,71
Patrones de drenaje	5,75	8,41
Compactación e infiltración	3,88	7,71

Anexo 7: Indicadores de calidad de suelo de los municipios de Tonalá y Posoltega.

Indicador	Promedios	
	Tonalá	Posoltega
Estructura	5,25	4,00
Situación de residuos	5,25	4,00
color superficial aspecto y olor	5,25	5,00
cobertura de suelo	5,00	5,00
Erosión	8,75	5,50
Actividad biológica	3,75	5,50
Presencia de materia orgánica	5,00	6,50
Patrones de pedregocidad	9,50	5,50
Profundidad del suelo	10,00	7,50
Patrones de drenaje	8,00	5,00
Compactación e infiltración	7,75	5,00

Anexo 8: Procedimiento para determinar actividad microbiana en laboratorio.



a) Preparación de muestras



b) Envasar las muestras



c) Humedecer muestras al 50% por 24 horas



d) Pre-incubación de muestras



e) Colocación de un frasco de 20 ml de H₂O y un frasco con 20 ml de NaOH



f) Incubación de muestras por 24 horas

Anexo 9: Materiales utilizados en el laboratorio.



a) Becker



b) Pipetas



c) Pera de succión



d) Fenolftaleína 0.1%



f) Bureta



e) Agitador magnético