



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE MÉXICO

---

---

FACULTAD DE PLANEACIÓN URBANA Y REGIONAL

**Evaluación de la calidad del suelo para diferentes usos y cubiertas vegetales en la ladera Este de Cerro Grande, comunidad Dexcani Alto, municipio de Jilotepec**

**TESIS**

**QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:  
LICENCIADA EN CIENCIAS AMBIENTALES**

**PRESENTA:**

**ROSA ESMERALDA GONZÁLEZ IRINEO**

**DIRECTORES DE TESIS:**

**DR. EN C. GUSTAVO ÁLVAREZ ARTEAGA  
M. EN C. PATRICIA MÍRELES LEZAMA**



Toluca de Lerdo, Estado de México; septiembre de 2013

## ***Agradecimientos***

*A Dios por las bendiciones y alegrías, por rodearme de ángeles que me han apoyado y guiado para llegar a este logro, por amarme y ser luz en mi camino.*

*A mis padrinos Raúl y Eloysa por su apoyo en todos los ámbitos de mi vida y por sus muestras de cariño para mí y toda mi familia.*

*A Sol y a Chava por sus atenciones y ánimo que me incitan a continuar y sobresalir.*

*En general a toda la familia Ovando.*

*A la Maestra Paty por su confianza y apoyo para la elaboración y conclusión de este proyecto, al Dr. Gustavo gracias por su paciencia y disposición para aclarar todas mis dudas.*

*A mis amigos y amigas por su amistad confianza, apoyo y compañía: Carmen, Gaby, Monserrat, Reyna, Eli, Ange, Namy, Lety, Monse, Ame P., y Juan Antonio.*

*A mis compañeros de "Las lobas" por compartir esta aventura de formarnos como licenciados en Ciencias Ambientales, tantos momentos maravillosos, nunca los olvidare.*

*A la M. en C. María del Socorro Galicia por su apoyo en el procesamiento de las muestras de suelo en el laboratorio de edafología de la UNAM.*

*A mis revisoras Dra. Ruth Moreno Barajas y Dra. Belina García Fajardo por su tiempo y comentarios para mejorar este trabajo de investigación.*

## ***Dedicatorias***

*A Dios por darme fuerza para seguir y ver con alegría cada día*

*A mi papá por su amor y apoyo; a Mari mi mamá por la sonrisa que  
dibuja en nuestros rostros con sus detalles.*

*A mi hermano César por ser mi cómplice y confidente*

*A mis hermanas Namy y Jose por su apoyo y ternura que me animan  
cada día*

*¡Gracias! ¡Los amo!*

## Índice

Resumen.....	4
Introducción.....	5
Planteamiento del Problema.....	7
Hipótesis.....	9
Objetivo General.....	9
Objetivos Particulares.....	9
Justificación.....	10
<b>CAPÍTULO 1</b> .....	11
Marco Referencial.....	12
<b>CAPÍTULO 2</b> .....	17
Marco Contextual.....	17
2.1 Concepto de suelo.....	18
2.2 Funciones ecológicas del suelo.....	18
2.3 Calidad del Suelo.....	21
2.4 Indicadores de calidad del suelo.....	22
2.5 Importancia de conocer la calidad del suelo.....	34
2.6 Laderas.....	36
2.6.1 Origen de las laderas.....	36
2.6.2 Clasificación de las laderas.....	37
2.6.3 Movimientos de ladera.....	42
<b>CAPÍTULO 3</b> .....	44
Caracterización físico-geográfica.....	44
3.1 Fisiografía, Topografía y relieve.....	47
3.2 Litología.....	48
3.3 Geología.....	48
3.4 Clima.....	48
3.5 Unidades Edafológicas.....	49
3.6 Hidrología.....	49
3.7 Vegetación y uso de suelo.....	50
3.8 Demografía.....	53
<b>CAPÍTULO 4</b> .....	55
Metodología.....	55
4.1 Materiales y Métodos.....	57
4.1.1 Descripción de etapas y actividades.....	57
<b>CAPÍTULO 5</b> .....	69
Resultados y discusión.....	69
5.1 Resultados.....	69
5.2 Discusión de resultados.....	72
Conclusiones.....	88
ANEXOS.....	91
Glosario.....	105
Bibliografía.....	107

**Índice de tablas**

Tabla 1.1 Referencias bibliográficas	15
Tabla 2.1 Relación general de la densidad del suelo y el crecimiento de las raíces basado en la textura	25
Tabla 2.2 Resumen de indicadores seleccionados	32
Tabla 3.1 Tipo y estado de la vegetación	51
Tabla 3.2 Tasa de crecimiento media anual para “Dexcani Alto”	54
Tabla 4.1. Metodologías para análisis físicos y químicos	58
Tabla 4.2 Claves de textura	59
Tabla 4.3 Densidad Aparente (g/cm <sup>3</sup> )	60
Tabla 4.4 Valores para VPT, CA, dCC y CC	60
Tabla 4.5 Factores de corrección para contenidos altos de Materia Orgánica (MO)	61
Tabla 4.6 Valores iniciales más factores de corrección	62
Tabla 4.7 Evaluación del espacio poroso total (VPT)	62
Tabla 4.8 Evaluación de la capacidad de aireación (CA)	62
Tabla 4.9 Evaluación de la capacidad de agua disponible en el espacio radicular efectivo	63
Tabla 4.10 Evaluación de la capacidad de campo (CC)	63
Tabla 4.11 Conductividad hidráulica bajo condiciones de saturación	64
Tabla 4.12 Evaluación de la conductividad hidráulica	64
Tabla 4.13 Clase de drenaje	65
Tabla 5.1 Propiedades físicas y químicas de los perfiles de suelo “ladera este de Cerro Grande, Dexcani Alto”	67
Tabla 5.2 Valores de Volumen Total de Poros y de Capacidad de Aireación para los diferentes usos de suelo y vegetación	71
Tabla 5.3 Valores de Capacidad de Agua Disponible (dCC) y de Capacidad de Campo (CC)	74
Tabla 5.4 Valores y evaluación de la conductividad hidráulica bajo condiciones de saturación	75
Tabla 5.5 Valores de Capacidad de Intercambio Catiónico	76
Tabla 5.6 Valores de Bases Intercambiables (Ca, Mg, K y Na )	78
Tabla 5.7 Valores para Nitrógeno total y Nitrógeno disponible	79
Tabla 5.8 Valores para Abastecimiento de Fósforo	81

## Resumen

El suelo es un subsistema fundamental dentro de los ecosistemas terrestres, es proveedor de recursos y servicios ambientales para el ser humano; no obstante, de acuerdo a la intensidad de su manejo puede estar sujeto a cambios físicos, químicos y biológicos, mismos que influyen en su funcionalidad ecosistémica. Algunas de las causas de estas afectaciones son el cambio de uso del suelo, de forestal a agrícola o bien a la pérdida de vegetación por siniestros naturales o los originados de la presión poblacional sobre los recursos naturales. La situación antes mencionada se acentúa cuando los cambios suceden sobre suelos de ladera, ya que la posición del suelo en el paisaje hace variar condiciones como desarrollo, profundidad, contenido de nutrimentos y la vegetación que sostiene.

El propósito del presente trabajo fue estudiar y evaluar la calidad del suelo de cuatro perfiles ubicados en distintos sitios: bosque de encino (zona testigo), bosque secundario, zona agrícola y zona con pérdida de vegetación en la ladera este de Cerro Grande, comunidad de Dexcani Alto, Jilotepec Estado de México, a partir de indicadores físicos y químicos del suelo, para determinar el efecto del cambio de uso y la remoción de vegetación natural, sobre sus funciones ecológicas.

Los resultados indican que los cambios en el uso afectan las propiedades y funciones del suelo en

mayor o menor proporción a medida que se intensifica su uso.

**Palabras clave:** ladera, calidad del suelo, indicadores de calidad, uso del suelo

## Abstract

Soil is a central subsystem within terrestrial ecosystems. It provides resource and environmental services to human beings, but is subject to physical, chemical and biological themselves reflected however, the intensity of its management is subject to physical, chemical and biological changes which influence its ecosystem functionality. Some of the causes in their quality are land use change from forest to agriculture or to loss of vegetation by natural events or by the pressure exerted by the population on natural resources. The above situation is accentuated when changes occur on hillside soils. The purpose of this work was to study and evaluate the quality of soil profiles at four different sites: oak forest (control area), secondary forest, agricultural area and area with loss of vegetation on the eastern slope of Cerro Grande, Dexcani Alto community, Jilotepec, State of Mexico, It uses physical and chemical soil indicators in order to determine the effect of the land use change on soil's ecological functions.

The results indicate that use changes affecting the properties and functions of the soil to a greater or lesser extent as it enhances its use.

**Key words:** hillside soil, soil quality, land use

## **Introducción**

El suelo es un recurso natural sujeto a diversas presiones que provocan su deterioro y afectan sus propiedades y funciones dentro de los ecosistemas. Las principales afectaciones están dadas por las prácticas de manejo y remoción de la vegetación natural, su exposición a sustancias contaminantes y el cambio de uso de suelo. Aun cuando diversos estudios se han enfocado a la aplicación de indicadores que permitan conocer la calidad del suelo, no se tiene un método estandarizado para evaluarlo debido a que es un recurso dinámico y presenta variaciones considerables (Page-Dumroese *et al.*, 2000), la revisión de algunos trabajos relacionados con la calidad del suelo se plasmó en el Capítulo 1, nombrado Antecedentes donde se realizó una tabla resumen, con la finalidad de sintetizar la aportación de los estudios revisados, al presente trabajo de investigación, misma que se presenta en la tabla 1.1.

En el Capítulo 2, se abordan términos relacionados con el suelo, su calidad y los indicadores seleccionados para el presente trabajo, los cuales fueron de carácter físico y químico; en el mismo se presentó la relación que cada uno de estos indicadores tiene entre sí y con las funciones del suelo, los cuales fueron evaluados por el método propuesto por Siebe *et al.*, 2006, incluido en el manual para la evaluación de suelos, este instrumento pretende que los datos generados sean de calidad y comprensibles para las personas que se hacen cargo del manejo de cada uno de los sitios: bosque de encino, bosque secundario, zona agrícola y zona con pérdida de vegetación. Este capítulo también considera la descripción de las laderas al mencionar procesos que ocurren en esta forma del relieve y como inciden sobre las características de los suelos, pues el sitio de muestreo presenta esta topografía, lo anterior se relaciona con la caracterización físico-geográfica del lugar de estudio, al ser estos actores importantes en la formación, desarrollo y particularidades del suelo, los cuales se describen en el capítulo 3.

En la secuencia de los capítulos del trabajo de investigación, el 4 presenta la descripción del método de Siebe *et al.*, 2006 y los parámetros que emplea para realizar la evaluación de cada uno de los indicadores a los que le otorga valores como: muy alto, alto, medio y bajo para diagnosticar la calidad del suelo, lo que permite conocer el impacto de las prácticas de manejo que se han dado y como pudieran mejorar, para la conservación y preservación del suelo.

El último capítulo describe los resultados y su interpretación acerca de las funciones del suelo donde como conclusión general de este trabajo de investigación fue que las zonas donde existe presencia de vegetación y en la que su presencia es menor, las propiedades físicas y químicas presentan algunas variaciones, sin

embargo en otras propiedades se mantienen, para la redacción de este apartado se relacionó con la posición de los perfiles a través de la ladera y el tipo de vegetación, por la aportación de nutrimentos y el desplazamiento de las partículas del suelo.

## **Planteamiento del Problema**

El cambio de uso de suelo es una problemática ambiental, inducida tanto por las actividades humanas directas como por acciones indirectas que se presentan a distintas escalas geográficas por lo que su atención incide en ámbitos locales, regionales, nacionales e internacionales. A nivel mundial, las metas para la protección del medio ambiente y el uso sostenible de los recursos naturales están establecidas dentro de uno de los rubros de la “Declaración del Milenio”; aprobada por la Asamblea General de las Naciones Unidas en el año 2000 (FAO, 2011), de la cual México retoma algunos aspectos para plantear metas en las que incluye la conservación del recurso suelo, sobre todo cuando se le relaciona por su importancia dentro de las funciones ecológicas y de servicios ambientales de los ecosistemas terrestres que se han visto afectados por el cambio de cobertura vegetal natural, lo que a su vez repercute en la calidad de este recurso y de otros con los que está relacionado al exponerlos a su degradación y contaminación.

La República Mexicana presenta una alta diversidad de usos de suelo y tipos de vegetación, que de acuerdo a SEMARNAT (2000), es dividido en cuatro categorías generales de vegetación: bosques, selvas, matorrales y pastizales; dando lugar a los siguientes usos de suelo; agrícola, pecuario, forestal y urbano, según lo establecido en las cartas de uso de suelo de INEGI, series I, II y III.

El Inventario Nacional Forestal del año 2000, realizado por SEMARNAT (2005), arrojó los siguientes datos con respecto a la vegetación encontrada en el país: de un gran total de 1941, 984 Km<sup>2</sup>, el 30 % de la cobertura corresponde a matorrales, 15 % para los bosques, 17 % para las selvas (bosques tropicales) y alrededor de 4 % para otros tipos de coberturas, en tanto que los principales usos antrópicos representan alrededor del 34 % de la superficie del país.

Son diversas las causas del cambio de uso de suelo, las más comunes son el crecimiento poblacional, la ampliación de las áreas urbanizables y la construcción de infraestructura y no menos importante es la deforestación, que para el caso de México se estima supera las 500 000 ha /año (Velázquez *et al.*, 2003).

En el Estado de México se han realizado análisis espaciales sobre el cambio del uso del suelo como el de Pineda *et al.*, (2009), donde los resultados muestran que en un período de 9 años (de 1993 a 2002), el Estado de México perdió 3 836 ha de bosque de coníferas, 7 295 ha de bosque de latifoliadas, 309 ha de bosque mesofilo de montaña y 2 250 ha de bosque mixto, sumando un total de 13 691 ha de pérdida de

cobertura forestal , superficies que en la mayoría de los casos han sido reemplazadas por pastizales y por la agricultura de temporal o de riego.

Para el caso del municipio de Jilotepec, (583.95 km<sup>2</sup>), los usos de suelo y sus porcentajes según INEGI (2005), eran los siguientes: el uso pecuario ocupaba un 35% del territorio, para la agricultura fue destinada una superficie de 28.4% y para uso forestal 19.2%. Los datos anteriores muestran que para este municipio la actividad pecuaria es la que mayor superficie de suelo emplea, mientras que para otros usos (incluido el urbano) se destinó un total del 15.5% también se presentan zonas erosionadas que equivalen a 7.04 km<sup>2</sup> (1. 2%) de la superficie municipal, situación que para este caso ha superado al área destinada para uso urbano.

Con los datos anteriores se percibe que el cambio de uso de suelo es un problema que se presenta a distintas escalas geográficas y de tiempo, con lo que se afectan las coberturas vegetales naturales provocando disturbios en los ecosistemas (Clayton *et al.*, 1987), a la par de afectar la calidad del suelo, definida de acuerdo a la USDA (2009) como “la capacidad de un tipo específico de suelo para funcionar dentro de los límites de los ecosistemas naturales o manejados, para sostener la productividad de plantas y animales, mantener o mejorar la calidad del agua y del aire y apoyar la salud humana y la vivienda”. Es por eso que si la calidad de este recurso va en decadencia se tendrán conflictos en otros ámbitos en donde el suelo es parte fundamental como lo es en las actividades agropecuarias, de servicios ambientales, asentamientos humanos etc.

### **Hipótesis**

La intensificación del cambio de uso de suelo determina el deterioro de la calidad del suelo dentro de los sistemas naturales y productivos estudiados.

### **Objetivo General**

Determinar la calidad del suelo con respecto a su uso y cobertura vegetal, en la ladera este, de la comunidad de Dexcani Alto, municipio de Jilotepec.

### **Objetivos Particulares**

- Caracterización físico- geográfica de la ladera y de la comunidad, Dexcani Alto.
- Realizar la caracterización morfológica, física y química del suelo
- Análisis y comparación de resultados de la calidad del suelo para sus diferentes usos y tipo de vegetación.

## **Justificación**

El estudio del suelo ha tomado relevancia en nuestro país principalmente al abordar temas de protección, restauración y conservación de suelos forestales, por los servicios ambientales que estas zonas proporcionan, como lo son los hidrológicos (captación y filtración de agua), estabilidad climática (mitigación de los efectos del cambio climático), generación de oxígeno y asimilación de diversos contaminantes, protección de la biodiversidad, retención de suelo, refugio de fauna silvestre, belleza escénica, entre otros. (SEMARNAT, 2003), a las que se suman la provisión de alimentos y de una fuente de combustible y trabajo para las personas dedicadas a las actividades primarias.

Las funciones anteriores se pueden ver afectadas por los cambios de uso de suelo, los cuales a su vez ocasionan deterioro en su calidad, siendo las zonas boscosas una de las más afectadas por estos cambios debido a que al retirarse la cubierta vegetal se tienen consecuencias como pérdida de aportaciones de materia orgánica, exposición del suelo a la erosión hídrica o eólica, disminución de la disponibilidad de nutrimentos, reducción de la actividad microbiana y la afectación directa o indirecta de otras propiedades físicas y químicas del suelo (SEMARNAT, 2005).

Las zonas boscosas no son las únicas afectadas por el cambio de uso de suelo, ya que las zonas agrícolas están sometidas a la presión de las actividades humanas, aunque en este caso estas zonas son cambiadas a uso urbano y con ello el establecimiento de nuevos asentamientos humanos.

# CAPÍTULO

# 1

## Marco Referencial

## **Marco Referencial**

En este capítulo se tratan antecedentes sobre el estudio del suelo, entre los que se consideran algunos relacionados con los primeros enfoques, destacando los referentes a la relación suelo-planta o productividad agrícola, sin embargo como se aprecia en el presente capítulo, el estudio del suelo ha incursionado en otros ámbitos, entre ellos los relacionados con los servicios ambientales que este recurso provee, sumados a los trabajos de investigación que abordan su deterioro y por lo tanto la disminución de su calidad.

El estudio del suelo tiene sus primeros indicios en países europeos como Francia e Inglaterra durante el siglo XVIII y se encaminó a vincular la relación de este recurso con la actividad agrícola y el manejo de sustancias químicas para elevar su productividad; posteriormente se consideraron otros aspectos del suelo, relacionados con fenómenos externos que participan en su formación y desarrollo, (geográficos y la actividad de los microorganismos), González (2007).

Para los estudios relacionados con la geografía de suelos, en 1877, el geólogo ruso Dokuchaev relacionó algunos factores bióticos y abióticos que participan en la formación del suelo, idea que posteriormente sería ampliamente aceptada y sintetizada por Jenny (1941), a través de la ecuación de los factores formadores en la que el suelo es producto de:  $cl, o, r, p, t$ ; donde  $cl$ , representa al clima,  $p$  representa el material original,  $o$  representa los organismos en el suelo,  $t$  representa el tiempo y  $r$  representa la topografía, esta ecuación se considera para la descripción de los suelos ya que conocerlos permite entender con mayor claridad cómo es que la afectación o alteración en uno de ellos tendrá consecuencias sobre el recurso.

Aunque ya existían trabajos acerca del suelo, como los antes mencionados, no es sino hasta la "IV Conferencia Internacional sobre Pédologie" celebrada en Roma en 1924, cuando la Edafología surge como la ciencia que estudia al suelo desde su morfología, composición, propiedades, formación y evolución, taxonomía, distribución, utilidad, recuperación y

conservación<sup>1</sup>. Para 1945, año en que la segunda guerra mundial finalizó, la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO), se establece como organismo de las Naciones Unidas que tiene como función apoyar la gestión sostenible de los recursos naturales y para el caso particular del suelo, aquellos temas relacionados con su eficacia y productividad en el uso agrícola, la degradación de las tierras, la escasez de agua, la deforestación, el exceso de pastoreo, los cuales fueron ratificados en el objetivo número siete, de ocho de los objetivos del Milenio de las Naciones Unidas, llamado “Garantizar la sostenibilidad del medio ambiente”, establecidos en el año 2000 (FAO, 2000).

La popularización del término sostenible o sustentable en la década anterior origino que las nuevas investigaciones en materia de recursos naturales, consideraran este aspecto para los siguientes estudios, donde el recurso suelo no fue la excepción (Karlen *et al*; 1997) y comenzó a dársele una connotación ecológica, que ya se vislumbra en los estudios relacionados con la calidad del suelo, pues deja de verse sólo como un recurso con potencial productivo, para pasar a ser uno que capta, almacena y recicla agua, minerales y energía para la producción de cultivos preservando un ambiente sano (Arshad y Coen, 1992) para el ser humano y otros seres vivos, en aras de ser un recurso con entradas y salidas de energía, por lo que también los estudios de calidad del suelo consideran variables y fenómenos que inciden en el deterioro de sus propiedades como lo son las deforestaciones, incendios forestales, erosión hídrica y eólica, el cambio de uso de suelo, este último para abrir campos agrícolas y asignar áreas urbanas y de asentamientos humanos, fenómeno que ha sido analizado a través de los Sistemas de Información Geográfica donde para el caso de México, las coberturas vegetales más estudiadas en los últimos años son los bosques tropicales del sur del país (Santana,2009): En cuanto a los estudios de cambio de uso de suelo para los ecosistemas de bosque templado del Estado de México, se encuentra el trabajo de Franco *et al.*, (2006) quienes realizaron un análisis de la dinámica de recuperación de las zonas forestales en el Parque Nevado de Toluca. Los resultados arrojan una tasa de deforestación de 8.4 % y una pérdida de 2 808 ha de cobertura forestal entre el año 1972 y el 2000. De acuerdo a estos estudios casi siempre los cambios de usos de suelo se realizan con la intención de ejecutar una actividad distinta a la que el suelo

---

<sup>1</sup> Disponible en <http://www.ingenieroambiental.com/inf/edafologia.htm>. Consultada 18 de noviembre de 2011.

anteriormente tenía, lo que provoca impacto en el ecosistema (Shipper y Sparling, 2000). Con los estudios anteriores se pretende dar a conocer que por intensificación del cambio de uso para fines de este trabajo, se refiere al avance y constante transformación de la cubierta vegetal natural.

Otros estudios se relacionan con la función del suelo para amortiguar sustancias contaminantes como aceites y grasas, metales pesados e hidrocarburos.

Ejemplos de estudios relacionados con la calidad del suelo se dan a conocer en la tabla 1.1 y de manera general tienen que ver con el uso y manejo de indicadores físicos, químicos y biológicos. La mayoría de los artículos revisados muestran el uso de indicadores fisicoquímicos y otros más se complementan con el conocimiento empírico que las comunidades aledañas a los sitios de estudio tienen sobre las características del suelo bajo uso agrícola, y permiten identificar las prácticas de manejo y el impacto que se tiene sobre las características de los ecosistemas como lo son: los rendimientos de cultivos y ganado, para los atributos estabilidad y resiliencia (Astier, *et al.*, 2002).

La importancia del estudio de este recurso ha trascendido a las zonas boscosas; los trabajos encontrados con respecto a este ecosistema se relacionan con los procesos naturales o los provocados por los seres humanos que deterioran la calidad del suelo, uno de ellos, el cambio de uso y dentro de ellos los que tienen que ver con las acciones de reforestación y conservación (Meza y Geissert, 2006., Hernández *et al.*, 2006., Raimo *et al.*, 2010) los que a su vez se relacionan con el manejo de otros recursos naturales relacionados con el suelo tales como los maderables y no maderables, los recursos hidrológicos, etc. (Moya *et al.*, 2010, Astier *et al.*, 2010). Al mismo tiempo otros estudios abordan la contaminación de este recurso y de su capacidad para amortiguar a los agentes contaminantes ejemplo de ello es el trabajo de Alcalá (2009), en el cual considera la retención de metales pesados por parte del suelo y la participación e importancia de este proceso para mantener la calidad ambiental de una zona urbana.

Tabla 1.1 Referencias bibliográficas

Año	Autores	Título	Aportación al trabajo de investigación
Sin año	Sánchez V., R. Castelán y J. V. Tamariz.	Efectos de la Actividad Agrícola sobre las propiedades físicas de los Luvisoles de la Sierra Norte del Estado de Puebla.	Uso de indicadores físicos: MO (Materia Orgánica), Densidad Real y Porosidad
2002	Astier-Calderón, M., M. Maass-Moreno y J. Etchevers Barra.	Derivación de Indicadores de Calidad de suelos en el contexto de la agricultura sustentable.	Indicadores relacionados con los rendimientos de cultivos y ganado, para los atributos estabilidad y resiliencia, se seleccionaron indicadores edáficos asociados con las propiedades biológicas, químicas y físicas y con la erosión de suelos.
2005	Cerón, C. P. y Y.Riascos	Calidad de suelos de ladera a partir del conocimiento de agricultores de Caldono en el suroeste de Colombia.	Se discuten los resultados para suelos destinados a 1) agricultura (café con sombrío) y 2) bosque, Indicador visual: Color
2006	Meza-Pérez, E. y D. Geissert Kientz.	Estabilidad de la estructura en andisoles de usos forestales y cultivados.	El cambio de uso de suelo como factor de deterioro de las propiedades del suelo (pérdida de vegetación)
2008	Hernández – Hernández, R., M. Ramírez, E. Castro y S. Cano	Cambios en Indicadores de Calidad de Suelos de Ladera Reforestación con pinos ( <i>Pinus caribea</i> ) y Eucaliptos ( <i>Eucalyptus robusta</i> ).	Uso de indicadores físicos: Fracciones de la materia orgánica (MO), el carbono orgánico, sus fracciones pesadas y ligeras, la biomasa microbiana, la respiración basal y los ácidos húmicos y fúlvicos, además de la estabilidad de los agregados.
2009	Alcalá, J., M. Sosa, M. Moreno, M. Rodríguez, J. C., Quintana, C., Terrazas y O. Rivero	Metales Pesados en suelo urbano como un indicador de la calidad ambiental: Ciudad de Chihuahua, México.	Aplicación de indicadores del suelo y su relación con la calidad ambiental de una zona urbana.
2010	Moya, R., V. Arce, E. González, C. Olivares, y V. Ríos.	Efecto de las propiedades físicas y químicas del suelo en algunas propiedades de la madera de teca ( <i>Tectona grandis</i> )	Propiedades fisicoquímicas del suelo como, porcentaje de arcilla, limo y arena, densidad aparente, porcentaje de retención de agua, pH, acidez y contenido de Ca, Mg, K, P, Zn, Cu, Fe y Mn)
2010	Raimo S., N. Paavo, H.Herva, M. Piekari & S. Marja-Liisa.	Impact of intensive forest management on soil quality and natural regeneration of Norway spruce.	Evaluación de las técnicas de manejo para la reforestación en un bosque con el uso de indicadores relacionados con la mecánica de suelos.
2011	Smith, J. L. and J.J. Halvorson	Field Scale Studies on the Spatial Variability of Soil Quality Indicators in Washington State, USA.	Uso de indicadores pH, MO y disponibilidad de P y K) y su aplicación a otras escalas geográficas con similitud en las condiciones ambientales.

Fuente: Elaboración propia

Con las referencias de los trabajos anteriores se realizó el presente trabajo de investigación a partir de la medición de las propiedades fisicoquímicas como densidad real, densidad aparente, color, pH, textura, Materia Orgánica (MO), Nitrógeno (N), Fósforo (P), Capacidad de Intercambio Catiónico (CIC) y Bases Intercambiables (BI), en cuatro perfiles de la ladera este de la unidad morfológica "Cerro Grande" de la comunidad de Dexcani Alto, municipio de Jilotepec. La selección de los puntos de muestreo se hizo considerando las diferentes alteraciones en el uso del suelo y vegetación tomando como referencia un bosque de encino.

# CAPÍTULO

# 2

## Marco Contextual

## 2.1 Concepto de suelo

Las definiciones acerca del recurso suelo han variado a través de los años y de los enfoques de estudio, este apartado menciona algunas de sus definiciones, retomando las más cercanas a la perspectiva en la que se abordara este recurso, la cual es ecológica o de funciones ambientales.

Etimológicamente el término suelo se deriva del latín *solum* que significa piso o terreno.

Buol *et al.*, (1981), expresa que el suelo es un “cuerpo natural de materia mineral y orgánica que cambia o ha cambiado en respuesta al clima y a los organismos”: Este mismo autor en el año 2008, menciona que “el suelo es un volumen de materia, que se encuentra en la superficie de la tierra y que se extiende hacia abajo y que incluye a todos los materiales capaces de soportar las raíces de las plantas”.

La Soil Survey Staff (1994), lo describe como un cuerpo tridimensional continuo, formado por cuatro componentes físicos importantes: los sólidos (orgánicos e inorgánicos), los líquidos, los gases y los elementos bióticos (Harold y Hocker, 1984), los cuales representan los canales de entrada y salida de materia y energía del suelo, donde la actividad humana ha intervenido para mejorar o reducir sus propiedades, para este trabajo se realiza una combinación de estos dos conceptos y se entiende que el suelo es un recurso importante dentro del sistema ambiental, por su importancia e interacción con otros recursos naturales dentro de los ciclos biogeoquímicos, al participar en el constante intercambio de materia y energía, a la par de proveer servicios ambientales como: la captación de agua, en cuerpos superficiales y subterráneos, además de mejorar su calidad debido a su capacidad para amortiguar contaminantes, captura de carbono, etc.

## 2.2 Funciones ecológicas del suelo

Como se mencionó en apartados anteriores, los enfoques de estudio del suelo han dejado de encasillarse en la productividad de este recurso (producción de alimentos) o bien este tipo de estudios han propuesto prácticas de manejo para minimizar su deterioro en la actividad agrícola, respetando características de los agroecosistemas como la sustentabilidad y resiliencia, es por ello

que se ha decidido incursionar en estudios relacionados con los beneficios y servicios ambientales que el suelo provee a los ecosistemas terrestres y al ser humano al mantener la calidad ambiental a nivel local, regional y global (Doran, 1994) y la relación que mantiene con otros recursos como son los hidrológicos y biológicos partiendo de que este recurso interacciona de manera directa o indirecta sobre ellos al ser un sistema dinámico y abierto a las entradas y salidas de energía que le permitan estar en equilibrio.

El suelo también se relaciona con los aspectos sociales de una población al ser fuente de recursos y de herencia cultural; a la par de realizar funciones ecológicas como “la producción de alimentos, la filtración y retención de sustancias contaminantes, hábitat biológico y reserva genética” (Blum y Santelises, 1994), a las funciones anteriores se suma la de la captura de carbono, que se ha alterado debido a la constante deforestación de la vegetación principalmente de los bosques tropicales, (Lal *et al.*, 1999 y Houghton, 2003) con lo cual ayuda a mantener el equilibrio de este elemento dentro del sistema ambiental y contribuir a la mitigación del calentamiento global (Vergara *et al.*, 2004). En el contexto de la calidad del suelo el carbono es importante debido a la relación que establece con otras características y funciones del suelo entre ellos, con la disponibilidad de nutrimentos como el nitrógeno y su papel en otros procesos físicos, químicos y biológicos (Reeves, 1997).

A continuación se explican de manera breve algunas de las funciones ecológicas del suelo o también conocidas como servicios ambientales:

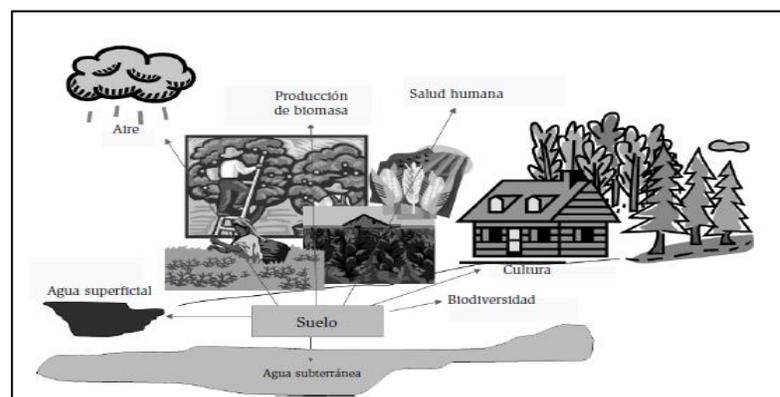
- **Proveedor de alimentos.** Se refiere a la capacidad del suelo para proporcionar alimentos, a partir de los nutrimentos y de las condiciones externas que les permitan desarrollarse. Aquí se vincula la herencia cultural que la actividad agrícola ha proporcionado a partir de las técnicas de manejo sobre este recurso, conservadas sobre todo en las comunidades indígenas.

**Infiltración de Agua.** El agua toca al suelo o bien entra en él (infiltración) debido a la porosidad que presenta, la infiltración es el movimiento del agua de la superficie hacia el interior del suelo la cual está disponible para plantas y animales, otra para la recarga de

agua subterránea y de corrientes y cuerpos superficiales; al ser aprovechada para las funciones anteriores se reducen las inundaciones y erosión del suelo por escorrentía, dado que durante su ejecución se transportan partículas de suelo con nutrientes absorbidos y productos químicos que llegan a los cuerpos de agua en los que los arroyos o ríos desembocan (Angelone, 2006 y NRCS, 2010). Para evitar la erosión, la presencia de vegetación en un suelo es primordial pues ésta capta el agua proveniente de las precipitaciones y al presentar mayor espacio continuo de los poros mejora la infiltración y reduce la escorrentía. Entre las características físicas que influyen en el movimiento del agua en el suelo se encuentran las siguientes: textura, estructura, densidad real, densidad aparente, porosidad y permeabilidad, mismas que serán explicadas con mayor detalle en el apartado 2.4 de este capítulo. Otra de las funciones realizadas por el suelo y relacionadas con el contenido de poros es la capacidad de aireación, la cual se refiere al aire que puede circular dentro del suelo y que es necesario para el sistema de raíces de la vegetación.

- **Capacidad de amortiguación.** Esta función del suelo se refiere a la capacidad que presenta para crear una barrera que proteja a otros recursos como lo son el agua o a los actores físicos del suelo (microorganismos y bacterias). La función está relacionada con la capacidad que tiene este recurso de retener contaminantes y evitar su contaminación (autodepuración).

Imagen 1. Bienes y servicios provistos por el suelo



Fuente: W. E. H. Blum (2005)

### 2.3 Calidad del Suelo

La definición de calidad del suelo puede abordarse desde distintos enfoques de estudio, por lo cual hacer referencia acerca de este término conlleva a considerar la multifuncionalidad que tiene, y la importancia en la vida del ser humano y de otros seres vivos y recursos naturales que están relacionados con él (Singer y Ewing, 2000), por lo cual su uso debe considerarse dentro de los límites del ecosistema y el uso de la tierra, para seguir sosteniendo la productividad vegetal y animal, mantener o mejorar la calidad del agua y aire (Doran y Zeiss, 2000).

La calidad del suelo incluye tres principios importantes: a) La productividad del suelo, que se refiere a la habilidad del mismo para promover la productividad del ecosistema o agroecosistema, sin perder sus propiedades físicas, químicas y biológicas; b) la calidad medio ambiental, entendida como la capacidad de un suelo para atenuar los contaminantes ambientales y los patógenos aquí se incluyen los servicios ecosistémicos que ofrece (reservorio de carbono, mantenimiento de la biodiversidad, recarga de acuíferos, etc.); y c) la salud, que se refiere a la capacidad de un suelo para producir alimentos sanos y nutritivos para los seres humanos y otros organismos (Astier *et al.*, 2002).

Estas definiciones fueron sintetizadas por el Comité para la Salud del Suelo de la Soil Science Society of America (Karlen *et al.*, 1997; Doran y Zeiss, 2000) “como la capacidad del suelo para funcionar dentro de los límites de un ecosistema natural o manejado, sostener la productividad de plantas y animales, mantener o mejorar la calidad del aire y del agua, y sostener la salud humana y el hábitat”.

Como se aprecia en las definiciones anteriores diversos autores han hecho hincapié en que el suelo no sólo debe verse desde la perspectiva de producción agrícola y como proveedor de alimentos, como lo dan a conocer SchjØnning *et al.*, 2004; la calidad del suelo se refiere también a la reducción de efectos negativos sobre el medio ambiente y la contribución de este recurso a la salud humana al retener a los contaminantes.

En el presente trabajo de investigación se retoman dos de los tres principios mencionados por Astier *et al.*, 2002: el principio de los servicios ecosistémicos del suelo y de su capacidad para

producir alimentos, para ambos casos se evaluarán características físicas y químicas, las cuales indicarán como se encuentran las propiedades del suelo y que limitantes presentan para contribuir a la ejecución de sus funciones, ya que conocer su estado es el primer paso para evitar algunos de los problemas relacionados con este recurso como lo son: la pérdida de suelo por erosión, compactación de las capas, destrucción de los agregados del suelo o de su estructura, reducción de la infiltración y el aumento de la escorrentía, formación de costras en la superficie del suelo, pérdida de nutrientes, cambios perjudiciales en el pH, pérdida de MO, inhibición de la actividad biológica, emisiones de gases de efecto invernadero entre otras USDA (2008).

En cuanto al concepto que se retoma para referirse a la calidad del suelo para fines de este trabajo es el de: la calidad dinámica del suelo, pues está relacionado con los cambios en sus propiedades según el uso que se le proporcione, en un tiempo y espacio determinado para este caso dos: el forestal y agrícola, al mismo tiempo proporcionan datos que permiten evaluar las prácticas de manejo (Page Dumroese *et al.*, 2013).

## **2.4 Indicadores de calidad del suelo**

Un indicador de calidad es una herramienta que nos permite conocer y verificar información de las propiedades, procesos y características de un recurso, con la intención de su posterior monitoreo, planificación y evaluación (Astier *et al.*, 2002 y Taylor, 2010), por lo cual deben presentar los siguientes atributos: sensibilidad a los cambios bajo diferentes prácticas, fáciles de medir e interpretar y accesibles para los usuarios (Doran *et al.*, 1994 y Arzuaga *et al.*, 2005).

Los indicadores para la evaluación de la calidad del suelo deben integrar aspectos químicos, físicos y biológicos, lo anterior para relacionar los datos que cada indicador muestra, lo que a su vez permita tener un panorama completo acerca de lo que sucede en el suelo y como es que cada variable se interrelaciona y puede explicar a otros fenómenos relacionados con sus propiedades. De acuerdo con la Natural Resources Conservation Service (NRCS), los indicadores de calidad del suelo se pueden clasificar en cuatro grupos generales: visuales, físicos, químicos y biológicos; para este trabajo de investigación se consideran los visuales principalmente el color y aspectos geográficos del lugar, los físicos y químicos de los que a continuación se describe su uso y participación en las funciones del suelo.

### **2.4.1 Indicadores Visuales**

Los indicadores visuales son obtenidos a partir de la observación en la que se pueden identificar situaciones como encharcamiento, escurrimiento, la alteración del mantillo o piso forestal, desplazamiento o disturbio de la superficie del suelo, quema, compactación entre otras; este tipo de indicadores se complementan con la interpretación fotográfica o de imágenes, en las que se consigue analizar la exposición del suelo y la presencia de cubierta vegetal (Page *et al.*, 2013); lo que proporciona información general acerca de los factores que actúan sobre la calidad del suelo y que provocan cambios en ella.

Debe mencionarse además de la clasificación de los indicadores del suelo, la importancia de conocerlos y aplicarlos, la mayor parte de ellos están relacionados con la máxima de conservar y mantener la calidad del suelo incluyendo a los otros recursos naturales con los que interactúa, por lo que su aplicación también se da en la evaluación de las prácticas y técnicas de manejo de los suelos y en la determinación de tendencias en su salud (USDA, 1996).

El criterio para selección de los indicadores estará en función de: el uso de la tierra, la relación entre un indicador y la función del suelo, la facilidad y la fiabilidad de la medición, variación en los tiempos de muestreo y en la zona de muestreo a su vez los valores para cada indicador deben considerar las diferencias de los suelos en el material parental, clima, posición, aspectos topográficos o del paisaje, los organismos del suelo y el tipo de vegetación USDA, 2001.

Para el presente trabajo de investigación los indicadores seleccionados serán utilizados para evaluar características relacionadas con algunas funciones del suelo entre las que se encuentran: la disponibilidad de nutrientes, captación e infiltración de agua, profundidad del suelo, desarrollo de raíces, cantidad y tamaño de poros, etc., con el objetivo de conocer sus características fisicoquímicas, según el uso que está recibiendo y la función evaluada.

### **2.4.2 Indicadores físicos**

Están relacionados con la disposición de partículas sólidas y poros; entre ellos se encuentran profundidad, densidad aparente, porosidad, estabilidad de los agregados, la textura, costras y

compactación. Los indicadores físicos reflejan principalmente las limitaciones de crecimiento de las raíces, el crecimiento de las plántulas, infiltración (movimiento del agua dentro del perfil del suelo).

A continuación se explican algunos de los indicadores mencionados en el párrafo anterior, los cuales fueron extraídos de artículos publicados por la USDA de diferentes años.

#### Estabilidad de los agregados

Es la capacidad que tienen los agregados del suelo para resistir a la desintegración de sus partículas (Nichols y Toro, 2011) al aplicársele una fuerza externa, proveniente de las actividades de labranza, para el caso de las zonas agrícolas, y de los fenómenos meteorológicos como precipitación o del viento.

La estabilidad está relacionada con el contenido de MO, actividad biológica y el ciclo de nutrientes en el suelo. Los agregados proporcionan información acerca de los poros (pequeños y grandes), los cuales son esenciales para el movimiento de agua y aire en el suelo, penetrabilidad de las raíces (crecimiento de las plantas), nutrientes y el movimiento de biota dentro del suelo. El tamaño de los agregados en húmedo sugiere que un suelo puede resistir el impacto de las gotas de lluvia y la erosión por agua, mientras que la distribución de tamaño de agregados secos se puede utilizar para predecir la resistencia a la erosión eólica USDA (2008).

#### Estructura del Suelo

La estructura del suelo es la disposición espacial de los agregados y la porosidad, esta propiedad del suelo está relacionada con la función de productividad y del transporte de agua y de solutos a través de los poros, es vulnerable a cambios por la compactación y erosión (Mueller, *et al.*, 2010). Las funciones importantes del suelo relacionadas con su estructura son: sostener la productividad biológica y hábitat para los organismos, la infiltración de agua, drenaje, aireación y el almacenamiento de nutrientes y penetración de las raíces, esta propiedad está en función de otras como: la textura del suelo (contenido de arcillas), MO, factores biológicos.

La agregación de las partículas del suelo, se ve influenciada por el encogimiento o expansión de las arcillas, cuando el suelo se seca, las arcillas se contraen y el suelo reduce su volumen provocando grietas en las zonas débilmente unidas, provocando en algunas ocasiones la baja permeabilidad del suelo, poca circulación de aire dentro del suelo y funge como limitante de la penetrabilidad y desarrollo de las raíces. Además de los aspectos físicos y químicos que influyen en la formación de los agregados están los de carácter biológico pues son importantes para el desarrollo de grandes agregados y macroporos que son hábitat para los microorganismos como lombrices y hongos (USDA ,2008).

Cuando la estructura del suelo se ve afectada; esta situación desencadena otras como poca infiltración lo que a su vez provoca escorrentía, erosión y la formación de costras en la superficie, por el goteo proveniente de las precipitaciones, reducción de la calidad de agua debido a la turbidez, sedimentación y el enriquecimiento de nutrientes (USDA ,2008).

#### Capacidad de agua disponible

De acuerdo a USDA (2008), el agua disponible se encuentra entre la capacidad de campo y el punto de marchitez de un suelo, es decir la cantidad de agua que es retenida por el suelo y que puede ser ocupada por las plantas. Es un indicador de la capacidad que tiene el suelo para retener agua y que sea suficiente para las plantas. La capacidad de campo es el agua que permanece en un suelo después de que ha sido completamente saturado y se dejó escurrir libremente mientras que el punto de marchitez es el contenido de humedad en un suelo en el que las plantas se marchitan y no se recuperan aun cuando se le suministra suficiente agua, la capacidad se expresa generalmente como una fracción de volumen o porcentaje (USDA, 1998).

La capacidad disponible de agua se ve afectada por la textura pues en cuanto sea más fina, la retención se incrementa; otro de los factores que influye en esta función del suelo es la MO, pues ésta posee una capacidad de retención de agua superior a un volumen similar de suelo mineral, los fragmentos de roca reducen la capacidad de agua disponible del suelo a menos que las rocas sean porosas. Una de las alteraciones que reducen esta función es la compactación dado que reduce el volumen total de poros y con ello la capacidad de retención de agua, a lo que se suma el

contenido de sal, pues su presencia reduce la presencia de agua al absorberla (USDA 2008 y 2009).

### Densidad Aparente

La densidad aparente (expresada en  $\text{g/cm}^3$ ) es la masa seca del suelo por unidad de volumen inalterado es decir, cómo se encuentre al realizar el perfil (Pinot, 2000); esta refleja la capacidad del suelo para el movimiento de agua, aire y solutos, es un indicador de la compactación del suelo (Blanco, 2009), este volumen incluye el volumen de las partículas del suelo y el volumen de poros entre las partículas del suelo, USDA (2003). Las densidades por encima de los límites de la tabla 2.1 indican un deterioro de la función.

**Tabla 2.1 Relación general de la densidad del suelo y el crecimiento de las raíces basado en la textura**

Textura del suelo	Densidad ideal para el crecimiento de la planta ( $\text{g/cm}^3$ )	Densidad que restringe el crecimiento de la raíz ( $\text{g/cm}^3$ )
Arenoso	< 1.60	> 1.80
Limoso	< 1.40	> 1.65
Arcilloso	< 1.10	> 1.47

Fuente: USDA ,2008 (Servicio de Conservación de Recursos Naturales)

En general, los suelos sueltos, permeables y ricos en MO tienen menor densidad aparente. Los suelos arenosos tienen una densidad aparente relativamente alta ya que el espacio total de poros en arenas es menor que la de suelos con texturas limosas o arcillosas. Los suelos de textura fina, tales como limos y arcillas, que tienen una buena estructura tienen mayor espacio poroso y menor densidad aparente en comparación a los suelos arenosos, USDA (2008).

La densidad aparente aumenta con la profundidad del suelo pues en las capas del subsuelo se reduce la MO, agregación y penetración de las raíces en comparación con las capas de la superficie y por tanto, contienen menos espacio poroso; lo mismo ocurre cuando las partículas de

suelo erosionado llenan el espacio de los poros, USDA (2008) de ahí la importancia de la presencia de plantas y de la cobertura con residuos agrícolas.

Una densidad aparente elevada indica baja porosidad del suelo y de su compactación, lo que causa restricciones al crecimiento de la raíz por la falta de movimiento de aire y agua a través del suelo; a su vez, estas limitantes inciden en la disminución del rendimiento del cultivo y la reducción de cubierta vegetal disponible para proteger el suelo de la erosión. Por la reducción de la infiltración de agua en el suelo, la compactación puede dar lugar al aumento de la escorrentía y la erosión de los terrenos en pendiente o suelos saturados de agua en zonas más llanas USDA (2008), por lo que entre las acciones para mejorar la densidad aparente se encuentran el aumentar la MO para interrumpir las capas compactadas, rotación de cultivos y cultivo de cobertura.

#### Infiltración

La infiltración es la entrada de agua en el suelo, como indicador se aplica para conocer como es el movimiento del agua a través del perfil, dado que el líquido puede almacenarse temporalmente y estar disponible para las raíces de las plantas o bien escurrir debido a que se excede la capacidad de infiltración provocando el transporte de partículas de suelo y con ellas nutrientes y productos químicos que pueden provocar la contaminación de cuerpos de agua subterráneos y superficiales. Uno de los factores que favorece el proceso de escorrentía es la sedimentación al disminuir la capacidad de almacenamiento y provocar encharcamiento USDA (2008).

Entre las variables que influyen en esta función del suelo se encuentran la textura (porcentaje de arena, limo y arcilla) y la mineralogía de las arcillas pues su presencia influye sobre la velocidad con la que el agua se mueve en el suelo; muchos suelos arcillosos desarrollan grietas por contracción al secarse, creando un conducto directo para que el agua entre en el suelo, la infiltración en un suelo seco aumenta debido a que existe mayor cantidad de poros que no están llenos de agua, el clima y el paisaje contribuyen a la infiltración, la primera por fenómenos como la precipitación la cual es una de las entradas de agua en el suelo y la segunda debido a la posición del suelo en el relieve.

Cuando el suelo es desprovisto de vegetación está sujeto al impacto directo y las fuerzas erosivas de las gotas de lluvia las cuales desalojan las partículas del suelo y a su vez estas, llenan y bloquean poros de la superficie, lo que contribuye a la formación de costras que restringen el movimiento de agua a través del perfil del suelo, además la pérdida de vegetación trae consigo en algunos casos la pérdida de MO, por lo cual los agregados pierden estabilidad y se afecta a la infiltración (USDA,2009).

#### **4.3 Indicadores químicos**

Dentro de estos indicadores se incluyen mediciones de pH, salinidad, MO, la concentración de P, N, CIC y BI o aquellos que son necesarios para el crecimiento y desarrollo de plantas. La condición química del suelo afecta a las relaciones suelo-planta, la calidad del agua, capacidad de amortiguamiento, la disponibilidad de nutrientes y agua para plantas y otros organismos, la movilidad de los contaminantes (USDA, 2009).

Entre los indicadores químicos que se encuentran considerados a evaluar en este trabajo son:

pH del suelo

La USDA (2011) define al pH del suelo como el grado de acidez del suelo o alcalinidad, los cuales afectan sus propiedades y procesos físicos, químicos y biológicos incluyendo la nutrición, el crecimiento y los rendimientos de la mayoría de los cultivos.

Entre los factores de origen y externos que influyen en el pH se encuentran el clima, el material parental, vegetación (tipo de humus producido) textura y MO, los suelos con texturas gruesas se pueden acidificar fácilmente en comparación con los suelos de arcilla, porque tienen bajo contenido de MO, la disminución de humus también puede deberse a la erosión (Llorente, 2002).

En las propiedades químicas, el pH influye en la disponibilidad y movilidad de los nutrientes, por ejemplo; en suelos ácidos (pH inferior a 5), el calcio (C), magnesio (Mg), nitrógeno (N), fósforo (P), boro (B) y molibdeno (Mb) son deficientes. Para el caso del N, en condiciones de fuerte acidez; su

nitrificación y fijación se inhibe, mientras que el aluminio y el manganeso son abundantes y pueden llegar a ser tóxicos para algunas plantas, pues ocasiona la acidificación del suelo. En el aspecto biológico, bajo condiciones de acidez fuerte o extrema, disminuye la actividad de las poblaciones de bacterias, lo que se refleja en la poca mineralización de la MO (USDA, 2011).

#### Formas del nitrógeno

El nitrógeno es un elemento indispensable para la vida, conocido como un macronutriente junto con el fósforo (P) y potasio (K), forman parte de las principales biomoléculas de todos los seres vivos, su presencia influye sobre la fertilidad del suelo al proporcionar las condiciones adecuadas para el crecimiento y desarrollo de las plantas (Sánchez, 2007 y Perdomo, 1998).

Las dos reservas principales de N se encuentran en: a) la atmosfera, en su forma molecular  $N_2$  (78%) y b) en la MO donde aproximadamente un 98% se encuentra formando compuestos orgánicos (Perdomo, 1998), por lo cual también se le conoce como N total.

Aun cuando este macronutriente es abundante, la cantidad de nitrógeno presente en muchos suelos es escasa, debido a su dinámica y a su ciclo biogeoquímico (INE, 2006 y Siebe *et al.*, 2006), donde además interviene la actividad de los microorganismos, plantas y animales, en el caso de los primeros, éstos participan en la fijación simbiótica (relación de leguminosas y bacterias) o asimbiótica del N, pasando de compuestos orgánicos a formas inorgánicas como las del Nitrato ( $NO_3^-$ ), Amonio ( $NH_4^+$ ) y Nitrito ( $NO_2$ ) (Siebe *et al.*, 2006).

Entre los factores que influyen sobre la cantidad y disponibilidad del N, se encuentran: el clima, temperatura y humedad principalmente; influye en la actividad de los microorganismos, debido a que a temperaturas bajas la actividad es escasa, contrario a lo que sucede cuando la temperatura aumenta y la descomposición de la MO es rápida. Por otra parte, se ha observado que el contenido de N total es mayor en suelos desarrollados bajo praderas que en aquellos bajo cobertura forestal, esto se debe de acuerdo a Perdomo (1998), a que los restos de la vegetación presentes en los bosques se descomponen en la superficie del suelo, mientras que los de pradera (pastos y sus raíces) penetran en el suelo y se descomponen en su interior, además de los factores ya mencionados se suman los relacionados con la topografía (arrastre o depósito de

partículas de suelo y de nutrimentos en las pendientes o superficies planas), orientación de la pendiente, tipo de suelo, material parental y manejo del suelo.

#### Capacidad de Intercambio Catiónico (CIC)

La CIC es la cuantificación de la capacidad del suelo de retener cationes. Dentro de la retención de algunos nutrientes y contaminantes por parte del suelo, intervienen las cargas de los componentes que lo integran principalmente las arcillas y la materia orgánica (carga negativa) las cuales atraen cationes. La CIC depende de la textura del suelo y del contenido de materia orgánica, por lo que se entiende de manera general que entre “más arcilla y materia orgánica en el suelo, la capacidad de intercambio es mayor” (Porta *et al.*, 1993; Siebe *et al.*, 2006).

#### Bases intercambiables

Los contenidos de cationes en el suelo están relacionadas con los procesos de meteorización y lixiviación del material de origen, el contenido de arcilla y de MO (Porta *et al.*, 1993), la carga de los coloides, (arcilla, materia orgánica, óxidos e hidróxidos de Fe y Al), es negativa por ello atraen y retienen cationes, como:  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{K}^{+}$ ,  $\text{Na}^{+}$ ,  $\text{H}^{+}$ ,  $\text{Al}^{3+}$ ,  $\text{Mn}^{2+}$ ,  $\text{Fe}^{3+}$ .

#### Fósforo soluble

El P, es un macronutriente esencial para las plantas y los microorganismos, junto con el N y K puede ser un nutriente limitante, ya que es un componente de los ácidos nucleicos y de los fosfolípidos, su disponibilidad depende de variables como: de su cantidad en el suelo, las características físicas y químicas del propio suelo que le permitan al P pasar de las zonas de alta concentración hacia las raíces y a su vez a la capacidad que tienen estas para extraer el P. En cuanto a factores como el pH este interviene al influir sobre la solubilidad de las formas del P y por lo tanto de su disponibilidad (Aguilar *et al.*, 1987), la MO juega un papel importante en este nutriente, como en otros que con anterioridad se mencionaron, cuando los ácidos orgánicos favorecen la asimilación del P, la humedad participa al incrementar la solubilidad de los iones fosfato, la tasa a la que el fosfato se disuelve es lo primordial para que la solución pueda ser suministrada a las plantas (Rojas, 2006), la presencia de compuestos llamados alófanos,

provenientes de cenizas, son de considerar ya que estos adsorben en su superficie al P y como consecuencia ocurre su pérdida.

### Materia Orgánica

La MO, es la fracción del suelo compuesta de todo lo que alguna una vez vivió, su importancia radica en que es una de las características del suelo que más impacto tiene sobre otras de sus propiedades físicas y químicas y de sus funciones, pero sobre todo a que su inclusión en las prácticas de manejo es clave para la mejora y conservación de los suelos (USDA y NRCS, 2003).

Entre las funciones que tiene la MO están: proporcionar una fuente de carbono y energía para los microorganismos del suelo, estabilizar y cohesionar las partículas del suelo (USDA, 1996), lo que reduce el peligro de la erosión, ayuda al crecimiento de los cultivos mediante la mejora de la capacidad del suelo para almacenar y transmitir aire y agua, proporciona nutrientes tales como el N, P, entre otros que son necesarios para el crecimiento de las plantas y organismos del suelo (Rueda,1998), conserva los nutrientes, incrementando la capacidad de intercambio catiónico, mantiene el suelo en un estado no compactado con una menor densidad aparente, hace más friable al suelo, menos pegajoso y fácil de trabajar, reduce los efectos ambientales negativos de los plaguicidas (Julca *et al.*, 2006), metales pesados y muchos otros contaminantes, interviene en la capacidad de amortiguamiento del pH, mejora el labrado en los horizontes superficiales, reduce la formación de costras, aumenta la velocidad de agua de infiltración, reduce la escorrentía, y facilita la penetración de raíces de las plantas (Cuevas,2006).

Como se observa, las funciones en las que la MO interviene son varias, desde las físicas, químicas y hasta biológicas, sin embargo existen factores que disminuyen sus propiedades como lo son: la disminución de la producción de biomasa, la sustitución de la vegetación, la quema de bosques o residuos de cosecha, alteración de las condiciones climáticas, como la lluvia y la temperatura que inciden sobre la producción de la planta y residuos que entran al suelo y por lo tanto la acumulación de MO en el suelo, la topografía, especialmente la elevación y la pendiente, puede crear un gradiente de distribución debido a diferencias en los tipos de temperatura y la

vegetación a diferentes elevaciones, los residuos orgánicos con una baja relación C/N pueden descomponen rápidamente y reducir la acumulación de MO ( USDA y NRCS, 2003).

### **Indicadores biológicos**

Como se había mencionado, el presente trabajo de investigación no contempla la evaluación de las características biológicas del suelo, sin embargo se mencionan pues las propiedades físicas y químicas del suelo inciden y se relacionan con la flora y fauna que en el existen, por lo que a partir de estas se puede conocer cómo se afecta a los organismos (Collins, 2011 y Alkorta, 2003).

Algunos de los parámetros biológicos más utilizados según Collins (2011) y la USDA (2009), son: biomasa microbiana, respiración basal (incluye su actividad física o los subproductos), N mineralizable, las actividades enzimáticas, grupos funcionales de la microflora, composición y diversidad de las comunidades microbianas, abundancia y diversidad de macro-, meso-y microfauna, patógenos de raíces, crecimiento y diversidad de plantas, a continuación se presentan algunas:

#### La respiración del suelo

La liberación hacia la superficie del suelo de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) se conoce como respiración del suelo. Esto resulta de CO<sub>2</sub> originada de fuentes que incluyen la descomposición de materia orgánica para obtener energía para su crecimiento y funcionamiento (respiración microbiana), respiración de la raíz de la planta, respiración de la fauna y finalmente, a partir de la disolución de carbonatos en la solución del suelo (USDA, 2009), en síntesis este indicador expone la capacidad del suelo para sostener vida (cultivos, animales y microorganismos del suelo).

Durante la descomposición de nutrientes orgánicos, las partículas que se encuentran junto con la MO (por ejemplo, fósforo orgánico, nitrógeno y azufre) se convierten en formas inorgánicas que están disponibles para la absorción de la planta (USDA, 2009).

### Las enzimas del suelo

Aunque los indicadores fisicoquímicos del suelo han sido los que con mayor frecuencia se ocupan para conocer su calidad, diversos estudios han comenzado a incursionar en los indicadores biológicos ya que pueden considerarse como indicadores tempranos de estrés, haciéndolas idóneas para su uso en los diferentes programas de monitorización (Ochoa et al., 2007).

Una de ellas es la actividad enzimática que permite conocer sobre los procesos bioquímicos del suelo debido a su uso o a la presencia de contaminantes, pues son catalizadores de las reacciones químicas de los seres vivos y de los ciclos biológicos (Joinville *et al.*, 2004).

### La biodiversidad del suelo

Este indicador refleja la mezcla de organismos que viven en él, estos organismos interactúan entre sí y con pequeñas plantas y animales que forman una red de actividad biológica, los cuales mejoran algunas propiedades y funciones del suelo como son: la mineralización de la MO, la entrada y almacenamiento de agua, la movilización de los nutrientes, controlan y equilibran las poblaciones de los organismos en el suelo (USDA, 1998).

## Indicadores seleccionados

Tabla 2.2 Resumen de indicadores seleccionados

Indicadores	Parámetro	Relación con la calidad del suelo
Visuales	Color, características y posición del suelo en el relieve (clima, vegetación, precipitación, temperatura, exposición, inclinación).	Panorama general acerca del suelo al observar situaciones que determinan o influyen en ciertos procesos edáficos.
Físicos	Textura, pedregosidad, humedad, estructura, estabilidad de agregados, poros, Densidad Aparente, raíces, profundidad del perfil, volumen de poros totales, capacidad de aireación, disponibilidad de agua, capacidad de campo.	Retención y transporte de agua y nutrientes, hábitat para microbios, estimación del crecimiento de la productividad, compactación, movimiento del agua a través de los poros
Químicos	pH, Materia orgánica, presencia de CaCO <sub>3</sub> , Capacidad de Intercambio Catiónico, Bases intercambiables, humus, Nitrógeno (total y disponible), Fosforo.	Actividad biológica y química, disponibilidad de nutrientes para las plantas

Fuente: Elaboración propia con base a Tabla Ejemplos de indicadores de calidad del suelo Disponible en: [http://soils.usda.gov/sqi/assessment/test\\_kit.html](http://soils.usda.gov/sqi/assessment/test_kit.html). Consultada 14 de diciembre de 2012.

## 2.5 Importancia de conocer la calidad del suelo

Existen diversas actividades que ponen en peligro la calidad del suelo y con esto el inicio a otras problemáticas ambientales, esta problemática está presente a distintas escalas geográficas y en ella se reconocen ocho amenazas principales: contaminación, pérdida de materia orgánica, erosión, reducción de la biodiversidad del suelo, salinización, sellado del suelo, compactación e inundaciones y deslizamientos de tierras (Castillo, 2004).

Los problemas relacionados con el suelo y citados en el párrafo anterior ocasionan estragos en otras actividades en las que el suelo es un recurso imprescindible, como lo es la provisión de alimentos y otros (ver punto 1.1.2), entonces la evaluación de la calidad del suelo es indispensable para determinar si un sistema de manejo es sustentable a corto y largo plazo, así como para monitorear sus características y cambios a través del tiempo (Doran *et al.*, 1994; Armida *et al.*, 2005), por lo mismo es importante considerar estrategias y técnicas que ayuden a preservar la calidad de este recurso como uno de los principales objetivos de la agricultura sostenible, mismos

que deben trascender a otros tipos de ecosistemas terrestres haciendo uso de las estrategias y prácticas de gestión.

Otros autores refieren que es importante conocer la calidad del suelo para la planificación del territorio según el uso al cual está destinado y para evaluar los procesos de remediación que en él se ejecutan, en este último aspecto como escribe Garbisu *et al.*, 2007 el fin último de un programa de fitoremediación es además de eliminar el contaminante recuperar la calidad del suelo, respetando los criterios de sostenibilidad del sistema ambiental: productividad, la seguridad, la protección, viabilidad y aceptabilidad como lo expresan Schjønning *et al.*, 2004, pues ello incluirá los aspectos externos relacionados con la calidad del suelo como lo son: las actividades humanas y las que tienen que ver con el manejo de las tierras.

Lo antes expuesto permite observar la aplicación del conocimiento acerca de la calidad del suelo, el cual está diversificado en temáticas, acciones y decisiones que pretenden desarrollarse en el marco de la sustentabilidad ambiental, las cuales repercuten en los recursos naturales mismos que son aprovechados por la población.

La calidad del suelo puede abordarse desde distintas perspectivas y escalas geográficas; de acuerdo a Karlen *et al.* (1997), existen cuatro niveles en los que se puede abordar su evaluación: 1) nacional, regional e internacional, 2) cuencas hidrológicas, 3) zonas boscosas, 4) tierras, 5) puntos de evaluación de procesos. (Ver Anexo 1).

Para fines de este trabajo de investigación se considera esta jerarquía partiendo del ámbito municipal para aterrizar a nivel de unidad de relieve, siendo en este caso la ladera Este de Cerro Grande que es aledaña a la comunidad de Dexcani el Alto, Jilotepec, de tal manera que este capítulo también considera mencionar aspectos propios de las laderas pues es la unidad geomorfológica en la que se tomaron los perfiles del suelo.

## 2.6 Laderas

### 2.6.1 Origen de las laderas

El tema general de este apartado es reconocer como las características del relieve: la forma del terreno, altitud, pendiente, exposición (orientación cardinal) y demás particularidades de la geoforma a estudiar (Brady y Weil, 2009), influyen en el desarrollo del suelo, la humedad del perfil, textura, infiltración, desarrollo de vegetación, procesos de erosión, temperatura, entre otras características del perfil del suelo (Foth, 2008), centrándose especialmente en abordar temas relacionados con las laderas, dado que el sitio geográfico en el cual se desarrolla el presente trabajo de investigación muestra este tipo de geoforma, además se incluye la mención de los movimientos de masa, pues es uno de los factores importantes en la “transformación y evolución del relieve” (Gutiérrez, 2008).

Aquí se retoman los términos relacionados con la geomorfología pues es la rama de la geografía que tiene como objeto de estudio las distintas formas del relieve siendo ejemplo de ellas: mesetas, llanuras, montañas, lomeríos incluyendo el estudio de las laderas, a continuación, algunas geoformas se describen de acuerdo a Ortiz (2005) de la siguiente manera:

- Meseta. Planicie extensa situada a considerable altura sobre el nivel del mar.
- Cantil. Sitio o lugar que forma escalón en la costa o en el fondo del mar.
- Declive. Pendiente, cuesta o inclinación del terreno en general.
- Ladera. Declive (particular) ubicado en un monte o en otra formación elevada
- Cresta. Cumbre de agudos peñascos en montañas o formaciones montañosas.
- Depresión. Es una concavidad en un terreno; es un término para designar la zona del relieve situada a un nivel inferior que la superficie vecina.

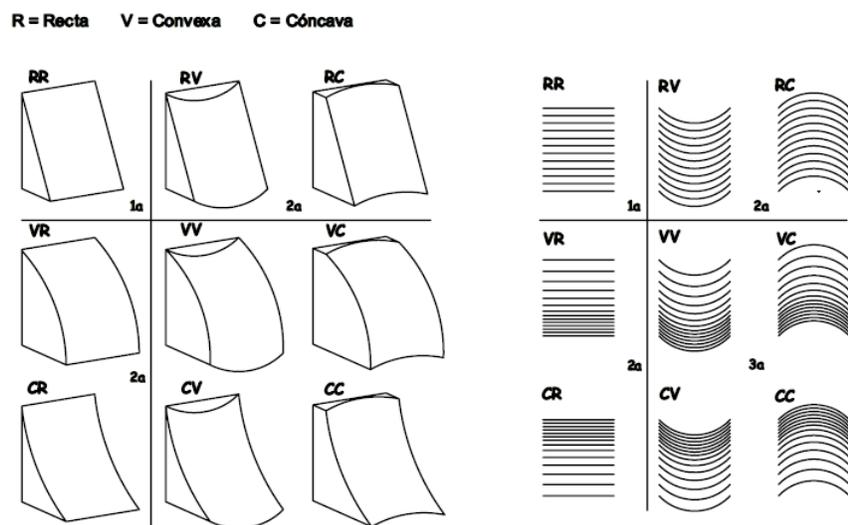
Se comienza con mencionar que para la formación de las diferentes grafías del relieve se requiere de la interacción de fuerzas endógenas y exógenas, entre los fenómenos incluidos para el primer caso se encuentran los procesos tectónicos originados de la energía geotérmica mientras que para el segundo los fenómenos que modelan o cambian el relieve ejemplo de ellos la meteorización y edafogénesis, en donde se incluyen el deslizamiento de los materiales por la acción de la gravedad (Sanjaume, 1999; Gutiérrez – Elorza, 2008), los procesos antes

mencionados afectaran a los dos tipos de materiales que conforman a la ladera: rocas y suelos, los cuales al tener propiedades mecánicas distintas y evolucionar de diferente manera darán lugar a una forma particular de la ladera.

### 2.6.2 Clasificación de las laderas

Tener conocimiento sobre las particularidades de la ladera permite la caracterización de la misma, adscribiéndola a una o varias formas geométricas elementales (Gutiérrez, 2008), a su vez menciona nueve posibles formas de ladera, las cuales se derivaban de las diferentes combinaciones de las formas convexas, cóncavas y rectas (Ver Imagen 2), sin embargo existen otras maneras de clasificarlas de acuerdo a Llorente (2002), teniendo como referencia algunas de las siguientes características: grado de inclinación, longitud, la forma del perfil y por su origen.

Imagen 2. Formas de laderas



Fuente: Apuntes de topografía para agrónomos (2008)

La forma de la ladera es un primer acercamiento para conocer sus características lo cual se ha complementado con otras propuestas para abordar su estudio entre las que está la de Strahler, (1984) que las clasifica de la siguiente manera: (1) Laderas de alta cohesión, tales como las constituidas por arcillas o por rocas masivas resistentes como el granito, tienen ángulos entre 40°

y 50°, sufren deslizamientos y los cursos fluviales socavan la base de la ladera (2) Laderas de reposo, sus ángulos son de 30°- 35°; están constituidas por clastos gruesos, que están controlados por el ángulo de reposo con fragmentos de materiales muestran características similares a las laderas de valle (3) Laderas reducidas por lavado (*wash*) y reptación (la acción del agua y la reptación reduce la inclinación de la ladera por debajo del ángulo de reposo).

La clasificación anterior muestra como la inclinación de las vertientes afecta a los materiales que la conforman (suelos y rocas) e influyen en su desarrollo, por ejemplo las pendientes de montañas y colinas tienen suelos de poco espesor y son relativamente pobres, lo cual se refleja en su fertilidad, pues están expuestos al arrastre de materiales que lo forman incluyendo los nutrientes, teniendo como consecuencia que estén expuestos al deterioro y erosión (Quinto *et al.*, 2009), sin embargo no es la única pues otras características del relieve influyen en el desarrollo del suelo, su humedad y temperatura en función de la "inclinación (influirá en la intensidad calorífica de las radiaciones recibidas), orientación (que regulará el tiempo de incidencia de las radiaciones solares) y altitud (que influirá en los elementos climáticos generales)<sup>2</sup> a las que se suman:

- **Altitud.** Se relaciona con el clima dado que en lugares de baja elevación el clima tiende a ser cálido lo cual influye sobre la velocidad de reacción del suelo y a su vez en el intemperismo y la descomposición de la MO, contrario a lo que sucede en regiones con clima frío en donde la MO es mineralizada con menor rapidez y su acumulación es perceptible pues forma una capa sobre el suelo (humus), por lo que el desarrollo e intemperismo es más lento (Cajuste y Gutiérrez, 2011). La altitud también influye en las diferentes condiciones bioclimáticas presentes a lo largo de la sucesión de suelos en una ladera, los cuales intervienen en el desarrollo de la vegetación y de la actividad de los microorganismos, lo anterior es conocido como "secuencia altitudinal" (Krasilnikov *et al.*, 2007), el término anterior también hace referencia a que los "suelos varían de forma continua a lo largo de la pendiente mientras que se mantienen idénticos a lo largo de las curvas de nivel" (Llorente, 2002).

---

<sup>2</sup> El suelo: concepto y formación. Disponible en <http://edafologia.ugr.es/introeda/tema01/factform.htm> consultada 20 diciembre de 2012

- **Pendiente e inclinación.**

El grado de la pendiente se expresa en términos de porcentaje, el cual se refiere a:

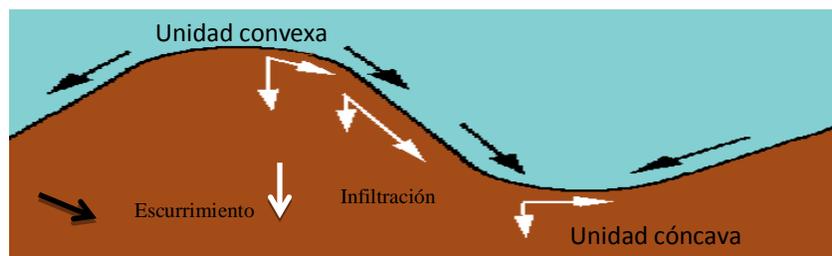
$$\% \text{pendiente} = (\tan \theta) \times 100$$

En donde  $\theta$  es el ángulo de inclinación del terreno

La pendiente influye sobre la transformación del material parental, por ejemplo, en las partes altas se tienen rocas o materiales de textura gruesa, mientras que en las partes bajas se encuentran texturas medias o finas debido al arrastre de materiales depositados o por los procesos de erosión (Levine, 2001), lo anterior se verá reflejado en la porosidad total y la capacidad de retención pues en texturas gruesas estas son menores y el tamaño de poros y la densidad aparente son más altas; en lo anterior influye el arrastre de las partículas del suelo con lo que se afectan propiedades como la infiltración del agua pues ésta se reduce y por lo tanto el escurrimiento del agua es mayor ocasionando un efecto erosivo más fuerte (Krasinikov *et al.*, 2007 y Ritter, 2000).

La forma topológica de la superficie tiene efectos sobre la humedad y drenaje del perfil de suelo, y por lo tanto en el desarrollo de vegetación, sea esta cóncava o convexa (Brady y Weil ,2009); por lo tanto es preciso hacer notar que existen cambios en la permeabilidad y que esta propiedad presenta desigualdades a lo largo de la ladera.

**Imagen 3. Circulación del agua en la unidad cóncava y convexa de la ladera**



Modificado de: El suelo: concepto y formación en <http://edafologia.ugr.es/introeda/tema01/factform.htm>

- **Longitud de pendiente.** Influye sobre el grado de erosión. “En terrenos con longitudes grandes el efecto erosivo es mayor, mientras que en las longitudes pequeñas el efecto erosivo sobre la superficie del terreno es menor” (Cajuste y Gutiérrez, 2011), lo anterior tiene que ver con la distancia de transporte de las partículas de suelo o de nutrimentos y con las zonas de deposición de los materiales.
- **Pendiente: exposición (orientación cardinal)**

La dirección desde la cual el terreno recibe los rayos del sol influye en el desarrollo de los suelos (Brady y Weil, 2009; Foth, 2008) y sobre el tipo de vegetación que sobre él se desarrolla.

En terrenos expuestos hacia el norte, la cantidad de calor generada por el sol es recibida por la superficie del suelo es menor (Duchaufour, 1970); como consecuencia, los ciclos de humedad y secado en el perfil son más largos que en terrenos expuestos hacia el sur (Galicía *et al.*, 1999), lo que a su vez se relaciona con la velocidad de los procesos en el suelo, pues como se mencionó anteriormente a temperaturas bajas estas reacciones son más lentas contrario a lo que sucede donde la temperatura es mayor (Scowcroft *et al.*, 2004).

En el caso particular de la ladera en estudio se menciona que está orientada hacia el Este, obteniendo la mayor captación de rayos durante el amanecer y disminuyen hacia el atardecer; en sitios donde existe escasa presencia de vegetación, los perfiles de suelo presentan poca humedad y presentan grietas, particularmente en el perfil 4 ubicado en la zona con pérdida de vegetación.

**Imagen 4. Captación de rayos solares y sus diferencias según la inclinación en la ladera**

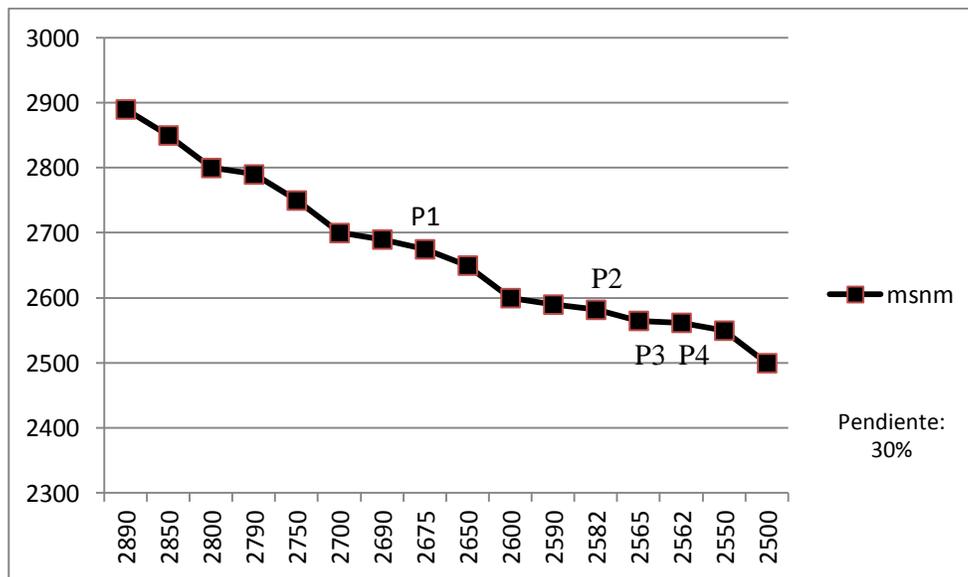


Fuente: El suelo: concepto y formación. Disponible en: <http://edafologia.ugr.es/introeda/tema01/factform.htm>. Consultada 14 de diciembre de 2012.

Sí las líneas anteriores se consideraran tal cual se expresan se espera que las muestras de los perfiles obtenidos en la ladera perteneciente al poblado de Dexcani muestren variaciones considerables entre un perfil y otro, siendo los ubicados en zonas más bajas los que tengan mayor profundidad y cantidad de nutrimentos comparado con los perfiles ubicados a mayor altitud dado que los primeros reciben los materiales de los suelos encontrados a mayor altitud y que son arrastrados por la precipitación, meteorización, erosión, movimiento de masas, etc., sin embargo aún tienen que sumarse aspectos como la cubierta vegetal que presenta y el uso al que ha sido destinado.

Continuando con los párrafos anteriores la inclusión de este tipo de grafía del relieve dentro del presente trabajo de investigación llevo a la realización del perfil de ladera en estudio, misma que se representa en la imagen 5.

Imagen 5. Perfil de ladera



Fuente: Elaboración propia con base a carta topográfica 1:50 000 Tepeji del Río de Ocampo E14A18

P1= Bosque de Encino P2= Bosque Secundario P3= Zona Agrícola y P4 = Zona con pérdida de vegetación

La imagen anterior tiene como objetivo dar a conocer un panorama general acerca del perfil de la ladera y la ubicación de los sitios de muestreo, de los cuales se obtuvieron los perfiles (P1, P2, P3 y P4) como se observa los perfiles 2 y 4 se encuentran en las partes cóncavas de la ladera, mientras que los perfiles 1 y 3 en la parte convexa, por lo que en primera instancia se pensaría

que los perfiles 2 y 4 serán más profundos pues se encuentran en una zona en la que se concentran las partículas arrastradas de la parte alta de la ladera, donde seguramente se encontrara mayor profundidad de raíces y de nutrimentos disponibles para las plantas, suelos permeables por lo que contribuyen a la buena captación de agua que es aportada a los niveles freáticos como conclusión se tiene que la ubicación de los suelos en la superficie terrestre determinan las funciones y usos potenciales que este recurso pueda tener (Siebe, *et al.*, 2006).

También han de considerarse los movimientos de masa y deslizamientos que se puedan presentar en una ladera, la cual influye en el desarrollo del suelo por el arrastre de partículas, las cuales según su frecuencia, escala e intensidad pueden ser un factor de riesgo o amenaza para las poblaciones aledañas, la cual se acentúa cuando el suelo es desprovisto de vegetación, mismo que puede originar “desestabilización del material litológico, cambios en la composición mineralógica, textura y estructura del suelo, erosión, etc.” (Krasinikov *et al.*, 2007).

### **2.6.3 Movimientos de ladera**

A continuación se menciona una clasificación de los movimientos de ladera retomadas del trabajo de investigación de Jiménez- Perálvarez titulado: “Análisis de la susceptibilidad a los movimientos de ladera mediante un SIG en la Cuenca vertiente al Embalse de Rules”, y del libro de Geomorfología de Gutiérrez- Elorza (2008).

Es fundamental hacer mención del término deslizamiento, Cruden (1991), menciona que es “el movimiento de una masa de rocas, detritos o tierras (suelos) hacia debajo de una ladera” actualmente esta palabra también hace alusión a otros tipos de movimientos como lo son: caídas, vuelcos o flujos.

En este mismo término se hace una división acerca de los deslizamientos según los movimientos que presenten a continuación se mencionaran algunos:

- 1) Deslizamientos rotacionales (*slumps*) “Son movimientos alrededor de un eje que es paralelo a las curvas de nivel de la ladera, que implica un desplazamiento a lo largo de una superficie cóncava, que es visible o puede reconocerse sin dificultad” (Varnes, 1974).

En esta misma clasificación se encuentran a los deslizamientos rotacionales múltiples las cuales se originan por dos o más unidades de deslizamientos.

2) Deslizamientos traslacionales. Se producen a partir de movimientos de rocas, detritos y suelos las cuales tienen una dirección hacia afuera y abajo, “a lo largo de una superficie más o menos plana o ligeramente ondulada y la componente rotacional es mínima” (Varnes, 1978).

3) 2.1) Deslizamientos rocosos (*rock slides*) “son típicos de laderas de montaña o de afloramientos rocosos en los que el ángulo de los planos de discontinuidad de las rocas es aproximadamente igual al de la ladera” (Varnes, 1978).

2.2) Desplazamientos de suelo también llamados *deslizamientos en placas (slab slide)* (Ibsen *et al.*, 1996b citado por Gutiérrez, 2008.) Son frecuentes en suelos meteorizados, sobre todo los regolitos de arcillas.

2.3) Deslizamientos de detritos (*debris slide* son rotur) son roturas en material no consolidado que en su avance se rompe en pequeñas partes (Varnes, 1978 y Hutchinson, 1988).

Cabe aclarar que en la zona de estudio no se han identificado alguno de los movimientos de ladera, antes mencionados, sólo hay presencia de arrastre de suelo, sin embargo es importante conocer cuales existen y sus características pues el conocimiento sobre ellas, ayuda a proponer acciones que las prevengan y minimicen los riesgos.

# CAPÍTULO

# 3

**Caracterización físico-  
geográfica**

### **Caracterización físico-geográfica**

El objetivo de este apartado es describir las características del medio biofísico que interactúan e influyen en las unidades edafológicas del área de estudio, pues como menciona Jenny (1941) el suelo incluye aspectos ambientales para su formación, como se establece en la ecuación del mismo nombre donde definió simbólicamente al suelo =  $f(c, o, r, p, t)$ ; donde  $c$ , representa al clima,  $p$  representa el material original,  $o$  representa los organismos en el suelo,  $t$  representa el tiempo y  $r$  representa la topografía, esta ecuación es la que actualmente se considera para la descripción de los suelos ya que conocer los factores formadores del suelo nos permite entender con mayor claridad cómo es que la alteración en uno de ellos también lo afectará.

Para realizar este apartado se consultaron algunos datos de INEGI<sup>3</sup> a través de las herramientas como el mapa digital de México visualizador 5.04, Simulador de flujos de agua de cuencas hidrográficas (SIATL)<sup>5</sup> e información estadística de población<sup>6</sup> alrededor de la zona, principalmente de la comunidad de Dexcani Alto.

El municipio de Jilotepec se encuentra entre, los paralelos 19° 51' y 20° 11' de latitud norte; los meridianos 99° 25' y 99° 44' de longitud oeste y una altitud entre 2 200 y 2 500 m. colinda al norte con el municipio de Polotitlán, el estado de Hidalgo, al este con el municipio de Soyaniquilpan de Juárez; al sur con los municipios de Timilpan y Chapa de Mota, al oeste con el municipio de Aculco lo anterior de acuerdo al Prontuario de Información Geográfica municipal de los Estados Unidos Mexicanos Jilotepec, México Clave geoestadística, 2009 (Ver Mapa 1 y 1.1), en el primero en el contexto municipal y el segundo la ubicación a detalle de los puntos de muestreo.

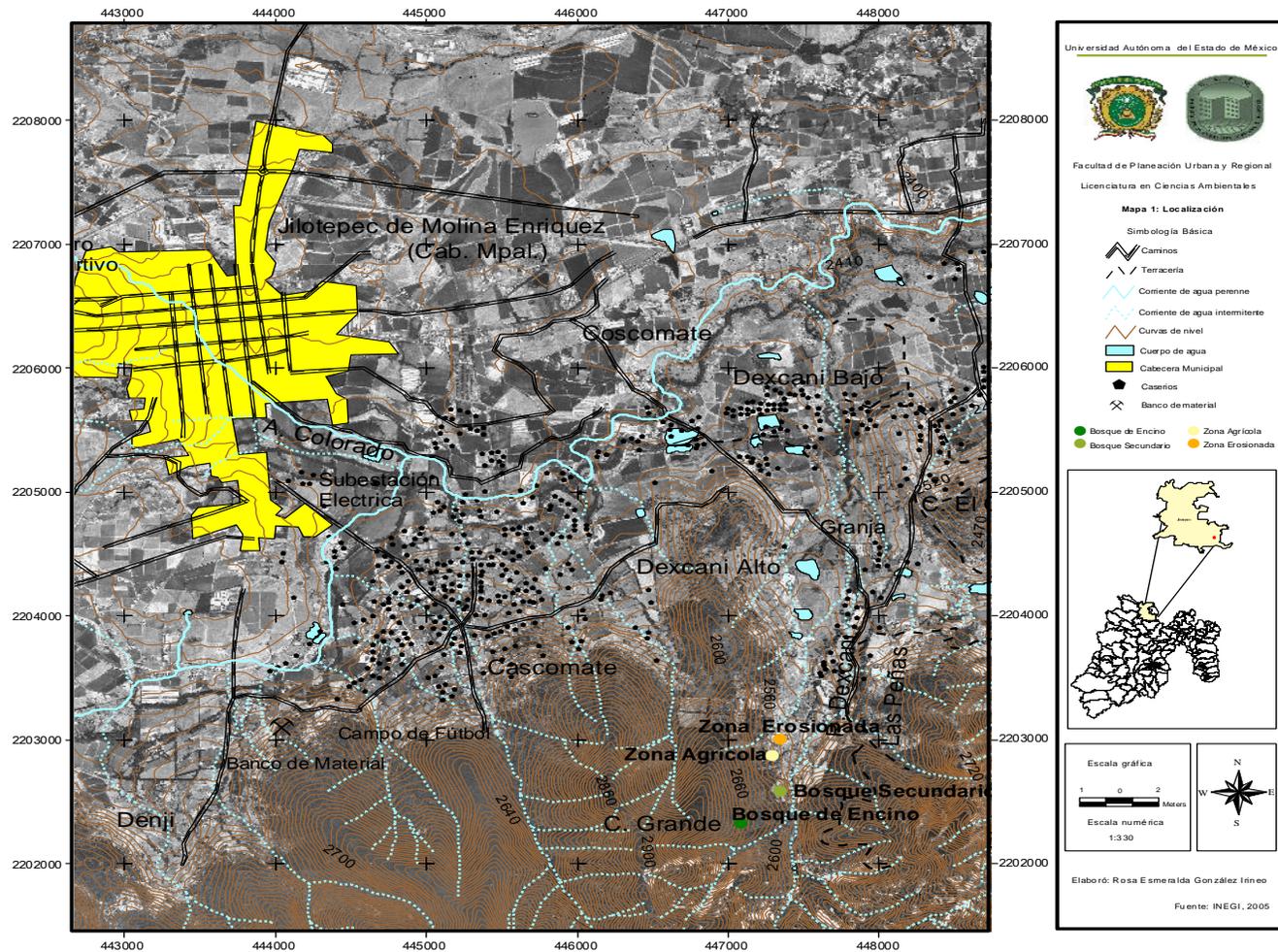
---

3 <http://gaia.inegi.org.mx/mdm5/viewer.html>

4 [http://antares.inegi.org.mx/analisis/red\\_hidro/SIATL/](http://antares.inegi.org.mx/analisis/red_hidro/SIATL/)

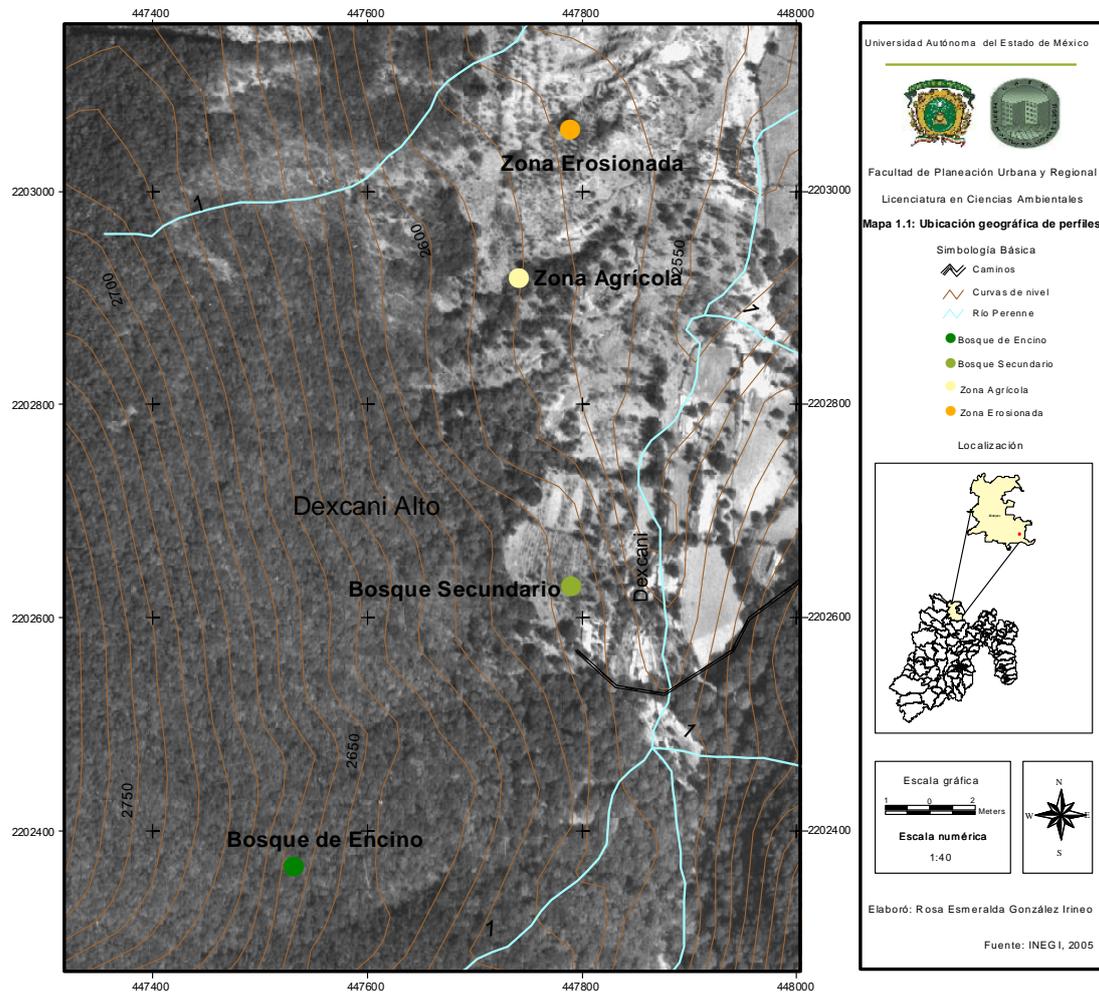
5 <http://www.inegi.org.mx/est/contenidos/Proyectos/ccpv/default.aspx>

Mapa 1. Ubicación geográfica del sitio de estudio contexto municipal



Fuente: Elaboración propia con base a INEGI, 2005

Mapa 1.1. Ubicación geográfica de los perfiles



Fuente: Elaboración propia con base a INEGI, 2005

### 3.1 Fisiografía, Topografía y relieve

El municipio de Jilotepec, dentro del cual se localiza la zona de estudio se encuentra circundado por el Eje Neovolcánico, Llanuras y Sierras de Querétaro e Hidalgo y Lagos y Volcanes de Anáhuac al mismo tiempo posee otro tipo de topografías como lomeríos de basalto, sierra compleja, vaso lacustre con lomerío, los datos anteriores se complementan con lo señalado en el Programa de Ordenamiento Ecológico del Territorio del Estado de México (actualización, 2006) el cual menciona que también se presentan planicies interiores, piedemonte con pastizal y matorral xerófilo, lomeríos y sierras con bosques de coníferas, encinos y mixto; la importancia de mencionar características del relieve dentro de este estudio se debe a las variaciones que pueden presentarse según la topografía encontrada.

### 3.2 Litología

El material rocoso erosionado es importante dentro de la formación del suelo pues proporciona los elementos necesarios para el crecimiento vegetal y forma la fase sólida o esqueleto del suelo (Harold y Hocker, 1984) dentro de estas rocas se encuentran las rocas ígneas, sedimentarias y metamórficas; en este tenor este apartado de la caracterización físico-geográfica pretende dar a conocer la litología de la zona de estudio para este caso de roca ígnea extrusiva.

### 3.3 Geología

Esta localidad y ladera forman parte de la Sierra de las Cruces (SC), con alineamiento al Este del Eje Transversal Mexicano. La SC se orienta en el sentido NNW-SSE y está conformada por extensos derrames de lava y domos de composición andesítico-dacítica y afinidad calcialcalina (Martínez, 2003). Se alternan con flujos piroclásticos de bloques y cenizas, flujos de pómez, oleadas piroclásticas, depósitos de caída, flujos de detritos y lodo, así como repetidos colapsos que originaron depósitos de avalanchas de escombros. En conjunto, estas rocas están asociadas a depósitos clásticos y depósitos sedimentarios fluviales y lacustres, las rocas volcánicas y sedimentarias tienen una edad cuaternaria que varía del Pleistoceno al Holoceno y forman parte de la Provincia Volcánica Calcoalcina (Martínez, 2003). Las Peñas de Dexcani Alto se encuentran en el cerro el Gavilán conformado por brechas volcánicas mesetas.

### 3.4 Clima

De manera general en la zona de estudio encontramos las unidades climáticas: templado y frío, (Cwbg) ambos subhúmedos lo anterior está relacionado con la temperatura media anual y los milímetros de precipitación, siendo en promedio para el primer aspecto de 19°C y para el segundo de 700 mm, este último dato se obtuvo a partir del promedio de las isoyetas que convergen en la zona las cuales son de 600, 700 y 800 mm, éste dato influye en la humedad del suelo la cual oscila entre los 8 y 9 meses<sup>4</sup>.

El clima en el suelo influye en su temperatura, lo que a su vez incide en la actividad microbiana y en los procesos de descomposición de la MO, en clima templado, "el proceso característico es el empardecimiento acompañado de *mull*, con la condición de haber abundante arcilla y hierro libre activo. Este proceso puede ser modificado por influencia de la composición del material) o sustituido por un proceso diferente (Llorente, 2002).

### **3.5 Unidades Edafológicas**

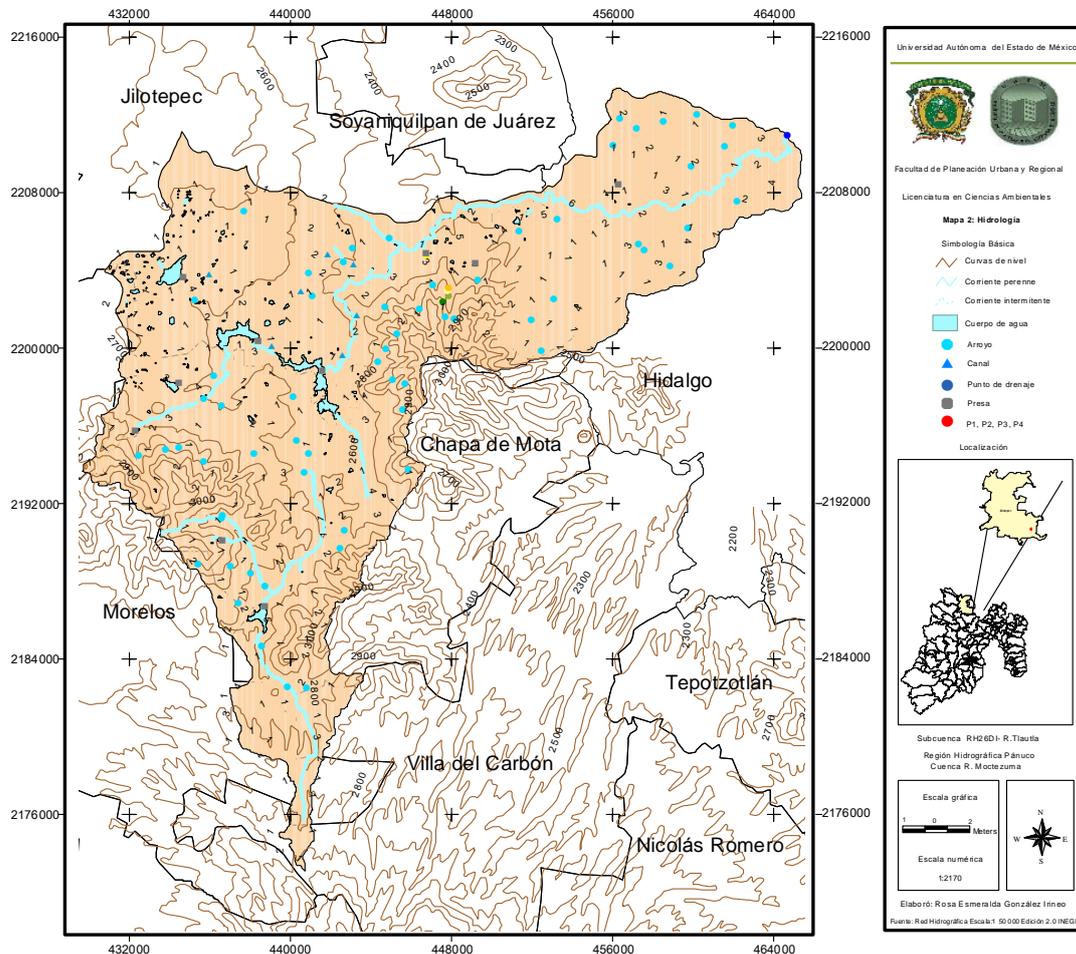
Las unidades edafológicas encontradas en el área de estudio corresponden al Andosol y Feozem ambos de textura media, el primero originado a partir de cenizas volcánicas y que casi siempre es relacionado con los bosques y manantiales dado que sus características fisicoquímicas le permiten tener cualidades de filtración y de buen enraizamiento de las especies forestales y otras especies arbustivas; para el segundo caso este suelo se origina de depósitos volcánico-clásticos y depósitos aluvio-columbiales; es oscuro con alto contenido de materia orgánica y profundos, a menudo se encuentran distribuidos en los climas templados y húmedos; en el estado de México se ubican en el Eje Neovolcánico Transversal y en algunas partes de la Sierra Madre Occidental (SEMARNAT,2005).

### **3.6 Hidrología**

Para la caracterización de este punto se tomó como referencia la subcuenca a la que pertenece el río principal, Dexcani, la cual es el la del río Tlautla, que a su vez pertenece a la cuenca del río Moctezuma y la Cuenca del Pánuco, la Subcuenca tiene asignada la clave RH26DI, un perímetro de 155.140 k y un área de 507.62 km<sup>2</sup>, para el caso de orden de corriente de acuerdo a la propuesta por Strahler en INEGI, 2010; es de 6 en cuanto a lo que se refiere al Río Dexcani, tiene un orden de corriente: 2 .

Se encuentra clasificada como una cuenca abierta que se refiere a que “es un área que se distingue por presentar la salida de sus aguas a otro sistema o al mar a través de ríos”, INEGI (2010).

Mapa 2.- Hidrología



Fuente: Elaboración propia con base a SIATL, INEGI 2010

### 3.7 Vegetación y uso de suelo

Para la formación y desarrollo de la vegetación se requiere de la sinergia de los elementos del medio biofísico que con anterioridad se han mencionado. En este apartado se realizó la descripción de la vegetación existente en el área de estudio, la relación que existe entre realizar esta revisión y el tema de la calidad del suelo se aborda a partir del argumento prescrito por Muñoz *et al.*, (2009): “la vegetación de los diversos ecosistemas ha sufrido cambios en distintas escalas geográficas los cuales repercuten de manera negativa en la fertilidad y productividad natural del suelo; por lo que se ha demostrado la importancia de la cubierta en la conservación de los suelos”.

La problemática de las alteraciones en la vegetación por inducir el cambio de uso de suelo, se presentan en el área de estudio, siendo objeto de investigación los suelos en donde se encuentran cuatro coberturas naturales las cuales son: bosque de encino, bosque secundario, zona agrícola con pastos y vegetación secundaria y con pérdida de vegetación (signos de erosión), lo anterior de acuerdo a lo observado en trabajo de campo y la consulta del mapa digital de INEGI, debido a la presión ejercida por los asentamientos humanos ahí establecidos. Con ayuda de la tabla 3.1 se hace una descripción general de la vegetación a escala municipal.

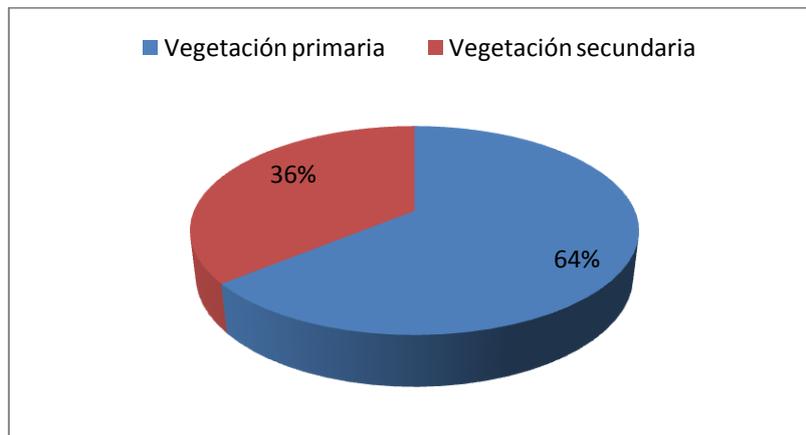
**Tabla 3.1 Tipo y estado de la vegetación**

Municipio	Vegetación/ Descripción	Grupo de vegetación	Tipo de vegetación	Desarrollo de la Vegetación	Fase de la vegetación Secundaria
<b>Jilotepec</b>	Bosque de Encino (BQ)	Bosque de Encino	Bosque de encino	Primario	Ninguno
	Bosque de Pino (BP/VSa)	Bosque de Pino	Bosque de Pino	Secundario	Arbustiva
	Bosque de Encino – Pino (BQP)	Bosque de Encino	Bosque de Encino – Pino	Primario	Ninguno
	Bosque de Oyamel (BA)	Bosque de Coníferas	Bosque de Oyamel	Secundaria	Arbustiva
	Pastizal Inducido (PI)	Vegetación Inducida	Pastizal Inducido	No disponible	No disponible

Fuente: Elaboración propia con base a Simulador de flujos de agua de cuencas hidrográficas. INEGI. Consultado 27 mayo de 2012

El desarrollo de la vegetación para esta zona se ha visto perturbada, razón por la cual existe presencia de la sucesión secundaria, 36% de una superficie total de 44.03 km<sup>2</sup>, en los bosques de Pino y Oyamel si bien es cierto que la tabla 3.1 muestra que aún existe vegetación primaria que aparentemente no ha mostrado algún tipo de perturbación, es necesario seguir preservando esta cualidad para continuar con el equilibrio ecológico del bosque y de los otros recursos que interactúan con él, como lo son el agua y el suelo.

Gráfica 1. Superficie de bosque con vegetación secundaria

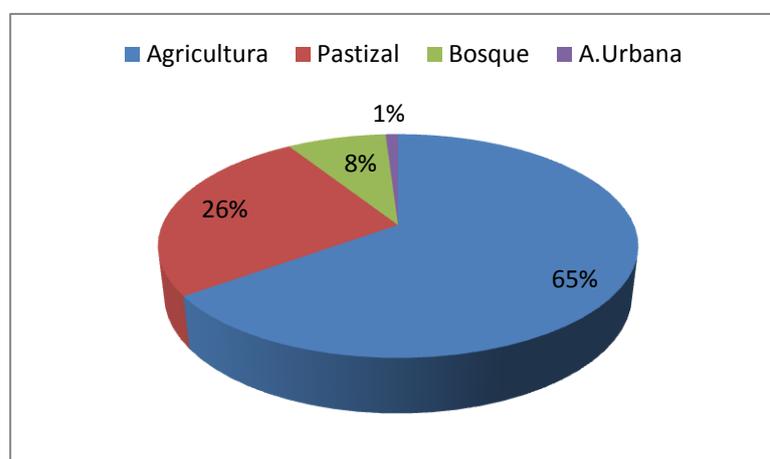


Fuente: Elaboración propia con base a México en cifras. INEGI. Consultado 27 mayo de /2012

El cambio de uso de suelo está relacionado con la vegetación ya que la de desarrollo primario ha sido en muchos casos retirada para abrir pastizales usados en las actividades agrícolas y pecuarias, construcción de infraestructura y crecimiento de la zona urbana.

Para la redacción de este apartado se realizó una revisión de las tres series de uso de suelo y vegetación<sup>4</sup>, a nivel municipal, con la intención de tener un panorama general acerca de los usos de suelo y de su tendencia, se observó el crecimiento de los pastizales y de los suelos agrícolas de temporal. La gráfica 2 ayuda a presentar esta situación, se hace la aclaración de que para su elaboración se consideró como referencia la superficie de 583.95 km<sup>2</sup>.

Gráfica 2. Usos de suelo y su proporción



Fuente: Elaboración propia con base a México en cifras. INEGI. Consultado 27 mayo de 2012

Los actuales usos de suelo referidos están relacionados con la presión que los núcleos agrarios y parcelas ejercen sobre el área boscosa de la zona de estudio, razón por la cual se han presentado diferentes escalas de perturbación en la masa arbórea, ya que en muchas ocasiones se hace uso de insumos externos perjudiciales como lo son los insecticidas y fertilizantes químicos.

La tenencia de la tierra es otro de los datos a conocer ya que ayuda a conocer la forma en la que la comunidad se organiza y toma decisiones sobre el manejo de sus recursos. Para el caso de la comunidad de Dexcaní, los comuneros están organizados de tal manera que puedan verse beneficiados por los pagos por servicios hidrológicos que el área percibe, aunado a los ingresos indirectos que se tienen por el turismo que visita el parque natural “Las Peñas”, sin embargo este dato también puede ayudar a incluir a los propietarios de las tierras en los programas de manejo contemplados a ejecutar en el área. Actualmente, el núcleo agrario de Santa Cruz Dexcani Alto, cuenta con una superficie de 1471.389 hectáreas divididas entre tierras agrícolas de temporal, bosques y agostaderos (INEGI, 2012).

### **3.8 Demografía**

A nivel municipal Jilotepec presenta un total de 356 localidades entre urbanas y rurales, dando un total de 83 755 habitantes de acuerdo al censo de población y vivienda del año 2010. Tomando en cuenta en ámbito de influencia de este estudio, la comunidad de Dexcani Alto es el centro de población más próximo.

Hacer referencia a estos datos se debe a que las tasas de crecimiento media anual podrían incrementarse en el área dando como resultado la presión ejercida sobre el suelo, ocasionando los cambios de uso y con ello la alteración de la vegetación y de las propiedades del suelo, además de incrementar la demanda sobre las reservas de suelo destinadas o contempladas para el establecimiento de asentamientos urbanos lo que conlleva a la construcción de infraestructura que comunique a los nuevos asentamientos con la cabecera municipal y otros servicios.

La localidad de Dexcani Alto ha presentado la siguiente dinámica poblacional la cual se muestra en las tasas de crecimiento presentadas entre los años 1990 y 2005.

**Tabla 3.2 Tasa de crecimiento media anual para “Dexcani Alto”**

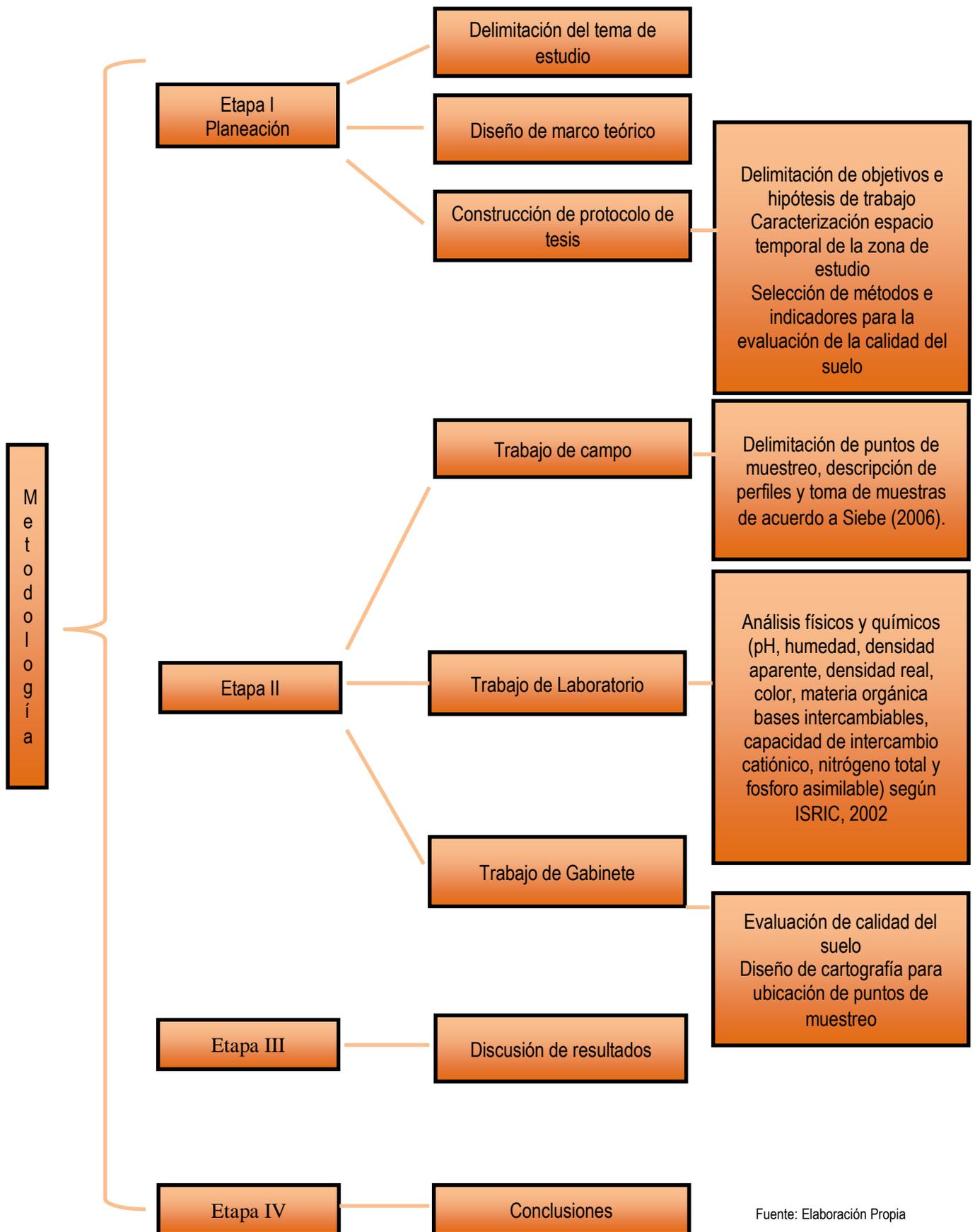
	Año	Población (Número de habitantes)	TCMA (Tasa de Crecimiento Media Anual)
Dexcani Alto	1990	260	
	1995	291	2.27
	2000	301	0.67
	2005	322	1.65

Fuente: Elaboración propia con base a Conteos de población y vivienda 1995 y 2005 y los Censos de población y vivienda 1990 y 2000.

# CAPÍTULO

# 4

## Metodología



La metodología a emplear en el presente trabajo de investigación es considerada de tipo semicuantitativa pues se incluyen datos recabados en campo, los cuales en el inicio muestran un panorama general acerca de las características del perfil de suelo, estos datos son susceptibles de ser mejorados en el sentido de ser más precisos, al ser procesados en el laboratorio

En el mismo se hará uso del manual de evaluación ecológica y de campo de suelos según Siebe *et al.*, (2006).

## **4.1 Materiales y Métodos**

### **4.1.1 Descripción de etapas y actividades**

#### **4.1.2 Etapa I**

Considerada la etapa de planeación, en ella se delimitó el tema de estudio partiendo de manera general del recurso suelo, para así llegar al tema específico de la calidad, paralelo a esto se seleccionó el área geográfica de estudio, la cual se caracterizó considerando variables como: clima, geología, pendientes, vegetación y uso de suelo.

Las actividades anteriores ayudaron a la conformación del protocolo de tesis y el diseño del marco teórico.

Dentro de la misma se realizó la selección de los parámetros para evaluar la calidad del suelo y de los métodos a ocupar en la segunda etapa.

#### **4.1.3 Etapa II**

##### **4.1.3.1 Trabajo de campo y puntos de muestreo**

En ella están consideradas tres actividades principales: trabajo de campo, trabajo de laboratorio y trabajo de gabinete.

La primera actividad incluye: descripción de perfiles, toma de muestras y su descripción; este último punto de acuerdo al manual para la descripción y evaluación ecológica de suelos en el campo Siebe *et al.* (2006), la recopilación de datos también contempló aspectos físicos y geográficos del lugar tales como coordenadas geográficas, clima, material parental, relieve (exposición: referir la orientación, pendiente y forma de la vertiente), vegetación y uso del suelo.

Previo al trabajo de campo se ubicaron los puntos de muestreo, para lo cual se utilizaron imágenes de Google Earth (2011), aquí se encontraron las áreas que presentaban diferente vegetación y uso de suelo, ellas fueron: bosque de encino natural, bosque de encino alterado con vegetación secundaria, zona agrícola (vegetación secundaria y pastos) y una zona con pérdida de vegetación (presencia de erosión).

Se buscó que los sitios de muestreo mantuvieran la misma orientación, hacia el Este y recabar los datos que influyen sobre las particularidades de cada perfil de suelo, una de ellas la pendiente de cada uno a lo largo de la ladera.

Los puntos de muestreo fueron realizados en la ladera (Este) de Cerro grande en la comunidad de Dexcani Alto, en el municipio de Jilotepec, donde se tomó un perfil por cada tipo de cobertura vegetal y uso de suelo (suelo forestal, suelo agrícola y un suelo con pérdida de cubierta vegetal). En cada punto de muestreo se tomó aproximadamente 1kg de suelo de cada uno de los horizontes que conforman al perfil, el número de estos varió dependiendo de la profundidad del perfil de suelo; se describieron sus características: profundidad, color, estructura, humedad, pH, pedregosidad, poros, densidad aparente, profundidad y densidad de raíces, con ayuda del formato de hoja de campo, de Siebe *et al.*, 2006; las muestras se depositaron en una bolsa de plástico y fueron llevadas a laboratorio, para su posterior análisis. (Descripción de perfiles en campo Anexos: 1, 2, 3 y 4).

En total fueron 4 los perfiles realizados y 16 los horizontes tomados como muestras.

#### **4.1.3.2 Caracterización de las muestras**

En laboratorio, aproximadamente  $\frac{1}{2}$  kg de las muestras fueron puestas a secar y se tamizaron con malla de 2 mm de amplitud para los análisis fisicoquímicos, posteriormente se realizaron los análisis de parámetros como: pH, humedad, densidad aparente, densidad real, color, BI, CIC, N total y P asimilable y MO de acuerdo a ISRIC (2002). Los parámetros y la metodología utilizada para su realización se resumen en la tabla 4.1.

**Tabla 4.1. Metodologías para análisis físicos y químicos**

<b>Parámetros Físicos</b>	<b>Método</b>	<b>Parámetros Químicos</b>	<b>Método</b>
Humedad	Baver, (1973)	pH	Black, (1965)
Densidad aparente	Beaver,(1963)	Bases intercambiables	Jackson,(1982)
Densidad real	Beaver,(1963)	Capacidad de intercambio catiónico	Jackson,(1982)
Color	Munsell, (1994)	Nitrógeno total	Semi-micro Kjeldahl modificado por Bremer (1965)
		Fosforo asimilable	Bray and Kurtz ,(1945)
		Carbono orgánico	Walkley –Black,(1947)

Fuente: Elaboración propia con base a ISRIC, 2002.

Los datos cuantitativos de las propiedades antes referidas se compararon entre los cuatro perfiles con la finalidad de conocer cómo es que cada uso de suelo y vegetación ha propiciado cambios en las propiedades y por ende en las funciones del suelo.

#### **4.1.3.3 Variables de medición:**

Las variables consideradas para la presente investigación son las siguientes:

##### **a) Variables independientes**

- Tres usos de suelo y de coberturas: forestal, agrícola y suelo con pérdida de vegetación.
- La ladera Este del cerro de la comunidad de Dexcani Alto.

##### **b) Variables dependientes**

- Propiedades fisicoquímicas.
- Calidad del suelo (funciones ecológicas).

## Trabajo de Gabinete

En esta etapa se realizó la recolección de la información obtenida en campo y de los análisis de laboratorio mediante el formato anexo del manual para la descripción de suelos de Siebe *et al.* (2006). Una vez registrados los datos en el formato anterior (primera parte del cuadro) se procedió a obtener la evaluación ecológica tomando como referentes los datos aportados por el mismo manual páginas 33 a 47.

La elaboración de cartografía está incluida en esta fase la cual se limitó a unos cuantos mapas para la ubicación de los puntos de muestreo y la exposición de los tipos de vegetación, así como uno que presentara el contexto municipal al que la zona de estudio está sujeto.

Para facilitar el entendimiento acerca de cómo se obtuvieron los datos para las propiedades evaluadas para la calidad del suelo se hace una división de las dos partes del trabajo que considera este formato.

1.- La primera parte del formato nombrada "levantamiento en campo" se refiere en primera instancia a los datos provistos en campo, sin embargo estos se obtienen con mayor detalle y precisión en el laboratorio siendo entre ellos materia orgánica, pH, color, densidad real y aparente, etc., este apartado también considera los aspectos físico-geográficos del área de donde se sacó el perfil entre ellos están: pendiente y su ubicación en el relieve (Ver Anexo 6).

Las claves correspondientes a cada tipo de textura se explican en la tabla 4.2.

**Tabla 4.2 Claves de textura**

Clave	Textura	Clave	Textura
A	arenosa	CRA	Franco arcillo arenosa
AC	Arenosa franca	CLf	Franco limosa fina
CA	Franco Arenosa	CRL	Franco arcillo-limosa
L	Limosa	CR	Franco Arcillosa
CLg	Franco limosa gruesa	R	Arcillosa
C	Franca	RA	Arcillo arenosa
		RL	Arcillo Limosa

Fuente: Modificado de Siebe *et al.*, 2006. Manual para la descripción y evaluación ecológica de suelos en el campo

2.- La segunda parte del formato se refiere a la evaluación ecológica en donde se hace una evaluación en términos cuantitativos de las funciones del suelo entre las que se encuentran en términos generales: profundidad de desarrollo, profundidad fisiológica, penetrabilidad de raíces, porosidad y retención de agua, determinación del balance hídrico y de la distribución de los poros, Evaluación del Espacio Poroso Total (VPT), Evaluación de la Capacidad de Aireación (CA), evaluación de la Capacidad de Agua Disponible (dCC), evaluación de la Capacidad de Campo (CC), evaluación del balance de nutrimentos, Capacidad de Intercambio Catiónico (CIC), Bases intercambiables, Abastecimiento de Nitrógeno, Abastecimiento de Fósforo (Ver Anexo 5).

Se hace una explicación acerca de la segunda parte del formato, comenzando de la columna izquierda hacia la derecha:

1.- Espesor: es la diferencia en decímetros (dm) de cada uno de los horizontes del perfil, por ejemplo para el horizonte A1, que tiene una profundidad en cm de 0 a 18 (18 cm), la cual se transforma a decímetros al dividir 18/10 que da como resultado 1.8.

2.- Penetrabilidad de raíces. Está relacionado con la densidad aparente (D.A), por lo que estos valores se retoman de la primera parte del cuadro, para su evaluación se consideran los valores encontrados en la tabla 4.3 Densidad Aparente, se hace la aclaración de que la evaluación otorgada a la densidad aparente estará en función de la textura que el horizonte presente.

**Tabla 4.3 Densidad Aparente (g/cm<sup>3</sup>)**

Arenas y limos	Francos	Arcillosos	Evaluación
>1.9	>1.8	>1.6	alta
1.8	1.6	1.4	mediana
1.6	1.4	1.2	baja
1.4	1.2	1.0	
1.2	<1.0	-	

Fuente: Modificado de Siebe *et al.*, 2006. Manual para la descripción y evaluación ecológica de suelos en el campo

Por lo que a este horizonte corresponde de acuerdo a su textura y valor de D. A (0.8 g/cm<sup>3</sup>) la evaluación de baja.

3.- Volumen Poroso Total (VPT) está relacionado con la determinación del balance hídrico y la distribución de los poros, al igual que dCC y CA puede inferirse a partir de la textura de cada horizonte con la tabla 4.4 que se presentan a continuación (Krahmer *et al.*, 1995 citado por

Siebe, 2006). Ya que el contenido de materia orgánica y la densidad aparente también influyen sobre la distribución de los poros, deben hacerse correcciones correspondientes. Los valores de corrección para contenidos altos de materia orgánica se leen en el segundo cuadro” Siebe, *et al.*, 2006).

**Tabla 4.4 Valores para VPT, CA, dCC y CC**

Textura	VPT (Vol. %)			CA (Vol. %)			dCC (Vol. %)			CC (Vol. %)		
	Densidad aparente			Densidad aparente			Densidad aparente			Densidad aparente		
	b	m	a	b	m	a	b	m	a	b	m	a
Ag	44	38		24	19		17	16		20	19	
Am	42	36		28	25		9	8		14	11	
A f	44	34		18	10		22	20		26	24	
A	46	38	34	24	22	19	16	11	11	22	16	15
AC	45	39	33	18	16	12	20	16	14	28	23	21
CA	45	38	32	11	9	7	24	20	17	34	29	25
L	49	42		8	5		28	26		41	37	
CL	50	41	36	9	7	4	27	24	21	41	34	32
C	48	40	33	8	7	5	20	15	13	40	33	28
CRA	49	41	34	4	3	3	15	12	10	45	37	31
CRL	49	42	36	7	6	4	20	16	14	42	36	32
CR	50	42	36	5	4	3	16	12	9	45	38	33
R	57	45		3	3		16	12		54	42	
RA	50	42	35	5	4	3	16	12	9	45	38	32
RL	52	43	37	4	4	3	15	11	7	48	39	34

Fuente: Siebe et al., 2006. Manual para la descripción y evaluación ecológica de suelos en el campo

VPT: Volumen Total de Poros

CA: Capacidad de Aireación

dCC: Capacidad de retención de agua

CC: Capacidad de campo

Densidad aparente

b: baja

m: media

a: alta

Textura arenosa

g: gruesa (2-0.63 mm)

m: mediana (0.63-0.2mm)

f: fina (0.2-0.06mm)

Para VPT continuando con el ejemplo del perfil 1, se toma primero la columna de textura, para este caso es CR (Franco Arcillosa) y se interseca con el valor de la densidad aparente para este caso considerada como baja, así se encuentra con un valor de 50 (columna sombreada), como ya se había mencionado a los valores altos en contenidos de materia orgánica y de arcilla se le aplica un factor de corrección los cuales serán presentados en la Tabla 4.5 Factores de corrección para contenidos altos de materia orgánica.

Tabla 4.5 Factores de corrección para contenidos altos de Materia Orgánica (MO).

Arcilla %	M.O %	VPT	CA (Vol. %)	dCC	CC	Arcilla %	M.O %	VPT	CA (Vol. %)	dCC	CC
<5	1-2	0	-1.5	+0.5	+1.5	15-35	1-2	+3	+0.5	+0.5	+2.5
	2-4	+2.5	-1	+1	+3.5		2-4	+5.5	+1.5	+1.5	+4
	4-8	+6.5	-1	+3	+7.5		4-8	+13	+3	+4	+10
	8-15	+10	0	+3.5	+10		8-15	+19	+5	+7	+14
5-12	1-2	+1.5	0	+0.5	+1.5	35-65	1-2	+3	+0.5	+1	+2.5
	2-4	+4.5	+1	+1.0	+3.5		2-4	+6.5	+1.5	+2.5	+5
	4-8	+10	+2	+3.0	+8		4-8	+13.5	+2.5	+5.5	+11
	8-15	+14.5	2.5	+4.0	+12		8-15	+19.5	+4.5	+10	+15
12-17	1-2	+2	+0.5	+0.5	+1.5	>65	1-2	+3.5	0	+2	+3.5
	2-4	+5	+1.5	+1	+3.5		2-4	+7.5	0	+5	+7.5
	4-8	+11.5	+2.5	+3.5	+9		4-8	+14	+1	+11	+13
	8-15	+17.5	+5.5	+4.5	+12		8-15	+20	+2	+16	+18

Fuente: Siebe et al., 2006. Manual para la descripción y evaluación ecológica de suelos en el campo

Entonces de acuerdo a los valores presentados en la tabla 3.4 y de las características del perfil se tiene un contenido de arcilla de 34 % la cual se encuentra entre los valores de entre 17-35 % de arcilla, una vez ubicado dentro de la columna que corresponde al valor, se ubica el porcentaje de materia orgánica para este caso es de un 5.8 %, el valor de corrección para VPT, CA, dCC y CC son: +13,+3,+4,+10 respectivamente, lo cual indica que al valor inicial de 50 para el caso de VPT se le sumaran 13 unidades, dando como resultado final 63 % de volumen total de poros y así sucesivamente con CA, dCC y CC, lo anterior se explica con la Tabla 4.6 Valores iniciales más factores de corrección.

Tabla 4.6 Valores iniciales más factores de corrección

Textura	VPT (Vol. %)			CA (Vol. %)			dCC (Vol. %)			CC (Vol. %)		
	Densidad aparente			Densidad aparente			Densidad aparente			Densidad aparente		
	Valor inicial	Factor de corrección	Resultado	Valor inicial	Factor de corrección	Resultado	Valor inicial	Factor de corrección	Resultado	Valor inicial	Factor de corrección	Resultado
CR	50	+13	63	5	+3	8	16	+4	20	45	+10	55

Fuente: Elaboración propia con base a Siebe et al., 2006. Manual para la descripción y evaluación ecológica de suelos en el campo

Para asignar la evaluación se toman los valores de las siguientes tablas: 4.6 y 4.7, las columnas sombreadas son los valores asignados para esta función del suelo.

**Tabla 4.7 Evaluación del espacio poroso total (VPT)**

VPT (Vol%)	<30	40	50	60>	
Evaluación	muy bajo	bajo	mediano	alto	muy alto

Fuente: Siebe *et al.*, 2006. Manual para la descripción y evaluación ecológica de suelos en el campo

**Tabla 4.8 Evaluación de la capacidad de aireación (CA)**

CA (Vol%)	<2	5	13	26>	
Evaluación	muy baja	baja	mediana	alta	muy alta
Ejemplos	Horizontes Cg, Bg	Horizontes Cw, Bt	Horizontes Bw	Horizontes Ah	Horizontes Ap

Fuente: Siebe *et al.*, 2006. Manual para la descripción y evaluación ecológica de suelos en el campo. Modificado por Alvarez (2008)

Para realizar la evaluación de la capacidad de agua disponible (dCC) y la de la capacidad de campo (CC), primero se tiene que realizar una transformación de unidades de medida, es decir de volumen (V%) a L/m<sup>2</sup> (Siebe *et al.*, 2006), utilizando la fórmula 1:

**Fórmula 1: (100-%Vol. piedras/100)**

La expresión anterior considera las gravas y piedras pues ellas reducen el espacio poroso.

En el primer horizonte la fórmula antes prescrita quedaría de la siguiente manera:

$$(100-2/100)=.98$$

Donde .98 resultado de restarle a 100 el volumen de piedras el cual es de 2%

Una vez obtenido este valor se “debe multiplicar con el respectivo espesor del horizonte (en dm) para obtener L/m<sup>2</sup>” (Siebe *et al.*, 2006). Se aplica la fórmula:

**Fórmula 2: dCC (L/m<sup>2</sup>)= dCC(Vol.%)\* ((100- Piedras (Vol. %) /100)\* espesor (dm))**

Entonces:

$$dCC (L/m^2) = (20) (.98) (1.8) = 35.28$$

Dónde:

20 es igual al valor adquirido en dCC después del factor de corrección

1.8 es igual al espesor del horizonte en dm

Después de haber aplicado la fórmula para cada uno de los horizontes se debe hacer una suma de los valores y obtener la evaluación para todo el perfil, para este ejemplo se tiene una sumatoria total de 113.3 L/m<sup>2</sup> para concluir con la evaluación se prosigue a identificar los valores en la tabla 4.9.

La columna sombreada es el valor recibido para esta función del suelo, en el perfil 1: horizonte A1.

**Tabla 4.9 Evaluación de la capacidad de agua disponible en el espacio radicular efectivo**

dCC (L/m <sup>2</sup> )	<50	90	140	200 <	270	
Evaluación	muy baja	baja	mediana	alta	muy alta	extremadamente alta

Fuente: Siebe et al., 2006. Manual para la descripción y evaluación ecológica de suelos en el campo. Modificado por Álvarez (2008)

Para la evaluación de capacidad de campo se vuelven a considerar las fórmulas 1 y 2, en la fórmula 1, no hay cambios pues el volumen de piedras en el horizonte A1 sigue siendo el mismo 2%, mientras que para la fórmula 2 se presentan las siguientes diferencias:

$$CC (L/m^2) = (55) (.98) (1.8) = 97.02$$

Dónde:

55 es igual al valor adquirido en CC después del factor de corrección

1.8 es igual al espesor del horizonte en dm

Al igual que en dCC, las dos fórmulas deben aplicarse a todo el perfil, para lo cual en CC se obtiene una suma 333.2 L/m<sup>2</sup> este valor se identifica en la tabla 4.10 para completar la evaluación:

**Tabla 4.10 Evaluación de la capacidad de campo (CC)**

CC (L/m <sup>2</sup> )	<130	260	390	520>	
Evaluación	muy baja	baja	mediana	alta	muy alta

Fuente: Siebe *et al.*, 2006. Manual para la descripción y evaluación ecológica de suelos en el campo

4.- Kf se refiere a la evaluación de la conductividad hidráulica bajo condiciones de saturación

“La conductividad hidráulica del suelo es una propiedad física que lo capacita para transmitir agua o aire. Se puede medir cuantitativamente en términos de velocidad de paso de agua a través de una unidad de sección transversal de suelo saturado en una unidad de tiempo bajo condiciones hidráulicas y de temperatura específicas” Siebe *et al.*, (2006), considerando los valores de la tabla 4.11.

**Tabla 4.11 Conductividad hidráulica bajo condiciones de saturación**

Textura	Densidad aparente		
	baja	mediana	alta
	Conductividad hidráulica (Kf)(cm/día)		
Arena gruesa	> 300	> 300	100-300
Arena media	> 100	100>	40-100
Arena fina	100-300	40-100	10-40
CA	40-100	10-40	1-10
AC,CRA	100-300	40-100	10-40
L,CL	40-100	10-40	<1-10
C	100-300	10-100	< 1-10
CRL	40-100	10-40	< 1-10
CR,RA,RL,R	40-300	10-40	< 1-10

Fuente: Siebe *et al.*, 2006. Manual para la descripción y evaluación ecológica de suelos en el campo

Para el presente horizonte le corresponde según a la textura y densidad aparente que presenta un valor de conductividad hidráulica de 40-100, lo cual significa según con la tabla 4.11 una evaluación de muy alta, para obtener esta evaluación en los siguientes horizontes se identifica la textura y densidad aparente de cada uno de ellos y se realiza la evaluación.

#### 4.12 Evaluación de la conductividad hidráulica

Kf (cm/día)	<1	10	40	100	300>	
evaluación	muy baja	baja	mediana	alta	muy alta	extremadamente alta

Fuente: Siebe *et al.*, 2006. Manual para la descripción y evaluación ecológica de suelos en el campo

5.- Drenaje natural “se refiere a la frecuencia y duración de períodos húmedos en el sitio o localidad a estudiar” Siebe *et al.*, 2006. La tabla 4.13 describe algunas de las características de cada tipo de drenaje, para poder incluir el drenaje presentado en el perfil en alguno de estos tipos.

**Tabla 4.13 Clase de drenaje**

Drenaje excesivo	El agua se infiltra con rapidez, en raras ocasiones se encuentra agua interna libre, o solo a gran profundidad. Los suelos generalmente son de texturas gruesas, tienen una alta conductividad hidráulica o son muy someros.
Drenaje bueno	El agua se infiltra bien, pero no con rapidez, se encuentra agua interna libre a profundidad sin especificar la duración, el agua es aprovechable para las plantas durante la mayor parte del ciclo vegetativo en regiones húmedas. La humedad no inhibe significativamente el crecimiento de las raíces durante el ciclo vegetativo. Los suelos carecen de características redoximorfias relacionadas al exceso de humedad.
Drenaje moderado	La infiltración del agua ocurre con lentitud en algunos periodos del año se encuentra agua interna libre a profundidades medianas y su duración es de transitoria a permanente. Durante el ciclo vegetativo el principal espacio radicular permanece mojado solo durante lapsos cortos de tiempo pero lo suficiente para afectar a la mayor parte de las especies mesofíticas. Los suelos generalmente tienen una conductividad hidráulica mediana a baja en algún horizonte dentro de los primeros 100 cm del perfil y/o se encuentran en sitios con eventos periódicos de precipitación alta.
Drenaje deficiente	El agua se infiltra con lentitud y el suelo se encuentra periódicamente mojado a poca profundidad durante el ciclo vegetativo. Comúnmente se encuentra agua interna libre a poca profundidad durante lapso de tiempo lo suficientemente largos para que la mayoría de las plantas mesofíticas no puedan desarrollarse, a menos que el suelo se drene artificialmente; sin embargo, el suelo no se encuentra mojado continuamente en zonas inmediatas a la profundidad del arado. La conductividad hidráulica de estos suelos es generalmente baja a muy baja y/o el sitio recibe precipitación de manera continua.
Drenaje muy deficiente	El agua se infiltra con lentitud y durante la mayor parte del ciclo vegetativo se encuentra agua interna libre en la superficie o poca profundidad. El agua interna libre es persistente a permanente. Los suelos se encuentran en sitios planos o en depresiones. Pueden estar en pendientes suaves en caso de que la precipitación sea alta o continua.

Fuente: Siebe *et al.*, 2006. Manual para la descripción y evaluación ecológica de suelos en el campo

6.-Estimación de la erosionabilidad. Relacionada con el riesgo de erosión hídrica, conocida como factor "K" en la "Ecuación Universal de la Pérdida del Suelo" (Wischmeier, 1971 citado por Siebe *et al.*, 2006), al mismo tiempo Siebe *et al.*, 2006 menciona que "la erosionabilidad puede estimarse considerando la textura, el contenido de materia orgánica, la estabilidad de los agregados y la permeabilidad siguiendo el nomograma 1, aclarando que sólo se estima en el horizonte más superficial.

### **Para la evaluación de nutrimentos**

Para las columnas de CIC, Bases intercambiables, Nitrógeno total (Nt), Nitrógeno Disponible (Nd) y Fosforo (Pmo), se obtuvieron a través de análisis de laboratorio y de las metodologías antes señaladas; con lo cual este apartado de la tabla quedo complementada con datos más precisos.

### **Etapa III**

#### **Discusión de resultados**

Con los datos y cartografía ya realizada en la etapa II se relacionaron los resultados con los factores ambientales que convergen en la zona y como es que ellos influyen en el suelo.

Se realizó la interpretación de los datos, con el objetivo de conocer el comportamiento de las variables del suelo y como estas influyen en su función ambiental o ecológica.

# CAPÍTULO

# 5

## Resultados y discusión

## 5.1 Resultados

En la Tabla 5.1 se muestran los resultados obtenidos de las propiedades estudiadas, donde se aprecian las diferencias entre cada uno de los usos de suelo y vegetación y como es que estos influyen en las propiedades del suelo, tomando al bosque con vegetación natural de encino, como área testigo, en los anexos, 6, 7, 8 y 9 se encuentra desarrollo de los datos cuantitativos para cada perfil y en los anexos 2, 3, 4 y 5 la descripción en campo de los perfiles, así mismo en la imagen 7 se muestra la estructura de cada uno de los perfiles y la vegetación que sostiene, de manera general se observa una constante pérdida de vegetación primaria (bosque testigo) para pasar a la presencia de vegetación secundaria (bosque secundario) y para el caso del perfil 4 la ausencia de esta, en el perfil 3 destinado a uso agrícola (siembra de maíz), las prácticas de manejo consisten en la labranza con instrumentos como azadón y pico, al mismo tiempo la aplicación de fertilizantes nitrogenados las actividades antes mencionadas pudieran explicar aspectos particulares para este perfil.

**Tabla 5.1 Propiedades físicas y químicas de los perfiles de suelo\_**

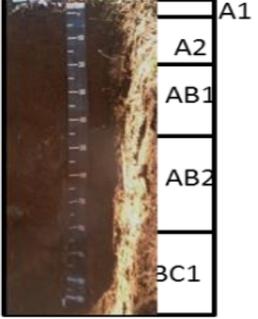
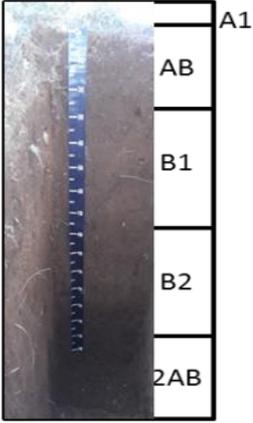
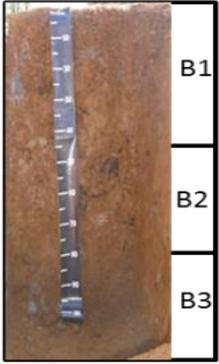
Perfiles	Hori.	cm	Textura	Raíces	Color húmedo	D.A g/cm <sup>3</sup>	pH (H <sub>2</sub> O)	pH (KCl)	M.O %
1	A1	0-18	CR	2m	7.5YR2.5/3	0.80	5.3	4.40	5.62
	B1	18 - 42	RA	2m	5YR3/4	0.94	5.3	4.20	3.05
	B2	42 -70	RL	1f,g	5YR3/4	1.02	5.7	4.32	1.93
2	A1	0 - 4	CR	3f	7.5YR3/4	1.02	5.1	4.01	5.13
	A2	4 - 15	CA	2f	7.5YR2.5/3	0.89	5.7	4.81	6.12
	AB1	15-25	CR	2f,m	7.5YR4/6	1.04	5.1	4.08	1.93
	AB2	25 - 45	RL	1m	10YR4/4	1.04	5.2	4.16	1.29
	BC1	45 - 60	CR	1m	7.5YR4/4	1.06	5.2	4.29	0.77
3	A1	0-12	C	f, 2m	7.5YR3/4	0.91	7.8	6.93	5.14
	AB	12 - 35	CR	2f,1g	7.5YR2.5/3	0.93	7.0	5.59	4.17
	B1	35-95	CR	2f,1g	7.5YR3/4	0.90	5.6	4.42	2.4
	B2	95-120	R	1f, g	7.5YR3/4	0.89	5.5	4.29	1.45
	2AB	120-160	R	1f	7.5YR2.5/3	1.06	5.7	4.42	1.61
4	B1	2 -40	R	f,1m, 2	7.5YR3/4	1.11	5.1	3.689	0.9
	B2	40-70	CR	sr	7.5YR4/6	0.99	6.1	4.030	0.8
	B3	70-100	R	sr	7.5YR3/4	1.09	5.49	3.620	0.3

Fuente. Elaboración propia

C franca, CR franco arcillosa, CA franco arenosa, R, arcillosa RA arcillo arenosa, RL arcillo limosa,

1 pocas, 2 comunes, 3 muchas, mf muy finas, f finas, m medias, g gruesas, sr sin raíces

Imagen 7. Vegetación y estructura de los perfiles

P1. Bosque de Encino	P2. Bosque Secundario	P3. Zona Agrícola	P4. Zona con pérdida de vegetación y presencia de erosión
			
			

Fuente: Elaboración propia con base a prácticas de campo

Como parte de los resultados se incluye la identificación de la migración de arcillas (iluvación) a través de la ladera, pues de manera general se observa la pérdida de los horizontes superficiales (A), por lo que en los perfiles 1, 2 y 3 (bosque de encino, bosque secundario y zona agrícola) se observa una transición hacia los horizontes (B) o de acumulación de arcilla y para el perfil 4 la presencia de estos horizontes es inmediata es decir no hay presencia de los horizontes (A).

En el perfil 1, ubicado en la zona de bosque de encino los horizontes son claramente identificables 3, con presencia de un horizonte O, compuesto de hojarasca, la estructura antes mencionada corresponde a un suelo que ha sufrido poca perturbación de acuerdo a lo descrito por Russell y Wild (1992). Los mismos autores indican que dentro del mismo perfil el humus puede ser transportado del horizonte A al B. La estructura para cada uno de los perfiles se muestra en la imagen 7.

## **5.2 Discusión de resultados**

El perfil 1 sostiene una vegetación de bosque de encino, que presenta indicios de perturbación, sin embargo en este sitio los aportes de materia orgánica promueven la formación de capas de hojarasca, que al descomponerse forman humus, en la parte superior regularmente se encuentra una capa de hojas, en la capa inferior material completamente humificado y en las capas intermedias material en distinto grado de descomposición, en las regiones de bosques templados se puede presentar alguno de los tres tipos de humus: mull, moder y mor (Russell y Wild, 1992), para los sitios 1 y 2 el humus fue clasificado como moder pues es muy suelto y poroso, superpuesto al suelo mineral, los horizontes que lo conforman son: L-Of-Oh-Ah, su espesor está entre los 2 y 8 cm, la presencia de humus está relacionado con el pH del suelo pues cuando es ácido los microorganismos disminuyen su actividad en la descomposición de materia orgánica causando la formación de una capa de mantillo llamado "litter" sobre otra de materiales parcial o totalmente descompuestos, es un tipo de humus que se incorpora al suelo por migración mecánica (Siebe *et al.*, 2006), la presencia y producción de hojarasca en los bosques dependerá de las tasas de producción primaria neta, especie, temperatura, disponibilidad de agua y nutrientes (Crespo *et al.*, 2004) los que a su vez de manera directa o indirecta influye sobre los porcentajes de MO presentes en el suelo.

Para el sitio 3 la descomposición de la materia llevo a clasificar al tipo de humus ahí existente como mull a lo cual se suma el tipo de vegetación en este caso de gramíneas y de la presencia de lombrices, esta misma clasificación fue dada para el sitio 4 pues no se distingue con claridad las capas L, F, H. (Russell y Wild ,1992).

La MO es importante en el suelo pues lo protege de fenómenos como la lluvia o la erosión, además de estar relacionada con otras propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo (Chaer,2009); una de ellas la densidad aparente (DA), pues la MO reduce la DA, para el presente trabajo se observa que cuando el porcentaje de MO es alto los valores de DA son bajos, lo anterior se cumple en el perfil 1, 2 y 3 (bosque de encino, bosque secundario y zona agrícola) , donde los valores de MO son constantes a menos en los horizontes más superficiales que van de los 0-18 cm, en cuanto al perfil 4 (zona desprovista de vegetación) se aprecia que el valor de DA es alto  $1.11 \text{ g/cm}^3$ , debido al menor porcentaje de MO, estas dos propiedades de los suelos (MO y DA) están relacionadas con otras como lo son: la infiltración de agua y la penetrabilidad de las raíces, lo cual explica la presencia de árboles para los casos de los sitios de los perfiles 1 y 2 , debido a que los arboles requieren de basta cantidad de agua para sobrevivir y de poros que le permitan a las raíces penetrar y sostener a la vegetación.

La descomposición de la MO, incide en el pH del suelo pues este parámetro interviene en la actividad química y biológica del suelo, para el caso de los valores de pH ( $\text{H}_2\text{O}$ ) y pH (KCl) en los perfiles 1,2 y 3, se observa que entre ellos se encuentra una diferencia de 1 unidad, donde para el caso de los dos primeros perfiles los valores de pH se clasifican como moderadamente ácidos y para el perfil 3 como neutro y medianamente alcalino amenos para los dos primeros horizontes (0-12 cm y 12-35 cm), de acuerdo a la tabla de clasificación de la NOM-021-SEMARNAT-2000, caso contrario al pH obtenido en perfil 4 donde existe una diferencia de aproximadamente 2 unidades pasando de 5.1 en agua a 3.6 en KCl esto se debe al lavado de bases al que el suelo está sujeto al carecer de vegetación, que sostenga las partículas del suelo, sin embargo sigue estando en la clasificación de moderadamente ácido, los valores antes descritos de pH influyen sobre la actividad de los microorganismos y en la disponibilidad de los nutrimentos, sobre todo para cuando los pH son ácidos se espera que la mineralización se detenga y que la movilidad de los nutrimentos se inhiba como lo son el Calcio, Nitrato – Nitrógeno, Fósforo entre otros mientras que la abundancia de otros elementos como el Aluminio y Manganeso pueden ser tóxicos en algunas plantas.

El perfil 2 presenta una cobertura vegetal de bosque de encino que tiene indicios de perturbación y presencia de vegetación secundaria lo que salta a la vista de este perfil es el horizonte que va de los 4-15 cm, en el parámetro de MO debido a que presenta un porcentaje de 6.12% en comparación con el primer horizonte el cual fue de 5.13 % este dato se aborda desde la hipótesis de que el primer horizonte es más reciente que el segundo y que fue originado por un deslave por lo cual, el suelo que fue removido se depositó e interfirió en la formación original, la hipótesis anterior se relaciona con la observación realizada durante el trabajo de campo, en el que se percató la remoción de suelo aunque es de aclarar que no es de gran escala y que no se incluye como tal dentro de uno los movimientos de ladera, otro de los factores que puede dar explicación a este fenómeno es el arrastre de las partículas del suelo a través de la ladera.

En este perfil comienza a presentarse una disminución importante de MO pasando de valores de 6.12% a los de aproximadamente 2% y el mínimo por debajo del 1%, el pH se mantuvo constante con respecto al primer perfil. Considerando este parámetro, es importante mencionar que para el caso del perfil 3 los dos primeros horizontes registraron un pH neutro y medianamente alcalino, mientras que la densidad aparente aumento lo que permite declarar que el tamaño de los poros es mucho menor comparado con el primer perfil, lo cual influye en una más lenta circulación de líquidos y gases del suelo. Para el caso de los perfiles 3 y 4, la densidad aparente es en algún caso menor a 1 g/cm<sup>3</sup>, mientras que el contenido de MO es sustancialmente inferior en el perfil 4 con porcentajes inferiores al 1%.

Cuando en la descripción de los perfiles se dice que existe o no reacción al NaF (perfiles 2 y 3), se refiere a la presencia de alófanos ("nombre genérico que se da a un grupo de minerales no cristalinos del tamaño de la arcilla y que incluye en su composición química silicio, aluminio activo y agua. El alófano se encuentra en muchos suelos pero es común en los formados a partir de cenizas volcánicas. La presencia de estos compuestos incide sobre la disponibilidad de algunos nutrimentos ya que el aluminio activo los absorben en su superficie y son retenidos sin estar disponibles para las plantas, como es el caso del fósforo, a lo que se suma la capacidad de extracción y aprovechamiento por parte del sistema radicular de cada tipo de vegetación (Campillo *et al.*, 2003), entonces en realidad el fósforo asimilable del total es muy poco para la vegetación.

## Funciones ecológicas

Los indicadores del suelo se relacionan en este apartado para evaluar su calidad, con la eficiencia de los procesos o funciones ecológicas que este recurso provee, de manera general se evalúan: la infiltración y disponibilidad de agua, disponibilidad de nutrimentos, penetrabilidad de raíces.

Las siguientes tablas tienen el propósito de mostrar las evaluaciones y datos correspondientes a cada uno de los perfiles, se aclarara que algunas evaluaciones se realizaron por horizonte y otras por perfil. Presentar los datos en esta forma tiene como objetivo observar con mayor detalle cada una de las funciones y propiedades del suelo.

**Tabla 5.2 Valores de Volumen Total de Poros y de Capacidad de Aireación para los diferentes usos de suelo y vegetación.**

Uso de suelo y vegetación	Perfil	cm	VPT		CA	
			%	Evaluación	Vol %	Evaluación
Bosque de encino	1	0-18	63	Muy Alta	8	Media
		18 - 42	48.5	Media	5.5	Media
		42 -70	46	Media	4.5	Baja
Bosque secundario (alterado)	2	0 - 4	55	Alta	7	Media
		4-15	55	Alta	13	Alta
		15-25	45	Media	4.0	Baja
		25 - 45	46	Media	4.0	Baja
		45 - 60	42	Media	4	Baja
Zona agrícola	3	0-12	53	Alta	10	Media
		12-35	55.5	Alta	8.5	Media
		35-95	48.5	Media	5.5	Media
		95-120	48.5	Media	3	Baja
		120-160	48.5	Media	3	Baja
Zona con pérdida de vegetación	4	2-40	45	Media	3	Baja
		40-70	42	Media	4	Baja
		70-100	45	Media	3	Baja

Fuente: Elaboración propia con base a Siebe *et al.*, 2006. Manual para la descripción y evaluación ecológica de suelos en el campo

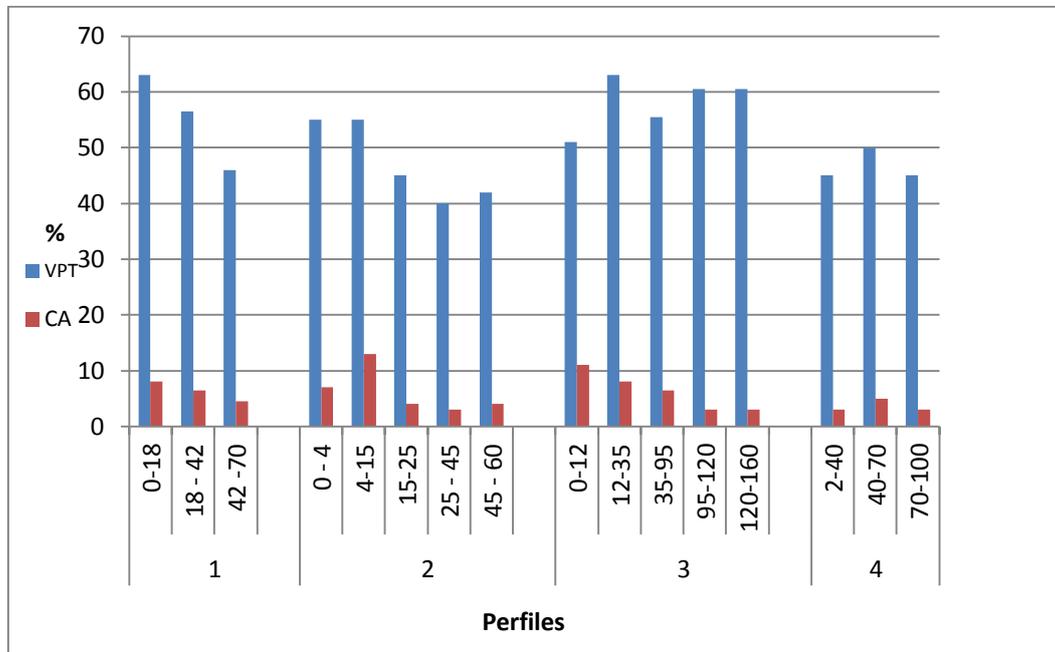
El volumen total de poros está relacionado con la capacidad de infiltración de agua en el suelo y la penetrabilidad de las raíces en capas inferiores. En la tabla 5.2 se observa que el perfil ubicado en el área con bosque de encino (perfil 1) presenta a profundidades de 0 -18 cm y de 18-42 cm, un porcentaje de poros de entre 63 y 48.5, asignándole una evaluación de muy alta y media, lo que indica mayor presencia de poros y buena aireación, sobre todo en superficie; por lo que corresponde a la evaluación de los perfiles ubicados en el bosque secundario, zona agrícola y zona con presencia de degradación, esta propiedad pasa de alta, a media y baja, lo que indica una gradual compactación en el suelo; esta propiedad se reduce por la pérdida de vegetación en el perfil 4, denotando de manera general que en suelos donde se ha perdido la cobertura vegetal, la porosidad del suelo tiende a disminuir, como ejemplo a esta aseveración, se observa que en el horizonte de los 2-40 cm en el perfil 4, donde sus agregados se pulverizaron debido a la exposición directa que tiene el suelo con el golpeteo de la lluvia y de otros procesos de intemperismo, los poros del suelo se colmatan con partículas finas y ocluyen el paso de agua y aire, provocando un incremento en los niveles de escorrentía y elevadas tasas de erosión tal y como se observa en el sitio mencionado.

Al momento de comparar el VPT en los cuatro perfiles de suelo, se denota una disminución del VPT, lo cual pudiera estar relacionado con la intensificación del uso de suelo, como ejemplo de lo anterior está la diferencia entre el perfil 1 y 3, pues en el segundo caso este suelo tiene un uso agrícola de manera que las prácticas de manejo al que está sujeto, influyen sobre esta propiedad ocasionándole compactación, para el caso del perfil 4 es la zona donde menor porcentaje de poros presenta, en cierta manera debido a su posición en la ladera pues se encuentra en la zona más baja y por lo tanto recibe sedimentos que van llenando los espacios en el suelo, además de que al existir pocas raíces en el primer horizonte 4-40 cm y ninguna para los siguientes de 40-100 cm provoca que no se formen los espacios porosos que generan las estructuras radiculares de las plantas.

En cuanto a la Capacidad de Aireación (CA), su evaluación se encuentra entre media y baja lo que indica que pueden presentar restricciones en relación a la profundidad fisiológica del suelo y lenta elevación de agua capilar para las plantas, este porcentaje es menor comparado con los valores de volumen total de poros, pues está relacionada con la cantidad de poros gruesos, al mismo tiempo esta propiedad está dada por la textura del suelo por lo que para el caso del perfil 4 donde en todo el perfil predomina la textura arcillosa es difícil encontrar poros gruesos, pues en

ella predominan las partículas finas a lo anterior se le suma el que no exista presencia de raíces que creen espacio entre esas partículas.

**Gráfica 5.1 Valores de Volumen Total de Poros para los diferentes usos de suelo y vegetación**



Fuente: Elaboración propia con base a tabla 5.1

La gráfica 5.1 muestra de manera más clara como es que estas propiedades de los suelos se ven afectadas por los usos de suelo y de vegetación.

**Capacidad de Agua Disponible (dCC) y de Capacidad de Campo (CC)**

La USDA, 2008 define a la capacidad de agua disponible como “la cantidad máxima disponible de agua en un suelo y que puede proporcionarse a las plantas”, en esta propiedad al igual que en la capacidad de campo esta última definida como “el contenido de agua del suelo que se permite drenar libremente por dos días desde la saturación con pérdidas despreciables por la evapotranspiración, en otro sentido es el contenido mínimo de humedad al que puede llegar un suelo por efecto de drenaje únicamente (es decir si no se presentaran fenómenos de evapotranspiración)” (Donato,2004) ; la textura en las propiedades antes referidas, juega un papel importante pues se incrementa cuando la textura es más fina, mientras que los suelos de textura gruesa tienen una menor capacidad de campo, ya que son de poros grandes y están sujetos a drenaje libre, lo que explica por qué en el perfil 3, las evaluaciones son de muy alta,

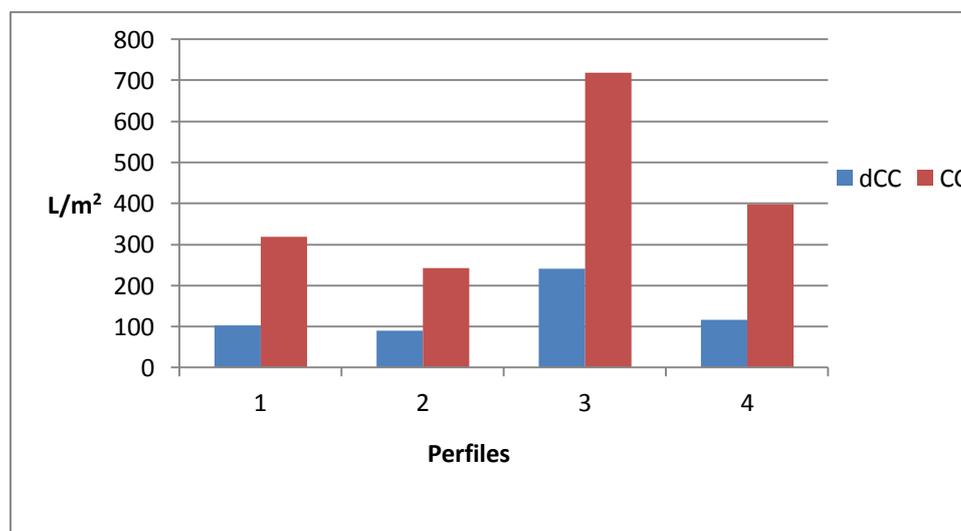
pues las texturas son arcillosas y franco arcillosas, lo que impide que el agua se drene, por tanto estas partículas retienen el agua. Un parámetro relacionado con lo anterior también es la cantidad de poros pues como se muestra en la gráfica 5.1 el porcentaje de poros es mayor en este perfil que en el bosque secundario (perfil 2). Con respecto al perfil 4, este presenta una evaluación que va de mediana a alta, lo cual se relaciona con la textura que presenta pues en el perfil predomina la textura arcillosa, sin embargo al estar desprovisto de vegetación, está sujeto a la evaporación y escurrimiento provocado por una costra que va de los 0-2 cm, por lo que se concluye que aun cuando este perfil presenta gran capacidad para retener humedad, esta capa impide que el agua se infiltre rápidamente a las capas más profundas del perfil, dando lugar a un proceso de colmatación ya que al no presentar vegetación, recibe el golpeteo de las gotas de agua, lo que lleva a desintegrar en partículas más pequeñas al suelo y estas a su vez llenan los poros, incrementando los niveles de escorrentía en el suelo (Porta *et al.*, 1993).

**Tabla 5.3 Valores de Capacidad de Agua Disponible (dCC) y de Capacidad de Campo (CC)**

Uso de suelo y vegetación	Perfil	dCC (L/m <sup>2</sup> )	Evaluación	CC (L/m <sup>2</sup> )	Evaluación
Bosque de encino conservado	1	103.3	Mediana	319.1	Mediana
Bosque secundario (alterado)	2	89.4	Baja	242.2	Baja
Zona agrícola	3	241	Muy alta	718	Muy alta
Zona con pérdida de vegetación	4	116.6	Mediana	398.4	Alta

Fuente: Elaboración propia con base a Siebe *et al.*, 2006. Manual para la descripción y evaluación ecológica de suelos en el campo

**Gráfica 5.2 Valores de Capacidad de Agua Disponible (dCC) y de Capacidad de Campo (CC)**



Fuente: Elaboración propia con base a tabla 5.2

A continuación en la tabla 5.3 se muestran los valores obtenidos para cada uno de los perfiles, para la conductividad hidráulica, en ella se muestran los resultados por horizontes, para comenzar se expone que es la conductividad hidráulica la cual es definida por Donado (2004), como la propiedad que indica la movilidad del agua dentro del suelo y depende del grado de saturación y la naturaleza del mismo y sirve para conocer la interacción de agua superficial y subterránea, esto permite realizar la valoración de las reservas y recursos subterráneos.

**Tabla 5.4 Valores y evaluación de la conductividad hidráulica bajo condiciones de saturación**

Kf				
Uso de suelo y vegetación	Perfiles	cm	Conductividad hidráulica	evaluación
Bosque de encino conservado	1	0-18	40-300	Muy Alta
		18 - 42	10-40	Mediana
		42-70	10-40	Mediana
Bosque secundario (alterado)	2	0 - 4	10- 40	Mediana
		4-15	40-100	Alta
		15-25	10-40	Mediana
		25 - 45	10-40	Mediana
		45 - 60	10- 40	Mediana
Zona agrícola	3	0-12	10- 100	Alta
		12 - 35	10-40	Mediana
		35-95	10-40	Mediana
		95-120	10-40	Mediana
		120-160	10-40	Mediana
Zona con pérdida de vegetación	4	2- 40	10-40	Mediana
		40-70	10-40	Mediana
		70-100	10-40	Mediana

Fuente: Elaboración propia con base a Siebe et al., 2006. Manual para la descripción y evaluación ecológica de suelos en el campo

La velocidad con la que el agua pasa a través de la unidad transversal es muy alta en el perfil 1 y alta en los perfiles 2 y 3 (bosque de encino y la zona agrícola) mientras que para el perfil 4 esta

propiedad disminuye y su evaluación es mediana. Esta propiedad en el suelo está relacionada principalmente con la densidad aparente y la cantidad y tamaño de los poros, por lo que es comprensible que al tener el perfil 1 el mayor valor de VPT, el agua pueda pasar con facilidad a través de ellos, además de que en los suelos de esta clase de uso (bosque de encino), tanto la cobertura arbórea como la capa de residuos orgánicos permiten la disminución de la velocidad con la que el agua de lluvia se impacta en el suelo, incrementando el tiempo de infiltración en éste, con lo cual se incrementa la capacidad del suelo para almacenar un mayor volumen de agua ante cada evento de lluvia. No obstante la carencia de vegetación arbórea en el perfil 3 (uso agrícola) la elevada conductividad hidráulica que registra este suelo, pudiera explicarse por el bajo impacto que ocasiona la actividad agrícola (labranza manual), pero también por la clase textural.

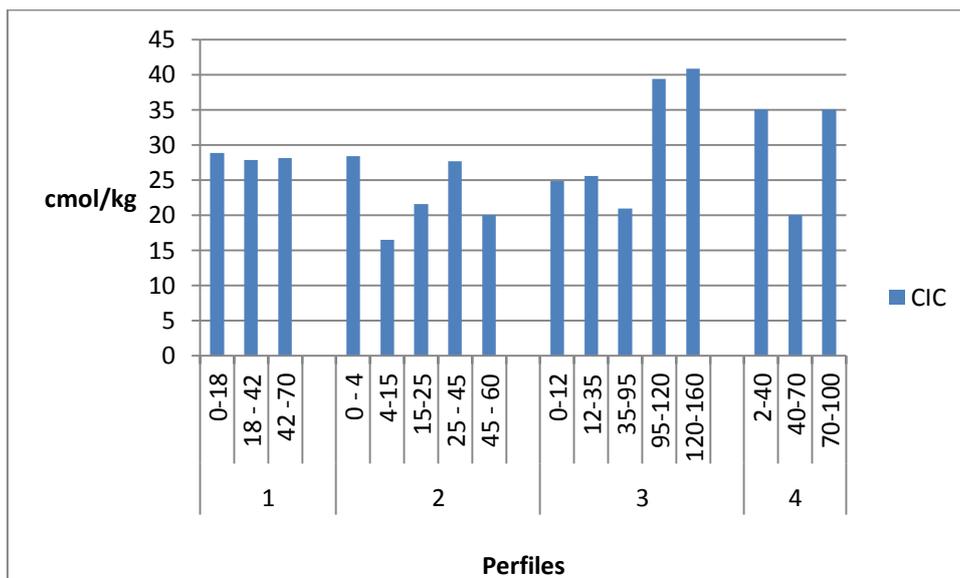
**Tabla 5. 5 Valores de Capacidad de Intercambio Catiónico**

Uso de suelo y vegetación	Perfiles	cm	CIC	
			cmol/kg	evaluación
Bosque de encino conservado	1	0-18	28.8	Media
		18 - 42	27.88	Media
		42 -70	28.13	Media
Bosque secundario (alterado)	2	0 - 4	28.39	Media
		4-15	16.46	Regular
		15-25	21.6	Media
		25 - 45	27.7	Media
		45 - 60	20	Media
Zona agrícola	3	0-12	24.8	Media
		12-35	25.56	Media
		35-95	20.96	Media
		95-120	39.4	Media
		120-160	40.8	Alta
Zona con pérdida de vegetación	4	2-40	35	Mediana
		40-70	20	Regular
		70-100	35	Mediana

Fuente: Elaboración propia con base a Siebe *et al.*, 2006. Manual para la descripción y evaluación ecológica de suelos en el campo

La Capacidad de Intercambio Catiónico (CIC), es un dato importante para evaluar la fertilidad del suelo, esta propiedad en los cuatro perfiles de estudio, se mantiene relativamente constante pues predominan valores medios, lo que indica que en esta medida se encuentra la disponibilidad de cationes (Ca, Mg, Na y K) que pueden ser absorbidos o retenidos por el suelo. La CIC está relacionada con el tipo y contenido de arcillas y MO que un suelo posee, de tal forma que en suelos con alto contenido de materia orgánica y texturas francas o franco arcillosas, el complejo de intercambio es mayor (Greenforceame Disponible en: [www.greenforceame.com/Joomla/](http://www.greenforceame.com/Joomla/). Consultada 21 enero de 2013). La relación Materia Orgánica – Capacidad de Intercambio Catiónico, en el presente trabajo de investigación se cumple sobre todo para los horizontes superficiales de cada perfil, perfiles 1 y 2 que son los que muestran los valores más altos, en datos cuantitativos, se puede observar que esos valores corresponden a un poco más de los 28 cmol/kg, para el caso de la zona agrícola este corresponde a 24.8 cmol/kg, hasta el perfil 4 donde el valor máximo presentado es de 35 cmol/kg, su evaluación es de media, debido al tipo de textura arcillosa, esto se explica un poco debido al arrastre de materiales que la zona de este perfil presenta, un poco debido a su posición en la ladera y a la pérdida de vegetación.

**Gráfica 5.4 Valores de Capacidad de Intercambio Catiónico**



Fuente: Elaboración propia con base a tabla 5.4 Valores de Capacidad de Intercambio Catiónico

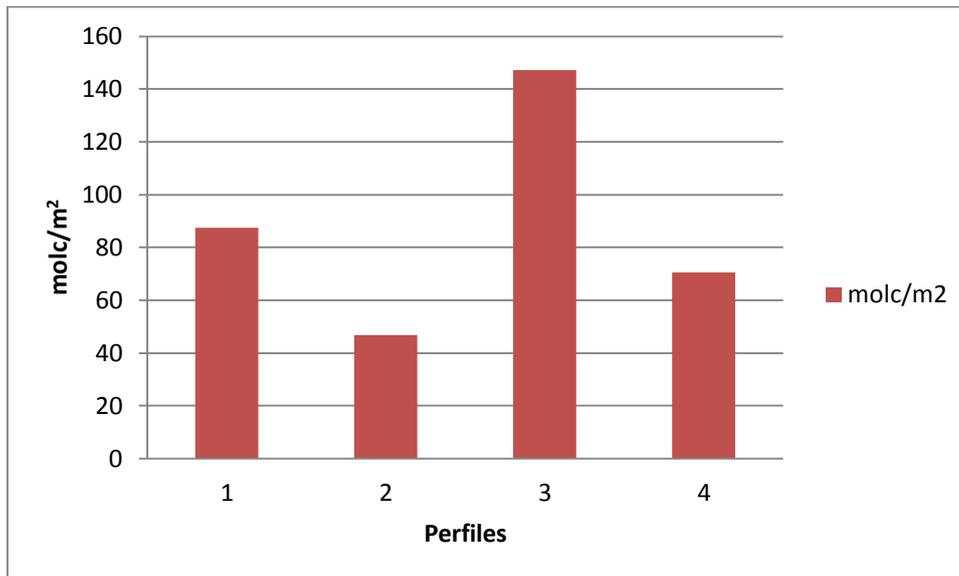
A continuación se presentan los valores de Bases Intercambiables (BI) (Tabla 5.5), aquí los cuatro perfiles presentan variaciones que pasan de mediana, media alta y alta, para iniciar se recordará un poco acerca de las bases intercambiables, ellas se refieren a los cationes Ca, Mg, K y Na del total de la CIC, las cuales son determinantes en la nutrición vegetal, (Henríquez *et al.*, 2005) cuantitativamente se observa que el valor sobresaliente es para la zona agrícola con  $147.26 \text{ mol}_c/\text{m}^2$ , con una evaluación de alta, este valor puede deberse a la aplicación de insumos que trae consigo el aumento de cationes (Uzcátegui, *et al.*, 2011), mientras que la zona de bosque de encino presenta un valor de  $87.43 \text{ mol}_c/\text{m}^2$ , con una evaluación de media alta esto se debe a la presencia de materia orgánica que atrae y retiene a los cationes, la zona que ha perdido vegetación obtuvo la misma evaluación aunque, con presencia de  $70.58 \text{ mol}_c/\text{m}^2$ , esto debido a la presencia de arcillas, un 70 % en las profundidades 2-40 cm y de 70-100 cm

**Tabla 5.6 Valores de Bases Intercambiables (Ca, Mg, K y Na )**

Uso de suelo y vegetación	Perfiles	Bases intercambiables	
		$\text{mol}_c/\text{m}^2$	Evaluación
Bosque de encino conservado	1	87.43	Media Alta
bosque secundario (alterado)	2	46.81	Mediana
Zona agrícola	3	147.26	Alta
Zona con pérdida de vegetación	4	70.58	Media Alta

Fuente: Elaboración propia con base a Siebe *et al.*, 2006. Manual para la descripción y evaluación ecológica de suelos en el campo

Gráfica 5.5 Valores de Bases Intercambiables (Ca, Mg, K y Na)



Fuente: Elaboración propia con base a tabla 5.5 Valores de Bases Intercambiables (Ca, Mg, K y Na)

A continuación se expresan los resultados para nitrógeno y fósforo. Estos dos macronutrientes son necesarios para el crecimiento y desarrollo de la vegetación y provienen principalmente de la descomposición de restos vegetales en el suelo, los cuales, como en el caso del nitrógeno forman compuestos asimilables tales como amonio ( $\text{NH}_4$ ), o nitrato ( $\text{NO}_3^-$ ), o bien inmovilizarse como los nitritos ( $\text{NO}_2$ ), en consecuencia, bajo condiciones que propician la pérdida de cobertura vegetal (deforestación) y rápida descomposición de los restos orgánicos (elevación de la temperatura del suelo debido a su mayor exposición), el nitrógeno al igual que otros micro y macronutrientes pueden perderse rápidamente en el suelo (Porta *et al.*, 1993).

Los datos que continuación se presentan, muestran que a pesar de existir cantidades altas y medianas de nitrógeno, las formas disponibles ( $\text{NH}_4$  y  $\text{NO}_3$ ) tienden a ser bajas para las plantas (obsérvese también que las unidades de medición para cada una de ellas cambia en nitrógeno total se hace uso de  $\text{Kg/m}^2$  mientras que para el nitrógeno disponible de  $\text{g/m}^2$ ) en especial para la vegetación de los perfiles 1, 2 y 4, este último perfil es el que presenta menor cantidad de nitrógeno total y por lo tanto de nitrógeno disponible, la presencia de nutrientes en el suelo está relacionada con la cantidad de MO pues cuando los microorganismos la mineralizan, elementos como N, P y S pueden estar disponibles para las plantas, con lo anterior y los valores conocidos de MO para este perfil se explican las evaluaciones obtenidas, pues no se tiene una fuente de

donde se puedan obtener los nutrimentos necesarios para el crecimiento de las plantas (Silva Disponible en: [www.fagro.edu.uy/.../Material%20de%20lectura/Materia%20Organic](http://www.fagro.edu.uy/.../Material%20de%20lectura/Materia%20Organic). Consultada 27 marzo de 2013); caso contrario sucede para el perfil 3 en el que la disponibilidad es de media alta esto a pesar de ser una zona destinada a la agricultura, pues esta actividad capta los nutrientes para los cultivos, la evaluación para este perfil se realizó de los 0- 95 cm dado que es la profundidad máxima a la que las raíces se presentan, la disponibilidad disminuirá con los años de agricultura y el sistema que se aplique.

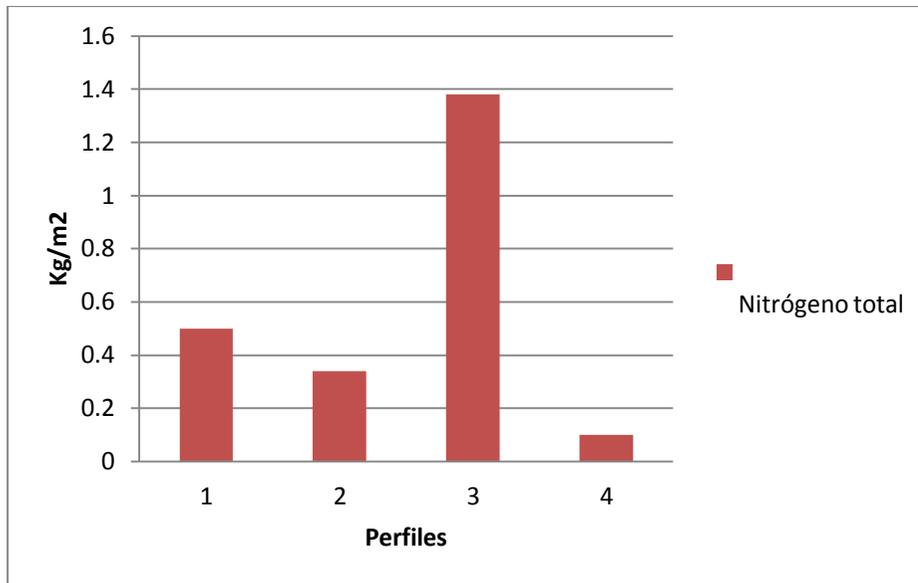
Es de mencionar que la evaluación de los nutrimentos está relacionada en los sitios forestales, con la presencia de mantillo o piso forestal y que pueden perderse en lugares en los que se acumula y se prosigue a su quema o donde se ven signos de desplazamiento de este material del lugar de origen (Page, *et al.*, 2013).

**Tabla 5.7 Valores para Nitrógeno total y Nitrógeno disponible**

Uso de suelo y vegetación	Perfiles	Nitrógeno total		Nitrógeno disponible	
		Kg/m <sup>2</sup>	Evaluación	g/m <sup>2</sup>	Evaluación
Bosque de encino conservado	1	0.50	Media Alta	1.62	Baja
Bosque secundario (alterado)	2	0.34	Mediana	1.10	Baja
Zona agrícola	3	1.38	Alta	6.86	Media Alta
Zona con pérdida de vegetación	4	0.1	Baja	.99	Baja

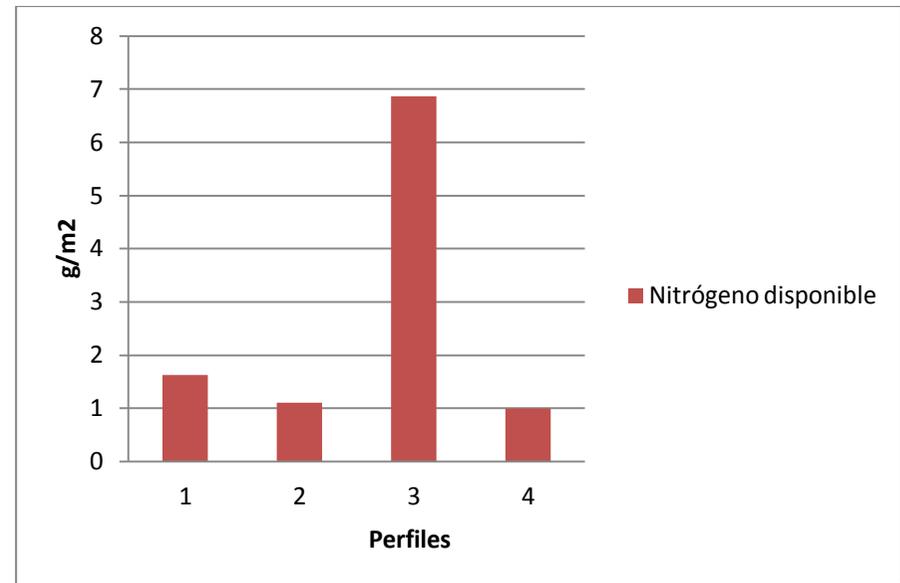
Fuente: Elaboración propia con base a Siebe *et al.*, 2006. Manual para la descripción y evaluación ecológica de suelos en el campo

Gráfica 5.6 Valores para Nitrógeno total



Fuente: Elaboración propia con base a tabla 5.6 Valores de Nitrógeno total y Nitrógeno disponible

Gráfica 5.7 Valores para Nitrógeno disponible



Fuente: Elaboración propia con base a tabla 5.6 Valores de Nitrógeno total y Nitrógeno disponible

La última evaluación realizada fue la de Fósforo (P), este elemento se presenta de manera limitada en las rocas y minerales del suelo, en este ciclo biogeoquímico particularmente en el suelo, la actividad microbiana es importante pues “promueve todas las formas orgánicas que realizan la mineralización del P orgánico, a diferencia de otros macronutrientes, el P reduce de manera progresiva su disponibilidad para la planta” (Elser y Bennett 2011).

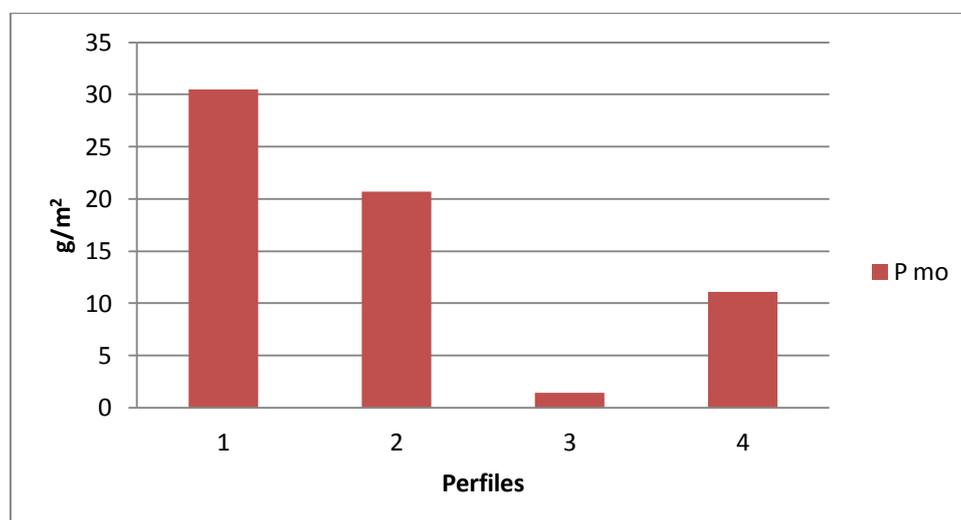
La disponibilidad de este macronutriente está en función de las propiedades del suelo, la planta y las condiciones ambientales, la primera variable se refiere a que las características del suelo permiten o son una limitante para el paso de iones fosfato, la planta, se refiere a las características particulares de su sistema de raíces dado que de ella depende su capacidad de extracción y adsorción de fósforo y las condiciones ambientales hace mención de variables como acidez del suelo pues en rangos de entre 6.5 y 7.5 se observa la mayor disponibilidad de P, mientras que para valores por debajo de 6.5 (ácidos) se reduce la solubilidad de fosfatos de hierro y aluminio además de poder ser absorbidos por las partículas de arcilla (Rojas, 2006 y Silva, disponible en: [www.fagro.edu.uy/...Material%20lectura/Materia%20Organic:Consultada](http://www.fagro.edu.uy/...Material%20lectura/Materia%20Organic:Consultada) 27 marzo de 2013) y en pH alcalinos algunas formas del fosfato precipitan, los rangos de pH antes mencionados reducen la disponibilidad del fósforo, lo anterior explica porque la baja disponibilidad de este nutrimento en los perfiles 1, 2 y 4 de estudio, ellos presentan valores de entre 5.1 y 6.1 clasificados como ligeramente ácidos (NOM-021-SEMARNAT-2000), mientras que para el perfil 3 a profundidades de 0-12 cm y 12-35 cm, presenta valores de acidez clasificados como neutro y medianamente alcalino (7.8 y 7.0 respectivamente), aunque posteriormente estos valores de pH pasan a ser ácidos a profundidades de 35-95 cm, 95-120 cm y de 120-160 cm. En este perfil se encuentra el valor más bajo de P con 1.4 g/m<sup>2</sup> que se relaciona con la cantidad adsorbida por los cultivos de maíz en la zona agrícola y con la presencia de alófanos en el perfil pues estos compuestos fijan al fósforo en su superficie (Campillo *et al*, 2003).

Tabla 5. 8 Valores para Abastecimiento de Fósforo

Uso de suelo y vegetación	Perfiles	g/m <sup>2</sup>	P mo
			evaluación
Bosque de encino conservado	1	30.5	Baja
Bosque secundario (alterado)	2	20.7	Baja
Zona agrícola	3	1.4	Baja
Zona con pérdida de vegetación	4	11.11	Baja

Fuente: Elaboración propia con base a Siebe *et al.*, 2006. Manual para la descripción y evaluación ecológica de suelos en el campo

Gráfica 5.8 Valores para Abastecimiento de Fósforo



Fuente: Elaboración propia a Tabla 5.7 Valores para Abastecimiento de Fósforo

## Conclusiones

- Los cambios sobre el uso del suelo y la cubierta vegetal propician el deterioro de las propiedades del suelo (calidad del suelo) y por ende de sus funciones ecológicas como captación e infiltración de agua, disponibilidad de nutrimentos y de agua para los cultivos.
- Las propiedades físicas del suelo son las más afectadas debido a las técnicas de manejo utilizadas sobre todo en las zonas destinadas a la actividad agrícola, pero son aún más afectadas en las zonas que presentan pérdida de vegetación.
- El bosque conservado y secundario compartieron valores similares para algunas propiedades físicas, como porcentaje de materia orgánica, pH y densidad aparente y por lo tanto en volumen total de poros y capacidad de aireación (sin embargo el bosque secundario existe una ligera disminución de las propiedades antes descritas), lo mismo ocurre con propiedades relacionadas con la disponibilidad de nutrimentos.
- Las particularidades geográficas de la ladera donde fueron ubicados los puntos de muestreo influyeron sobre algunas de las propiedades del suelo como lo es la profundidad del perfil
- Los valores más parecidos entre los perfiles 1, 2 y 3 se encuentran sobre todo en los dos primeros horizontes.
- Para el caso del perfil 4 la ausencia de vegetación, mostro alteraciones significativas en algunas de las propiedades y funciones del suelo, como el espacio poroso, densidad aparente, desarrollo radicular, capacidad de infiltración y pérdida de nutrientes.
- La función de captación y filtración de agua va de muy buena a buena lo cual corresponde con la evaluación obtenida por este método la cual es de muy alta a alta para los perfiles 1,2 y 3 debido a los altos porcentajes de poros grandes y finos, mientras que para el caso del perfil 4 esta función disminuye al tener una evaluación de media, mostrando así una captación y filtración regular y limitantes en el crecimiento de vegetación lo cual se debe a la colmatación de los poros y a la formación de costras en el horizonte superficial, lo anterior se ilustra con la gráfica 5.1 en la que se observa que las columnas son constantes. Relacionado con la recarga de agua subterránea se encuentra la evaluación realizada para la conductividad hidráulica donde de manera general se encuentra un descenso en esta función teniendo una evaluación de media.

- En cuanto a la disponibilidad de agua y la capacidad de campo, el perfil 2 es el que presenta mayor restricción, al tener una evaluación de baja, sin embargo aun cuando el agua es poca, los árboles y vegetación secundaria que en el lugar existen ayudan a retener la humedad del suelo para no comprometer su desarrollo.
- Para el caso de la disponibilidad de nutrientes se tiene que de manera general existen en cantidades limitantes en los perfiles de suelo, al obtener evaluaciones de medias a bajas por lo que restringen el crecimiento y desarrollo de la vegetación haciéndolo raquítico.
- Se tiene una alteración en los datos dados por el método cuando se tienen perfiles más profundos.
- El perfil 3 ubicado en la zona agrícola presentó valores más altos por la aplicación de fertilizantes, por lo tanto es importante considerar esta variable a la hora de interpretar resultados.
- Aun cuando el perfil 4 presenta potencial para llevar a cabo ciertos procesos como la retención y filtración de agua no le es posible aprovecharlo totalmente debido a que los poros se han sellado formando una costra, lo que hace que el agua en vez de ser captada escurra.
- La aplicación de la evaluación de la calidad del suelo por medio de este método aplica para zonas en las que se desea realizar trabajos de reforestación o para las zonas en las que se desea mejorar la productividad agrícola.
- Uno de los objetivos de este método es hacer más simple la aplicación de los indicadores y al mismo tiempo complementarlo con datos originados de la experiencia de los usuarios.
- De no realizarse trabajos que promuevan la retención del suelo este seguirá arrastrándose y con las partículas que influyen en su calidad como la MO y nutrientes dando a lugar a panoramas como en la zona donde se ubica el perfil 4.
- La calidad del suelo requiere del análisis de cada una de las variables que influyen en ella; mismas que van desde el aspecto geomorfológico y de la misma génesis del suelo.
- Esta primera evaluación da pauta a que trabajos posteriores puedan utilizar los datos para conocer el cambio de la calidad de este recurso y al mismo tiempo para incluirse dentro de posteriores procesos planeación.

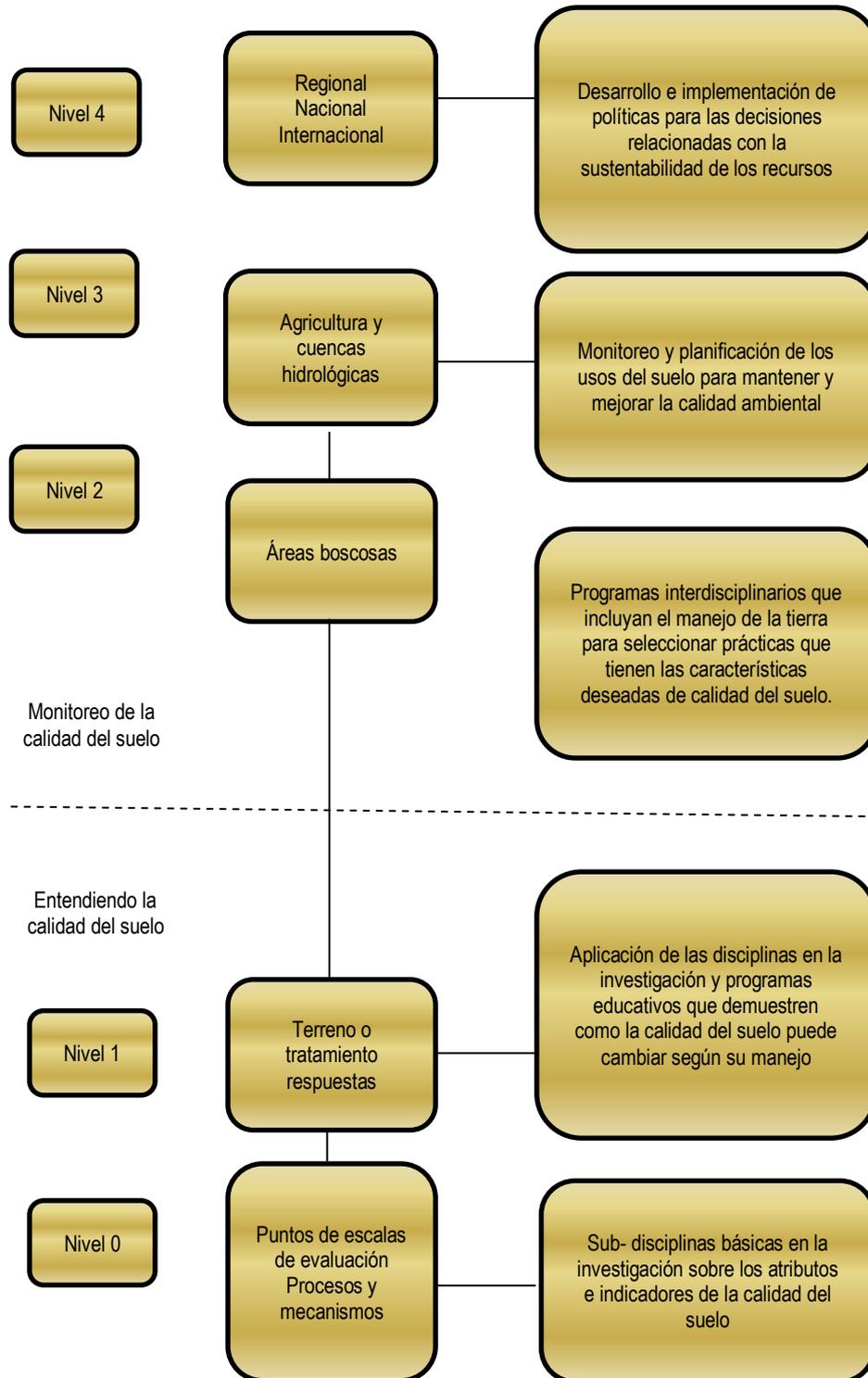
- Una de las limitantes enfrentadas durante este trabajo de investigación fue la poca disponibilidad de algunos dueños para acceder a su predio y realizar el perfil de suelo.

# ANEXOS

---

---

Anexo 1. Múltiples escalas para la evaluación de la calidad del suelo



Fuente: D.L. Karlen et. al., 1997

## **Anexo 2. Descripción morfológica del perfil 1**

### **Perfil 1. Zona de bosque de referencia**

#### **A. Información acerca de la localidad**

##### **a. Número del perfil: 1**

- b. Nombre del sitio 1: Santa Cruz Dexcani Alto
- c. Fecha de la descripción: 10 de septiembre de 2011
- d. Autor: Ariana Molina González
- e. Localización: Jilotepec, Estado de México
- f. Clasificación del suelo:
- g. Coordenadas: UTM (14Q) X 0447532 Y 2202367 ±5 m.
- h. Altura: 2675 m.
- i. Forma del terreno: Ladera cóncava media
- j. Pendiente: moderadamente inclinado 4-9%; exposición: E
- k. Unidad de Relieve: ladera cóncava.
- l. Erosión: Sin evidencias.
- m. Material parental: depósitos de cenizas volcánicas y roca ígnea.
- n. Drenaje superficial: de bueno a excesivo.
- o. Pedregosidad: en horizontes inferiores, de tamaño grande, gravas gruesas.
- p. Uso del suelo o vegetación: Bosque de encino, vegetación secundaria
- q. Estado del tiempo: Nublado. Sin lluvias las últimas 24 hrs.
- r. Clima: Templado subhúmedo con lluvias en verano (Cw) con poca variación térmica. La temperatura máxima es de 23°C, la temperatura media anual entre 12 y 14 °C. La precipitación media anual es de 750 mm.

#### **B. Información general acerca del suelo**

Suelo con una capa de hojarasca que lo mantiene húmedo, sin pedregosidad superficial.

#### **C. Descripción breve del perfil**

Perfil profundo color pardo rojizo oscuro, uniforme en apariencia, húmedo, Desarrollo moderado con bloques subangulares medianos y grandes. La mitad superior del perfil es poroso y muy permeable, a profundidad hay un mayor grado de compactación y menor permeabilidad. Poca pedregosidad (0-2%) en superficie que aumenta con la profundidad, las rocas con fuerte intemperismo cubiertas por materiales arcillosos color amarillo y pardo amarillento. Presenta abundantes raíces medias y finas en los primeros 50cm y disminuye a profundidad. pH de 6.



HORIZONTE	PROFUNDIDAD cm	CARACTERÍSTICAS
A1	0-18	Color en húmedo pardo rojizo oscuro (5YR 2/2), textura franco arcillosa, estructura en bloques subangulares finos, medianos y gruesos, moderadamente desarrollados, consistencia friable, ligeramente adherente y plástico, húmedo, poros finos pocos y medianos vesiculares e intersticiales, raíces medias, comunes, estabilidad de agregados muy baja, tixotrópico, 0.65 kg/cm <sup>3</sup> , reacción al HCl negativa.
B1	18-42	Color en húmedo pardo muy oscuro (7.5 YR 2/2), textura arcillo-arenosa, consistencia firme, adherente y plástico, húmedo, estructura en bloques subangulares medianos, poros finos y medios intersticiales y en canales, raíces medias comunes y pocas raíces gruesas (>5mm), compactación 0.2 kg/cm <sup>2</sup> , pH 6.
B2	42-70	Color húmedo 5YR 2/3 pardo rojizo oscuro, textura arcillo limosa, consistencia firme, muy adherente, muy plástico, húmedo, bloques subangulares medianos y grandes que tienden a formar columnas, cutanes, rocas intemperizadas con moteados color amarillo y pardo amarillento, poros intersticiales finos, raíces finas pocas y gruesas, compactación 0.25 kg/cm <sup>2</sup> , pH6.

Figura 1. Perfil escalonado en la zona de bosque conservado.

### **Anexo 3. Descripción morfológica del perfil 2**

#### **Zona de bosque alterado (secundario)**

##### **A. Información acerca de la localidad**

Número del perfil: 2

Nombre del sitio: Santa Cruz Dexcani Alto

Fecha de la descripción: 10 de septiembre de 2011

Autor: Ariana Molina González

Localización: Jilotepec, Estado de México

Clasificación del suelo:

Coordenadas: UTM (14Q) X 0447791 Y 2202629 ±5 m.

Altura: 2582 m.

Forma del terreno: Ladera media cóncava

Pendiente: moderadamente inclinado 4-9%; exposición: E

Material parental: Andesita y Basalto.

Drenaje superficial: Bueno

Pedregosidad superficial: de tamaño grande de 1-25% de cobertura. Piedras o cantos rodados finos y gruesos.

Uso del suelo o vegetación: Bosque de encino, vegetación secundaria

Estado del tiempo: Despejado sin lluvias en la última semana.

Clima: Templado subhúmedo con lluvias en verano (Cw) con poca variación térmica. La temperatura máxima es de 23°C, la temperatura media anual entre 12 y 14 °C. La precipitación media anual es de 750 mm.

##### **B. Información general acerca del suelo**

Parte media de ladera con vegetación secundaria, abundantes herbáceas y hojarasca.

##### **C. Descripción breve del perfil**

Perfil profundo color pardo rojizo oscuro, uniforme en apariencia, húmedo. Desarrollo de moderado a muy débil de bloques subangulares gruesos y medios. Poca pedregosidad (0-2%) en los primeros 65cm, a mayor profundidad hubo mayor pedregosidad (80%), rocas subangulares intemperizadas. Presenta abundantes raíces finas.



Figura 2. Perfil en la zona de bosque alterado.

HORIZONTE	PROFUNDIDAD (cm)	CARACTERÍSTICAS
A1	0-4	Color en húmedo pardo rojizo oscuro (10YR 4/4), textura franco Arcillosa, levemente húmedo, estructura migajón fino (5-10mm) con desarrollo débil, poca pedregosidad, piedras intemperizadas (60-200mm.), muchos poros vesiculares finos., muchas raíces finas (menor a 2mm), límite claro y uniforme, pH 6, reacción al H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> 8% muy alta, reacción a NaF negativa.
A2	4-15	Color en húmedo pardo rojizo (5YR 4/6), textura franco arenosa, húmedo, estructura en bloques subangulares medios con desarrollo débil, poca pedregosidad (0-2%), piedras angulares intemperizadas (60-200 mm.), poros vesiculares finos comunes, raíces finas comunes (menores a 2 mm.), límite irregular, reacción a carbonatos negativa, pH 6, reacción al H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> muy baja, reacción a NaF muy alta.
AB1	15-25	Color en húmedo pardo oscuro (7.5YR 3/4), textura franco arcillosa, muy adherente y muy plástico, húmedo, estructura en bloques subangulares muy débiles de tamaño (10-20mm.), poca pedregosidad (0-2%), rocas intemperizadas angulares, poros comunes intersticiales finos, raíces comunes finas y medias, límite difuso e irregular, pH 6, reacción a H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> baja, reacción al NaF moderada.
AB2	25-45	Color en húmedo pardo oscuro (7.5YR), textura arcillo limosa, húmedo, estructura en bloques subangulares débilmente desarrollados finos (5-10mm), poca pedregosidad (0-2%), rocas intemperizadas angulares (60-200mm), poros vesiculares pocos y medios, límite difuso e irregular, pH 6, reacción a H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> muy bajo, reacción a NaF moderado.
BC1	45-60	Color en húmedo pardo fuerte (7.5YR 4/6), húmedo, textura franco arcillosa, estructura en bloques subangulares gruesos (20-50mm) moderadamente desarrollados, pedregosidad poca (0-2%), rocas intemperizadas angulares, poros tubulares finos pocos (0.5-2mm), raíces medias pocas (2-5mm), límite difuso e irregular, pH6, reacción a H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> baja, reacción al NaF alta.
BC2	60-90	Color en húmedo pardo fuerte (7.5YR 4/6), textura franco arcillosa, estructura en bloques subangulares finos de moderado desarrollo, pedregosidad dominante (mayor al 80%), rocas intemperizadas angulares (60-200mm), poros vesiculares finos comunes, raíces medias pocas, pH 6, reacción al H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> baja, reacción al NaF alto.

#### **Anexo 4. Descripción morfológica del perfil 3**

##### **Zona agrícola**

##### **A. Información acerca de la localidad**

- a. Número del perfil: **3**
- b. Nombre del sitio 1: Potrero en Santa Cruz Dexcani Alto
- c. Fecha de la descripción: 29 de Octubre de 2011
- d. Autor: Ariana Molina González
- e. Localización: Jilotepec, Estado de México
- f. Clasificación del suelo:
- g. Coordenadas: UTM (14Q) X 0447742 Y 2202918 ±6 m.
- h. Altura: 2565 m.
- i. Forma del terreno: Ladera cóncava
- j. Pendiente: moderadamente inclinado 4-9%; exposición: E
- k. Uso del suelo o vegetación: Bosque de encino, vegetación secundaria.
- l. Estado del tiempo: Soleado despejado, sin lluvias en los últimos 7 días.
- m. Clima: Templado subhúmedo con lluvias en verano (Cw) con poca variación térmica. La temperatura máxima es de 23°C, la temperatura media anual entre 12 y 14 °C. La precipitación media anual es de 750mm.

##### **B. Información general acerca del suelo**

Potrero abandonado desde hace muchos años, sólo tiene plantaciones de maguey al pie de la ladera y está cubierto por pastizal.

##### **C. Descripción breve del perfil**

Perfil profundo de color pardo homogéneo, sin límites abruptos. Levemente húmedo o fresco. Estructura en bloques subangulares medios (10-20mm) y gruesos (20-50mm), desarrollo fuerte. Con revestimientos abundantes de naturaleza arcillosa y manganosos. Raíces finas y medias comunes. Reacciona a aluminio libre muy positivo.



HORIZONTE	PROFUNDIDAD (cm)	CARACTERÍSTICAS
A1	0-12	Estructura granular y en bloques subangulares medianos (2-5mm), desarrollo fuerte; levemente húmedo o fresco, pedregosidad del 0%; porosidad intersticial y vesicular fina; sin revestimientos, raíces finas y medias comunes, presencia de lombrices, límite claro y uniforme, reacción al NaF ++, materia orgánica +.
AB	12-35	Estructura bloques subangulares medios (10-20mm) y gruesos (20-50mm), desarrollo fuerte, consistencia en húmedo friable; levemente húmedo o fresco, pedregosidad del 0%; porosidad intersticial y en canales finos y medios; sin revestimientos, raíces finas comunes y pocas gruesas, límite claro y uniforme. Reacción NaF +++, materia orgánica ++.
B1	35-95	Estructura bloques subangulares medios (10-20mm) y gruesos (20-50mm), desarrollo moderado, consistencia en húmedo friable; levemente húmedo o fresco, pedregosidad del 0%, porosidad intersticial y vesicular finos; sin revestimientos, raíces finas comunes y pocas gruesas, límite claro ondulado, moteados grises y negros (20%), reacción al NaF +++, materia orgánica +.
B2	95-120	Estructura de bloques a prismática tamaño grueso (20-50mm), desarrollo fuerte, consistencia en húmedo firme; húmedo o fresco, pedregosidad del 0%; porosidad intersticial finos, revestimientos abundantes de naturaleza arcillosa y manganosos, pocas raíces finas y gruesas, límite claro ondulado, reacción al NaF +, materia orgánica ++.
2AB	120-160	Estructura de bloques a prismática tamaño grueso (20-50mm), desarrollo fuerte, consistencia en húmedo firme; húmedo o fresco, pedregosidad del 0%; porosidad intersticial finos y medios, revestimientos abundantes de naturaleza arcillosa y manganosos, pocas raíces finas, límite claro suave, reacción NaF -, a materia orgánica +.

Figura3. Perfil en la zona agrícola.

## **Anexo 5. Descripción morfológica del perfil 4**

### **Zona con pérdida de vegetación (Degradada)**

#### **A. Información acerca de la localidad**

- a. Número del perfil: 4
- b. Nombre del sitio: Santa Cruz Dexcani Alto
- c. Fecha de la descripción: 10 de septiembre de 2011
- d. Autor: Ariana Molina González
- e. Localización: Jilotepec, Estado de México
- f. Clasificación del suelo:
- g. Coordenadas: UTM (14Q) X 0447790 Y 2203056 ±5 m.
- h. Altitud: 2562 m.
- i. Forma del terreno: Pie de monte, ladera convexa
- j. Pendiente: fuertemente inclinado 9-18%; exposición: E
- k. Erosión: Hídrica, laminar con pérdida total del horizonte A. Se muestra un sistema de cárcavas y barrancas desarrolladas.
- l. Drenaje superficial: Deficiente
- m. Uso del suelo o vegetación: Trabajos de reforestación con poco éxito en el crecimiento de los árboles plantados.
- n. Estado de tiempo: Soleado despejado. Sin precipitación en los últimos 7 días.
- o. Clima: Templado subhúmedo con lluvias en verano (Cw) con poca variación térmica. La temperatura máxima es de 23°C, la temperatura media anual entre 12 y 14 °C. La precipitación media anual es de 750 mm.

#### **B. Información general acerca del suelo**

Parte baja de ladera a la orilla del bosque de encino con alto grado de erosión, ya no existe el horizonte A. Reforestado con encinos, eucaliptos y pino con poco éxito.

#### **C. Descripción breve del perfil**

Perfil profundo color rojo amarillento, superficie muy suelta y seca, pero en general el perfil estaba húmedo. Estructura en bloques subangulares, estabilidad de agregados moderada. Con abundantes revestimientos de cutánes y moteados color gris oscuro, negro y amarillo. Reacción con H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> muy positiva en moteados negros denotando la presencia de óxidos de manganeso (MnO<sub>2</sub>).



HORIZONTE	PROFUNDIDAD (cm)	CARACTERÍSTICAS
Costra	0-2	Color en húmedo (5 YR 4/6) rojo amarillento; textura franco arcilloso, muy plástico, ligeramente adherente, consistencia suelto en húmedo y seco; estructura granular-migajón fino, pedregosidad 0%; sin raíces, límite abrupto, pH 6, reacción a H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> +.
B1	2-40	Color en húmedo (2.5 YR 4/8) rojo; textura arcillosa, muy plástico, ligeramente adherente, consistencia friable en húmedo, horizonte húmedo, estructura en bloques subangulares, pedregosidad poca del 0-2 %; raíces finas y medias pocas y comunes, poros medios vesiculares comunes, estabilidad de agregados moderada; cutánes, límite inferior difuso, pocos moteados color gris verdoso y negro (óxidos de manganeso), pH 6, reacción del suelo a H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> +, reacción en moteado negro, reacción a HCl + y reacción en los moteados negros al H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> +++,
B2	40-70	Color en húmedo (5 YR 4/6) rojo amarillento; textura franco-arcillosa a arcillosa; muy plástico, ligeramente adherente, consistencia firme en húmedo, horizonte húmedo; estructura en bloques subangulares, pedregosidad del 0%; sin raíces, poros finos, vesiculares comunes; cutánes, moteados gris verdoso (óxido-reducción), límite inferior difuso; pocos moteados color amarillo y negro (óxidos de manganeso), pH 6, reacción de los moteados negros al H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> +++, reacción de moteado negro a HCl -
B3	70-100	Color en húmedo (10 YR 4/6) pardo amarillento oscuro; textura arcillosa, muy plástico, ligeramente adherente, consistencia friable en húmedo, horizonte húmedo; estructura en bloques subangulares, pedregosidad del 0%; sin raíces; muy pocos poros vesiculares finos, cutánes, pocos moteados gris verdoso (óxido-reducción), límite inferior difuso, pocos moteados color negro (óxidos de manganeso). pH 6, reacción a H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> +, reacción de moteado negro a HCl - y a H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> +

Figura 5. Perfil en la zona degradada con alto grado de erosión y pérdida del horizonte A. Presenta moteados de coloración gris y negros.

Anexo 6. Evaluación de la calidad del suelo para el perfil 1 ubicado en Bosque de Encino de referencia

HOJA DE LEVANTAMIENTO DE CAMPO Y EVALUACION ECOLÓGICA																										
Localidad Santa Cruz Dexcani Alto, Jirotepec; Estado de México																										
Levantamiento de campo	Fecha: 10-09-11	UTM Hor: 0447532	Mapa No. 1	Clima: Templado Subhúmedo		Forma de terreno: ladera media cóncava					Paisaje: Ladera Cóncava															
	Autor: Rosa Esmeralda González Irneo	UTM Ver: 2202367	msnm : 2675	época seca	°C	Λ °C	Uso de suelo y vegetación: Bosque de Encino					Material Parental: Depósito de cenizas volcánicas y roca ígnea														
	Estado del tiempo despejado	prec (mm) 750	Recurrencia y duración de periodos húmedos			Exposición: E					Evidencia de erosión: No															
	F: 0	D:	DAC:																							
	Profundidad (cm)	Textura	Promedio de arcillas (%)	Piedras (Vol %)	Color (Húmedo)	pH	sales o C.E. 1:2.5 (mS/cm)	MO %	CaCO 3 (%)	Humedad	pF	Estructura tipo, tamaño, grado	Estab agreg.	Poros abundancia, tamaño forma		D.A g/cm3	Den. Raíces finas/dm2	Límite	Horizonte							
	0-18	CR	34	2	5YR 2/2	5.3	N/A	5.6	N/A	húmedo	2	bloques subangulares ,finos, medianos y gruesos	2	finos pocos y meidanos vesicualres intersticiales		0.8	finas 6-10	uniforme	A1							
	18 - 42	RA	45	1	7.5 YR 2/2	5.3	N/A	3.0	N/A	húmedo	2	bloques subangulares medianos	-	finos, medios intersticiales y en canales		0.9	finas 6-10	uniforme	B1							
	42 -70	RL	50	1	5YR 2/3	5.7	N/A	1.9	N/A	húmedo	2	bloques subangulares medianos y grandes	-	intersticiales finos		1		uniforme	B2							
	Prof de desarrollo			70 cm			princ espacio radicular de cm			0 a 70			Clasificación del suelo: Feozem						Fase:							
	Prof max de raíces			70 cm			nivel piezométrico actual			Nivel piezométrico medio						tipo de humus moder										
Evaluación ecológica	Espesor dm	D.A g/cm3	Evaluación	VPT		CA		dCC Vol %	espacio rad efec L/m <sup>2</sup>	CC Hasta 1 m		Kf		CIC		Bases intercamb.			Humus Kg/m <sup>2</sup>	Nt Kg/m <sup>2</sup>	Nd g/m <sup>2</sup>	P mo g/m <sup>2</sup>				
				Vol (%)	evaluac	Vol %	evaluac			Vo, %	L/m <sup>2</sup>	\$	evaluac	cmol/kg-1	evalua c	cmol/k g	mol/ m2	Ahx1 Otr x 0.5								
	1.8	0.8	Baja	63	Muy Alta	8	Media	20	35.2	55	97	40- 300	Muy Alta	28.8	Media	14.3	20.1	20.1	7.9	0.19	0.63	11.89				
	2.4	0.9	Media	48	Alta	5.5	Media	18.5	34.4	43	102.1	10-40	Mediana	27.8	Media	16.8	38	38	6.9	0.17	0.55	10.35				
	2.8	1.02	Media	46	Media	4.5	Baja	12	33.6	11.6	116.2	10-40	Mediana	28.1	Media	20.4	58.3	29.1	5.5	0.13	0.44	8.26				
	Prof. Fisiológica		70 cm						ΣdCC: 103.3		ΣCC: 319.1		drenaje natural: superficial bueno a excesivo			ΣBI:		87.4		Σ Humus: 20.3		Σ Nt: 0.5		Nd 1.6		Pmo 30.5
Evaluación: profunda								evaluac: Mediana		evaluac: Mediana					evaluac: Mediana											
Espacio radicular efectivo: 70 cm												Erodabilidad (Ah) K: 228		Evaluación: Baja		Evaluación				Media Alta		Baja		Baja		

**Anexo 7. Evaluación de la calidad del suelo para el perfil 2 ubicado en Bosque Alterado (secundario)**

**HOJA DE LEVANTAMIENTO DE CAMPO Y EVALUACION ECOLOGICA**

Localidad Santa Cruz Dexcani Alto, Jilotepec Estado de México																																			
Fecha: 10-09-11		UTM Hor: 0447791		Mapa No.		Clima: Templado Subhúmedo		Uso de suelo y vegetación: Bosque de Encino, abundantes herbáceas y hojarasca				Forma de terreno: ladera media concava		Paisaje: Parte meida de ladera																					
autor		UTM Ver: 2202629		msnm: 2582		epoca seca		°C		Λ °C		Inclinación:		Material Parental: andesita y Basalto																					
Estado del		prec (mm)		Frecuencia y duracion de periodos humed F: 0 D: DAC:								Exposición: 4 - 9%		Evidencia de erosión:																					
Profundic (cm)		Textura		% Arcilla		Piedras (Vol %)		Color (Húmedo)		pH		ales o C.E 1:2.5 (mS)		MO %		CaCO3 (%)		Humedad		pF		Estructura tipo, tamaño, grado		estab. agreg		poros abundancia, tamañ		D.A. g/cm3		en. Raíce finas/dm2		Límite Claro uniforme		Hori Zonte	
0-4		CR		34.5		0- 2		10 YR 4/ 4		5.1		-		5.1		Muy alta		Húmedo		3		Migajon fino		-		Muchos vesiculares finos		1.02		Muchas finas 11-20		Claro uniforme		A1	
4 - 15		CA		10		0- 2		5YR 4/6		5.8		-		6.1		Negativa		Húmedo		2		Bloques subangulares		-		Vesiculares finos comunes		0.89		Finas 6-10		Irregular		A2	
15-25		CR		34.5		0- 2		7.5 YR 3/4		5.1		-		1.9		Negativa		Húmedo		2		Bloques subangulares		-		Comunes intertisciales finos		1.043		Comunes, finas medias 6-10		Difuso e irregular		AB1	
25- 45		RL		50		0- 2		7.5 YR		5.2		-		1.1		Negativa		Húmedo		2		Bloques subangulares		-		Vesicualres pocos		2.04		Vesículas pocas 3-10		Difuso e irregular		AB2	
45 - 60		CR		34.5		0- 2		7.6 YR 4/6		5.2		-		0.7		Negativa		Húmedo		2		Bloques subangulares gruesos		-		Tubulares finos pocos		1.066		Medias pocas 3-10		Difuso e irregular		BC1	
Prof de desarrollo 60 cm				princ espacio radicular de 0 a				Clasificación del suelo: Feozem				Fase:																							
Prof max de raíces 60 cm				nivel piezométrico actual				Nivel piezométrico medio				tipo de humus: moder																							
espesor dm		Penetrabili d de raíces D.A		VPT Vol (%)		CA Vol %		dCC espacio rad efec Vol% L/m2		CC hasta 1 m Vol% L/m2		Kf \$ evaluac		CIC cmol/kg-1 evaluac		bases intercamb. cmolc/kg molc/m2		Humus Kg/m2		Nt Kg/m2		Nd g/m2		P mo g/m2											
0.4		1.0 Media		55 Alta		7.0 Media		16 6.3		48 18.8		10 40 Media		28.3 Media		16.3 6.5		6.5 2.0		0.05 0.1		0.1 3.1													
11		0.9 Baja		55 Alta		13.0 Media		27 29.4		42 45.7		40 - 100 Alta		16.4 Regular		9.0 8.7		8.7 5.9		0.14 0.4		0.4 8.9													
1		1.0 Media		45 Media		4.1 Baja		12.5 12.4		40.5 40.0		10 40 Media		21.6 Media		10.0 10.3		10.3 1.9		0.04 0.1		0.1 2.9													
2		2.0 Media		46 Media		4.1 Baja		12 23.5		41.5 81.3		10-40 Media		27.7 Media		13.1 27.0		13.5 2.6		0.06 0.2		0.2 3.9													
1.5		1.1 Media		42 Media		4.0 Media		12 17.8		38 56.4		10-40 Media		20.0 Media		9.5 15.0		7.5 1.2		0.03 0.1		0.1 1.8													
Prof. Fisiológica 60 cm				ΣdCC: 89.4				ΣCC: 242.2				drenaje natural: superficial bueno				ΣBI: 46.81				Σ Humus 13.85		Σ Nt: 0.34		Nd 1.10		P mo 20.775									
evaluació				evaluac: Baja				evaluac: Baja				evaluac:				Mediana				Mediana		Baja		Baja											
espacio radicular e 60 cm				erodabilidad (Ah)				K: .222 eval: Baja																											

Anexo 8. Evaluación de la calidad del suelo para el perfil 3 ubicado en la Zona Agrícola

HOJA DE LEVANTAMIENTO DE CAMPO Y EVALUACION ECOLOGICA

Localidad Santa Cruz Dexcani Alto, Jilotepec Estado de México																						
Levantamiento de campo	Fecha: 10-09-11	UTM Hor: 0447742	Mapa No. 3	Clima: Templado Subhúmedo			Uso de suelo y vegetación: Zona agrícola presencia de pastos				Forma de terreno: ladera media concava		Paisaje: Ladera cóncava									
	autor: Ro	UTM Ver: 2202918	msnm: 2582	epoca: seca	°C	Λ °C					Inclinación:		Material Parental:									
	Estado del	prec (mm)	frecuencia y duración de periodos hume		F: 0	D: DAC:					Exposición: 4 - 9%											
	Profundic (cm)	Textura	% Arcillas	Piedras (Vol %)	Color (Húmedo)	pH	ales o C.E 1:2.5 (mS	MO %	CaCO3 (%)	Humedad	pF	Estructura tipo, tamaño, grado		estab. agreg	poros abundancia, tamañ		D.A. g/cm3	en. Raice finas/dm2	Límite	Hori Zonte		
	0-12	C	18	0	7.5YR 3/4	6.9	-	5.1	N/A		3	Granular y bloques subangulares		-	Intersticiales y vesiculares finos		0.9	finas y comunes	Claro y uniforme	A1		
	12-35	CR	34.5	0	7.5 YR 2.5/3	5.5	-	4.1	N/A		3	Bloques subangulares medianos y gruesos		-	Intersticiales y en canales finos		0.9	finas y comunes	Claro y uniforme	AB		
	35-95	CR	34.5	0	7.5YR 3/4	4.4	-	2.4	N/A	Levemente húmedo o fresco	3	Bloques subangulares medianos y gruesos		-	Intersticiales finos		0.9	Finas comunes y pocas gruesas	Claro ondulado	B1		
	95-120	R	70	0	7.5YR 3/4	4.2	-	1.4	N/A		3	Bloques y prismáticos gruesos		-	Intersticiales y vesiculares finos		0.81	Pocas raíces finas y gruesas	Límite claro ondulado	B2		
	120-160	R	70	0	7.5YR2.5/3	4.4	-	1.6	N/A		3	Bloques y prismáticos gruesos		-	Intersticiales finos y medios		1	Pocas finas	Claro sueave	2AB		
	Prof de desarrollo 95 cm		princ espacio radicular de 0 a		Clasificación del suelo: Feozem						Fase:											
Prof max de raíces 95 cm		nivel piezométrico actual						Nivel piezométrico medio						tipo de humus: Mull								
Evaluación ecológica	espesor dm	Penetrabilidad de raíces	VPT Vol (%)	CA Vol %	dCC Vol%	CC Vol%	Kf \$	CIC cmol/kg-1	bases intercamb. cmol/kg		Humus Kg/m2		Nt Kg/m2	Nd g/m2	P mo g/m2							
	1.2	0.9	Media	53	Alta	10.0	Media	19	22.8	43	51.6	10-100	Alta	24.8	Mediana	17.3	18.9	18.9	5.6	0.28	1.4	0.6
	2.3	0.9	Media	55.5	Alta	8.5	Media	17.5	40.2	49	112.7	10-40	Mediana	25.5	Mediana	18.1	38.8	38.8	8.90	0.44	2.2	0.9
	6	0.9	Media	48.5	Media	5.5	Media	14.5	87.0	43	258.0	10-40	Mediana	20.9	Mediana	10.0	54.3	27.1	12.90	0.64	3.2	0.0
	2.5	0.8	Media	48.5	Media	3.0	Baja	14	35.0	45.5	113.7	10-40	Mediana	39.9	Mediana	18.7	41.7	20.8	3.20			
	4	1	Media	48.5	Media	3.0	Baja	14	56.0	45.5	182.0	10-40	Mediana	40.8	Mediana	19.5	83.0	41.5	6.80			
	Prof. Fisiológica 95 cm		ΣdCC: evaluac: Baja		ΣCC: evaluac: Baja		drenaje natural: superficial bueno		Σ Humus		Σ Nt: 1.30		Nd: 6.80		P mo: 1.4							
	evaluación: espacio radicular 95 cm		erodabilidad (Ah) K:0.234 eval: Baja		evaluac: 147.2		Alta		37.5		Alta		Media Alta		Baja							

Anexo 10. Evaluación de la calidad del suelo para el perfil 4 ubicado en la Zona con pérdida de vegetación

HOJA DE LEVANTAMIENTO DE CAMPO Y EVALUACION ECOLÓGICA																						
Localidad Santa Cruz Dexcani Alto, Jilotepec; Estado de México																						
Levantamiento de campo	Fecha: 10-09-11	UTM Hor: 0447790	Mapa No. 1	Clima: Templado Subhúmedo		Forma de terreno: ladera convexa					Paisaje: Piedemonte ,sistema de cárcavas											
	Autor: Rosa Esmeralda González Ineo	UTM Ver: 2203056	msnm : 2562	época seca	°C	Λ °C	Uso de suelo y vegetación: Pérdida de vegetación y los trabajos de reforestación han tenido poco éxito en el crecimiento					Material Parental: Depósito Pérdida del horizonte A										
	Estado del tiempo despejado	prec (mm) 750	Recurrencia y duración de periodos húmedos			Inclinación: 9-18%					Exposición: E											
			F: 0	D:	DAC:	Evidencia de erosión: Si, presencia de cárcavas y barrancas Costra de 2 cm																
	Profundidad (cm)	Textura	Promedio de arcillas (%)	Piedras (Vol %)	Color (Húmedo)	pH	sales o C.E. 1:2.5 (mS/cm)	MO %	CaCO 3 (%)	Humedad	pF	Estructura tipo, tamaño, grado	Estab agreg.	Poros abundancia, tamaño forma	D.A g/cm3	Den. Raíces finas/dm2	Límite	Horizonte				
	2-40	R	70	0-2	2.5YR 4/8	5.1	-	0.9	N/A	húmedo	2	bloques subangulares finos, medianos y gruesos	Moderada	Medios vesiculares comunes	1.1	Pocas finas y medias	Inferior difuso	B1				
	40-70	CR	34.5	0	5YR 4/6	6.1	-	0.8	N/A	húmedo	-	bloques subangulares medianos		Finos, vesiculares comunes	0.9	Sin raíces		B2				
	7-1000	R	70	0	10YR4/6	5.4	-	0.3	N/A	húmedo	-	bloques subangulares medianos y grandes		Pocos, vesiculares	1.0	Sin raíces		B3				
	Prof de desarrollo			40 cm	princ espacio radicular de			0 a 40 cm			Clasificación del suelo: Feozem						Fase:					
	Prof max de raíces			40 cm	nivel piezométrico actual			nivel piezométrico medio			Nivel piezométrico medio						tipo de humus Mull					
Evaluación ecológica	Espesor dm	D.A g/cm3	Evaluación	VPT		CA		dCC Vol %	espacio rad efec L/m²	CC Hasta 1 m		Kf		CIC		Bases intercamb.			Humus Kg/m2	Nt Kg/m2	Nd g/m2	P mo g/m2
				Vol (%)	evaluac	Vol %	evaluac			Vo, %	L/m²	\$	evaluac	cmol/kg -1	evaluac	cmol /kg	mol/ m2	Ahx1 Otr x 0.5				
	3.8	1.1	Media	45	Media	3	Baja	12	44.6	42	158.4	10-40	Mediana	35	Media	24.1	10.7	5.3	4	0.1	.99	11.1
	3	.9	Media	42	Media	4	Baja	12	36	38	114	10-40	Mediana	20	Regular	15.8	46.9	23.4				
	3	1.0	Media	45	Media	3	Baja	12	36	42	126	10-40	Mediana	35	Media	25.5	83.5	41.7				
Prof. Fisiológica		40	cm					ΣdCC: 116.6		ΣCC: 398.4		drenaje natural: deficiente				ΣBI:	70.58	Σ Humus: 4	Σ Nt: 0.1	Nd: 0.5	Pmo11.1	
Evaluación: profundidad 40								evaluac: Mediana		evaluac: Alta						evaluac:	Media Alta		Baja	Baja	Baja	

## Glosario

- **Agua capilar:** El agua que llena los poros pequeños de menos de 0.05 mm de diámetro y que por la absorción a las partículas del suelo y cohesión de las mismas moléculas de agua puede resistir la fuerza de gravedad y permanecer suspendidas en el suelo. El agua de este tipo constituye una fuente importante para el crecimiento arbóreo excepto en los suelos que tienen una capa freática alta.
- **Agua disponible en el suelo:** la cantidad de agua retenida en el suelo entre la capacidad de campo y el punto de marchitamiento. Ésta no debería confundirse con la cantidad de agua disponible para un buen crecimiento, la cual puede ser sustancialmente menor. El agua disponible es la porción del agua capilar del suelo que contribuye al crecimiento y supervivencia de las plantas.
- **Bosque de Latifoliadas o frondosas:** se le denomina así a los bosques de nuestro país que se distinguen por tener el árbol, de copa ramificada bien definida. El tronco varía en dimensiones y formas. La madera, o leño, heterogéneo, lo forman diferentes tipos de células. A diferencia de las coníferas, las latifoliadas presentan vasos. Por lo general no se pueden diferenciar fácilmente los anillos de crecimiento de la madera, como en las coníferas.
- **Calidad dinámica del suelo:** Un aspecto de la calidad del suelo relacionada con las propiedades que cambian con el uso y el manejo o en la escala de tiempo humana.
- **Calidad intrínseca del suelo:** Un aspecto de la calidad del suelo en relación con sus propiedades y su composición natural, influenciada por los factores y procesos de formación del suelo en ausencia de los efectos humanos.
- **Capacidad del campo:** La condición que existe cuando el drenaje libre de agua disminuye y se retarda el contenido de agua y el contenido de humedad no cambia apreciablemente entre las mediciones. En análisis de laboratorio se obtiene el equilibrio de aproximadamente genética a su descendencia.
- **Capacidad de Intercambio Catiónico:** Capacidad total de los coloides del suelo de retener los cationes. El orden de actividad de los iones más importantes en forma decreciente es:  $H^+$ ,  $Ba^{++}$ ,  $Ca^{++}$ ,  $Mg^{++}$ ,  $K^+$ ,  $NH_4^{++}$ ,  $Na^+$ . El peso atómico del Ca es 40, su valencia 2, para un miliequivalente de Ca =  $(40/2) \times 0.001$  igual 0.020gm. Un suelo con una capacidad para 5 me/100 gm mantendrá en forma reemplazable  $0.020 \times 5$  igual 0.1

gm de Ca/100 gm de suelo. Medio pie de suelo A sobre un acre que pesa 2 000 000 libras, absorbería 200 libras de Ca

- **Hifas:** Es la unidad vegetativa en la estructura de los hongos.
- **Mantillo:** Todos los horizontes orgánicos del suelo formados a partir de material vegetal muerto en la superficie del suelo.
- **Punto de marchitamiento:** Es el contenido de humedad en el suelo en el cual la planta permanece permanente marchita a menos que se agregue agua al suelo. El potencial de agua en el suelo. El potencial de agua en marchitamiento puede variar de -5 a -200 bares. Debido a la forma de la curva de agua potencial del contenido seco, grandes cambios en el potencial de agua, mayores tensiones, acompañan disminuciones menores en el contenido de agua, de tal forma que el agua permanente para el crecimiento se encuentra a aproximadamente 15 bares.

## Bibliografía

- Aguilar - Santelises A., J.D. Etchevers-Barra, J.Z. Castellanos-Ramos.1987.Análisis químico para evaluar la fertilidad del suelo. Sociedad mexicana de la ciencia del suelo. 217p.
- Alcalá, J., M. Sosa, M. Moreno, M. Rodríguez, J. C., Quintana, C, Terrazas y O. Rivero.2009. Metales Pesados en suelo urbano como un indicador de la calidad ambiental: Ciudad de Chihuahua, México. *Multequina Latin American Journal of Natural Resources*. 18: 53-59.
- Alkorta, I., Aizpurua, A., Riga, P., Albizu, I., Amezaga, I., Garbisu, C. 2003. Soil enzyme activities as biological indicators of soil health. *Rev. Environmental Health*. 18: 65-73.
- Angelone S., M. T. Garibay y C. Casaux. 2006. Geología y Geotecnia Permeabilidad de Suelos. Universidad Nacional de Rosario: Facultad de Ciencias Exactas, Ingeniería y Agrimensura.39 p.
- Añó- Vidal C., J.A. Pascual - Aguilar y J. Sánchez - Díaz. 2005. Capacidad de uso y sellado antropogénico del Suelo en la franja litoral de la provincia de Castellón. *Investigaciones Geográficas*. 38: 65-77.
- Armida – Alcuidia, L., D. Espinosa- Victoria, D.J. Palma- López, A. Galvis – Spinol y S. Salgado – García. 2005. Carbono en biomasa microbiana y carbono soluble como indicadores de calidad Vertisoles cultivados con caña de azucarera. *TERRA Latinoamericana*. 23 (4): 545 -551.
- Arshad, M.A. y Coen, G.M. 1992. Characterization of soil quality: physical and chemical criteria. *American J. of Alternative Agriculture*. 7: 25-31.
- Astier - Calderón, M., M. Maass- Moreno y J. Etchevers Barra. 2002. Derivación de Indicadores de calidad de suelos en el contexto de la agricultura sustentable. *Agrociencia*.36 (005): 605- 620.
- Arzuaga, S. A., C. Fernández - López, H. C. Dalurzo, y S. Vázquez. 2005. Fósforo total, fósforo orgánico y fosfatasa ácida, en entisoles, alfisoles y vertisoles de Corrientes con diferentes usos agrícolas. *Comunicaciones Científicas y Tecnológicas*.066: 1- 4.
- Barrios, I. 1984. Estudio de los suelos de un meandro de la llanura aluvial del río Ori. La edafología: origen, desarrollo y conceptos Disponible en:[www.euskomedia.org/PDFAnlt/vasconia/vas05/05087114.pdf](http://www.euskomedia.org/PDFAnlt/vasconia/vas05/05087114.pdf) Consultada 11 marzo de 2011.
- Black, C. A.1965 ed. Methods of soil analysis. Part 1. Physical and mineralogical properties, including statistics of measurement and sampling. Psrt 2. Chemical and microbiological properties. Agronomy Series no.9, ASA, Medison, Wis.
- Blanco-Sepúlveda, R.2009. La relación entre la densidad aparente y la resistencia mecánicacomo indicadores de la compactación del suelo. *Agrociencia*. 43 (3):231-239.
- Blum, E. H. W. 2005. Soils and climate change. *Journal of Soils & Sediments* 5 (2): 67- 68
- Blum, E.H.W. & A.A. Santelises. 1994. A concept of sustainability and resilience based on soil functions. In: DJ Greenland & I Szboles (ed.). Soil Resilience and Sustainable Land use CAB Int., Wallingford and Oxon. UK. 535-542 p.
- Brady, N.C., Weil R.R.2004. Elements of the nature and properties of soils.3a ed. Prentice Hall. Upper Saddle River, N.J. 598 p.
- Bray, R., and L. Kurtz. 1945. Determination of total, organic and available forms of phosphorus in soil. *Soil Sci*. 59: 39-45.
- Bremner, J.M. 1965. Total Nitrogen. In C.A. Black *et al.*, (ed). Methods of soil analysis, Part 2. agronomy 9. *American Society of Agronomy*. Inc. Madison, Wis. 1149-1178 p.
- Buol, S.W., R. J. Southard, R. C Graham, P. A McDaniel. 1981. Soil genesis and classification, 5<sup>th</sup> ed. Low a State University Press. 560 p.
- Buol, S. W., F.D. Hole and McCracken, R. J. 2008. Génesis y clasificación de suelos. Editorial Trillas. México. 270 p.

- Cajuste – Bontemps L. y Ma. Del C. Gutiérrez – Castorena. 2011. Geografía de Suelos de México. En Krasilnikov P., F. J. Jiménez - Nava, T. Reyna - Trujillo, N. E. García - Calderón (ed.).469 p.
- Campos – Cascaredo A., K. Oleschko, L. Cruz- Huerta, J.D. Etchevers B. y C. Hidalgo - M.2001. Estimación de Alófano y su relación con otros parámetros químicos en Andisoles de Montaña del volcán del Cofre de Perote. *TERRA Latinoamericana*. 19 (002):105-116.
- Campillo R. R., C. Segundo-Urquiaga, I. Pino y A.Montenegro.2003. Estimación de la fijación biológica de nitrógeno en leguminosas forrajeras mediante la metodología del 15N. *Agronomía técnica*. 63(2):104-118
- Cañizales P. N., M. Tovar y M. Ruiz. sin año. Actividades enzimáticas en suelos aluviales de los llanos centro – occidentales. Universidad Nacional Experimental Rómulo Gallegos, San Juan de los Morros, Guárico.7 p.
- Castillo – Sánchez, V. M. 2004.La estrategia temática para la protección del suelo: un instrumento para el uso sostenible de los suelos en Europa. *Ecosistemas revista Científica y Técnica de Ecología y Medio Ambiente*. 13 (001).
- Cerón, C. P. y Riascos Yilton. 2005. Calidad de suelos de ladera a partir del conocimiento de agricultores de Caldon en el suroeste de Colombia. *Agronomía Colombiana*. 23 (1): 143 -153.
- Chaer-Guilherme M., J.P. Bottomley, D. Myrold.2009. A soil quality index based on the equilibrium between soil organic matter and biochemical properties of undisturbed coniferous forest soils of the Pacific Northwest. *Soil biology & biochemistry*. 41:822-830.
- Clayton, J.L., G. Kellogg and N. Forrester. 1987. Soil disturbance-tree growth relations in central Idaho clearcuts. Research Note INT-372. Ogden, UT: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Intermountain Research Station. 6 p.
- Crespo, G., S. Lok, I. Rodríguez. 2004. Producción de hojarasca y retorno de N, P y K en dos pastizales que difieren en la composición de especies. *Revista Cubana de Ciencia Agrícola*. 38 (11): 97-101.
- Collins - Douglas P., H.P. Collins, I .A Bary, R. Richard, G. Cogger-Craig, A.C Kennedy and T. Thomas. 2011. Farm-Scale Variation of Soil Quality Indices and Association with Edaphic Properties electronic resource. *Soil Science Society of America journal*.75 (2).
- CONAFOR, 2004. Manual de protección, restauración y conservación de suelos forestales, Comisión Nacional Forestal, SEMARNAT, México.100 pp.
- Cuevas- Becerra, J. 2006. Efecto de la materia orgánica y el manejo sobre la hidrofobicidad de suelos volcánicos. *Revista de la Ciencia del Suelo y Nutrición. Vegetal*. 6 (2):13-27
- Del Pino, A. Cationes: Calcio-Magnesio- Potasio – Sodio. Disponible en: [www.fagro.edu.uy/~fertilidad/curso/docs/cationes.pdf](http://www.fagro.edu.uy/~fertilidad/curso/docs/cationes.pdf). Consultada 27 enero de 2013.
- Donato- Garzón, L.D., 2004. Modelo de conductividad Hidráulica en suelos.Tesis de Magister en Ingeniería- Recursos Hidráulicos. Universidad Nacional de Bogotá. Facultad de Ingeniería.
- Doran, J. W. and T.B. Parkin.1994. Defining and assessing soil quality.In: Defining and Assessing Soil Quality for sustainable Environment. Soil Science society of America, Inc. Special Publication. Number 35. Madison, Wconsin, USA.
- Doran, J. W and M. R. Zeiss.2000. Soil health and sustainability: managing the biotic component of soil quality. *Applied Soil Ecology*.15: 3 -11.
- Doran J.W. 2002. Soil Health and Global Sustainability Translating Science into practice. *Agriculture Ecosystems Environment*. 88: 119-12.
- Duchaufour, Ph.1970.Précis de pédologie. 3<sup>eno</sup> ed.Mason Paris. 481 p
- Elser J. y E. Bennett.2011. A broken biogeochemical cycle .*Nature*.478:29-31.

- El suelo: concepto y formación. Disponible en: <http://edafologia.ugr.es/introeda/tema01/factform.htm>. Consultada 20 diciembre de 2012.
- FAO y los ocho objetivos de Desarrollo del Milenio Disponible en: <http://www.fao.org/mdg/es/> Consultada 18 de noviembre 2011.
- Foth, H.D.2008.Fundamentals of soil science.9<sup>th</sup> ed. John Wiley sons. New York, N.Y.
- Franco - Maass, S., H. H Regil - García, C. González y G. Nava, G. 2006. Cambio de uso del suelo y vegetación en el Parque Nacional Nevado de Toluca, México en el período 1972-2000. *Investigaciones Geográficas*. Boletín del Instituto de Geografía de la UNAM. 61: 38-57.
- Garbisu, C., J.M. Becerril, L. Epelde y I. Alkorta.2007. Bioindicadores de la eficacia de un proceso fitorremediador. *Ecosistemas Revista Científica de Ecología y Medio Ambiente*.16 (2): 1-6.
- Galicia, L., J. López - Blanco, A.E. Zarco - Arista, V. Filips, F. García - Oliva. 1999. The relationship between solar radiation interception and soil water content in a tropical deaduous forest in Mexico. *Catena*. 36:153 - 164.
- González, C.S. 2007. Historia de la Ciencia del suelo 1ª parte. Ed Juan José Ibáñez. Disponible en: <http://www.madrimasd.org/blogs/universo/2007/04/26/64451>. Consultada 18 de noviembre 2011.
- Harold, W., y Hocker, Jr. 1984. Introducción a la Biología Forestal. AGT Editor, S.A. México. 446 p.
- Hutchinson, J.N. 1988. "Morphological and geotechnical parameters of landslides in relation to geology and hydrogeology". In Ch. Bonnard (Ed.): Landslides. Proceedings 5th International Conference on Landslides. Lausanne. 1: 3-35.
- INE, Análisis físicos y químicos en suelo. Disponible en: [www.ine.gob.mx/publicaciones/libros/509/analisis.pdf](http://www.ine.gob.mx/publicaciones/libros/509/analisis.pdf). Consultada 22 marzo de 2013.
- INE.2006.Manual de técnicas de análisis de suelos contaminados. Disponible en: [www.ine.gob.mx/publicaciones/download/509.pdf](http://www.ine.gob.mx/publicaciones/download/509.pdf). Consultada 20 marzo de 2013.
- INEGI. Disponible en: <http://www2.ine.gob.mx/publicaciones/libros/312/sueloconc.html>. Consultada 17 octubre 2011.
- INEGI. 2005. México en cifras Disponible en: <http://www.inegi.org.mx/sistemas/mexicocifras/default.aspx?e=15>. Consultada 17 de octubre 2011.
- INEGI (Instituto Nacional de Estadística y Geografía) .2010. Documento técnico descriptivo de la red hidrográfica escala 1: 20 000. Edición:2.0.
- INEGI. Censos de población y vivienda 1995 y 2005 y los Censos de población y vivienda 1990 y 2000.
- INEGI. mapa digital de México visualizador 5.0. Consultado 27 mayo de 2012.
- ISRIC. 2002. Procedures for soil analysis.6 ed. ISRIC-FAO.
- Jackson, M.L. 1982.Análisis químico de suelos .Ediciones Omega, S.A. Barcelona, España.
- Jenny, H.1941. Factors of soil formation. McGraw- Hill,Nueva York.
- Jiménez - Perálvarez, D. Tesis Doctoral "Análisis de la susceptibilidad a los movimientos de ladera mediante un SIG en la Cuenca vertiente al Embalse de Rules, Granada". Disponible en [www.ugr.es/%7Ejorgejp/produccion.htm](http://www.ugr.es/%7Ejorgejp/produccion.htm). Consultada 20 marzo de 2013
- Karlen D.L., M. J. Mausbach, J. W. Doran, R. G. Cline, R. F. Harris, and G. E. Schuman.1997. Soil Quality: A Concept, Definition, and Framework for Evaluation (A Guest Editorial). *Soil Science Society American Journal*. 61:4:10

- Joinville S., M. Revault, H. Quiquampoix, M.H. Baron. 2004. Structural Effects of Drying and Rehydration for Enzymes in Soils: Kinetics-FTIR Analysis of Chymotrypsin Adsorbed on Montmorillonite. *Journal of Colloid and Interface Science*. 273: 414–425.
- Julca - Otiniano, A., L. Meneses - Florián, R. Blas - Sevillano, S. Bello - Amez. 2006. La Materia Orgánica, importancia y experiencias de su uso en la agricultura. IDESIA (Chile). 24 (1): 49-6.
- Karlen, D.L., Mausbach, M.J., Doran, J.W., Cline, R.G., Harris, R.F. and G.E. Schuma. 1997. Soil quality: a concept, definition and framework for evaluation. *Soil Science Society of America J.* 61: 4-10.
- Krasilnikov, P., N.E. García – Calderón, E. Fuentes –Romero. E. 2007. Pedogenesis and slope processes in subtropical mountain áreas, Sierra Sur de Oaxaca, México. *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas*. 24: 469-486.
- Lal. R., R.F. Follet, J. Kimble, and C.V. Cole. 1999. Managing US cropland to sequester carbon in soil. *Soil Water Conser.* 54:374-381.
- Levine, E. 2001. Soil forming factor NASA'S Goddard Space Flight Center. Disponible en: <http://soil.gsfc.nasa.gov/prgfactos.htm>. Consultada 10 febrero de 2013.
- Liu , S.L, X.D. Guo, B.J. Fu, G. Lioan , J. Wang. 2007. The effect of environmental variables on soil characteristics at different scales in the transition zone of the Loess Plateau in China. *Soil Use Management*. 23: 92-99.
- Llorente - Isidro, M. Geología 2002. Formaciones Superficiales. Resumen del Manual de Edafología – P. H. Douchafour, 1987.
- Martínez, G. 2003. Carta geomorfológica E14A18. Tesis presentada para obtener el grado de Licenciatura en Geografía. Universidad Autónoma del Estado de México. Toluca, México.
- Meza- Pérez, E. y D. Geissert – Kientz. 2006. Estabilidad de estructura en andisoles de usos forestales y cultivados. *TERRA Latinoamericana*. 24 (2):163-170.
- Moya, R., V. Arce, E. González, C. Olivares, y V. Ríos. 2010. Efecto de las propiedades físicas y químicas del suelo en algunas propiedades de la madera de teca (*Tectona grandis*). *Revista Árvore*. 34 (6): 1109- 1118.
- Mueller, L., U. Schindler, W. Mirschel, T.G. Shepherd, B.C. Ball, K. Helming., J. Rogasik, F. Eulenstein and H. Wiggering. 2010. Assessing the productivity function of soils a review. *Agronomy for Sustainable Development*. 30 (601-614).
- Munsell Soil Color Charts. 2000. Revised washable edition. Munsell Color, New Windsor, NY.
- Muñoz - Iniestra, D.J., López, G.F., Hernández, M.M., Soler, A. A. y López, G. J. 2009. Impacto de la pérdida de la vegetación sobre las propiedades de un suelo aluvial. *TERRA Latinoamericana*. 27 (3): 237-246.
- Nichols, K.A and M. Toro. Whole soil stability index (WSSI) for evaluating soil aggregation. *Soil & tillage research*. 111 (2): 99-104.
- NOM-021-SEMARNAT. 2000. Norma oficial mexicana que establece las especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelos. Estudios, muestreos y análisis. 31 Diciembre 2002, segunda edición. Secretaria de Medio Ambiente y Recursos Naturales.
- NRCS (United States Department of Agriculture). August 2010. Soil Quality Fact Sheet. Soil Water. Helping People Help the Land.
- Ochoa V., B. Hinojosa, B. Gómez-Muñoz y R. García - Ruíz. 2007. Actividades enzimáticas como indicadores de calidad del suelo en agroecosistemas ecológicos. *Revista electrónica Universidad de Jaén*.
- ONU. Declaración del Milenio. Disponible en: [www.un.org/spanish/milenio/ares552.pdf](http://www.un.org/spanish/milenio/ares552.pdf). Consultada 25 marzo de 2011.

- Ortíz - Solorio C.A. 2005. Levantamiento Fisiográfico. Programa de Edafología Colegio de Postgraduados, Texcoco México. 12 p.
- P. Diederich.2011.A broken biogeochemical cycle. *Nature*. 478:29 - 31
- Page- Dumroese, D.S., A.M. Abbott and T.M. Rice. 2013. Protocolo para la Evaluación de Disturbios en Suelos Forestales. Volumen II: Métodos Complementarios, Estadística y Recolección de Datos. USDA.
- Page-Dumroese, D., M. Jurgensen, W. Elliot. 2000. Soil quality standards and guidelines for forest sustainability in northwestern North America. *Forest Ecology and Management*. 138: 445 - 462.
- Perdomo, C. H., O. N. Casanova y V. Ciganda. 1998. 4º Congreso Latinoamericano de Hidrología Subterránea. Relevamiento de Contaminación de aguas con NO<sub>3</sub>- en distintas zonas del Uruguay. ALHSUD, Montevideo – Uruguay, 16 al 20 de noviembre de 1998. 2: 962
- Pineda-Jaimes, N.B., J. Bosque- Sedra, M. Gómez-Delgado y W. Plata-Rocha.2009. Análisis de cambio del uso del suelo en el Estado de México mediante sistemas de información geográfica y técnicas de regresión multivariantes. Una aproximación a los procesos de deforestación, *Investigaciones Geográficas*. Boletín del Instituto de Geografía, UNAM, 69: 33-55.
- Pinot, R, H. (2000). Manual de Edafología. Ed.Computec. Chile.
- Porta-Casanellas, J., M. López-Acevedo, C. Roquero. 1993. Edafología para la agricultura y el medio ambiente. Ediciones Mundi-Prensa. Madrid. 807 p.
- Programa de Ordenamiento Ecológico del Territorio del Estado de México (actualización, 2006)
- Prontuario de Información Geográfica municipal de los Estados Unidos Mexicanos Jilotepec, México Clave geoestadística, 2009.
- Quinto, I., P.A. Martínez-Hernández, I. Pimentel - Bribiesca y D.A Rodríguez-Trejo.2009.Planeación de un sistema silvopastoril en ladera en Huatusco. Veracruz aplicando el método Nezahualcóyotl. *Revista Chapingo*. Serie ciencias forestales y del ambiente.15 (2): 141-146.
- Reeves, D.W. 1997. The role of soil organic matter in maintaining soil quality in continuous cropping systems. *Soil Tillage Res*. 43:131-167.
- Rojas, W. C.2006. Interpretación de la disponibilidad de Fósforo en los suelos de Chile. Centro Regional de Investigación INIA La Plata. Conferencia Manejo de los Recursos Naturales en el Sistema de Incentivos para la Recuperación de Suelos Degradados de La Araucanía, Temuco, 17-19 Ene 2006.
- Russell E.J. y A.Wild.1992.Condiciones del suelo y desarrollo de las plantas según Russell. Disponible en: [books.google.com.mx/books?isbn=847114400X](http://books.google.com.mx/books?isbn=847114400X). Consultada 12 marzo de 2013.
- Rueda - Fernández M.J. y Paz González A. 1998. Influencia del contenido en materia orgánica sobre las propiedades físicas del suelo. 23: 101-119.
- Santana - Castañeda G. 2009. Descripción del cambio de uso y cobertura en los bosques primarios del Estado de México, Durante 1976- 2000, Facultad de Geografía, UAEMéx. 17 p.
- Sánchez V., R. Castelán y J. V. Tamariz. Efectos de la Actividad Agrícola sobre las propiedades físicas de los Luvisoles de la Sierra Norte del Estado de Puebla. Escuela de Biología. Benemérita Universidad Autónoma de Puebla, DICA – Instituto de Ciencias. Benemérita Universidad Autónoma de Puebla Disponible en: [http://www.uaemex.mx/Red\\_Ambientales/docs/memorias/Extenso/CB/EC/CBC-19.pdf](http://www.uaemex.mx/Red_Ambientales/docs/memorias/Extenso/CB/EC/CBC-19.pdf). Consultada 09 marzo de 2012.
- Sánchez, J. 2007.Fertilidad del suelo y nutrición mineral de plantas: Conceptos Básicos parte I: fertilidad del suelo. Disponible en: [www.agronegociosperu.org/.../....](http://www.agronegociosperu.org/.../....) Consultada 06 abril de 2013.

- Sanjaume, Ma.S. y R.J.Batalla- Villanueva.1999.Teoría y Métodos en Geografía física. Editorial síntesis. España. 304 p.
- Schipper L.A. y Sparling G. P. 2000.Performance of Soil Condition indicators across taxonomic Groups and Land Uses. *Soil Science Society American Journal*. 64: 300-311.
- SchjØrning, P., S. Elmholt and B. T. Christensen. 2004. Soil quality management- Concepts and Terms.
- Scowcroft, P.G., J.E. Haraguachi, N.V.2004Refoestation and topography affect montane soil properties, nitrogen pools and nitrogen transformations in Hawai. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 68:959 - 968.
- SEMARNAT.2003. Indicadores Básicos del Desempeño Ambiental de México 2005. 348 p.
- SEMARNAT, 2005. Inventario Forestal Nacional, 2000.
- Siebe, C., H. Reinhold y K. Stahr. 2006 (2 eda) edición. Manual para la descripción y evaluación ecológica de suelos en el campo.2da edición.
- Siebe C., G. Bocco, J. Sánchez y A. Velázquez Suelos: distribución, características y potencial de uso. Disponible en: [www.ciga.unam.mx/investigadores/zacatucho/PDF/613Capitulos%20en%20Libros/6131Nacionales/6131-18.pdf](http://www.ciga.unam.mx/investigadores/zacatucho/PDF/613Capitulos%20en%20Libros/6131Nacionales/6131-18.pdf) .Consultada 15 diciembre de 2012.
- Silva A. en La materia orgánica del suelo. Disponible en: [www.fagro.edu.uy/.../Material%20de%20lectura/Materia%20Organic](http://www.fagro.edu.uy/.../Material%20de%20lectura/Materia%20Organic). Consultada 27 marzo de 2013.
- Singer, M.J. y Ewing S. 2000. Soil Quality. En Handbook of Soil Science. Chapter 11: 271-298
- Strahler. N.A.1984.Geografía física. Ediciones Omega, S.A.septima edición. Barcelona.
- Soil Survey U.S. National Cooperative.1994.Soil Taxonomy: A Basic System of Soil Classification for Making and Interpreting Soil Surveys.
- Taylor, M. D., N. D. Kim, R. B. Hill & R. Chapman Waikato..2010. A review of soil quality indicators and five key issues after 12 yr soil quality monitoring in the Waikato region. *Soil Use and Management*.26: 212–224.
- Universidad Autónoma Chapingo México. El suelo: concepto y formación. Disponible en: <http://edafologia.ugr.es/introeda/tema01/factform.htm>. Consultada 20 diciembre 2012.
- USDA (Natural Resources Conservation Service).1996. Soil Quality Information. Sheet:Indicators for Soil Quality Evaluation.
- USDA (Natural Resources Conservation Service).1998.La Calidad del Suelo: biodiversidad del suelo.
- USDA (Natural Resources Conservation Service). 2001. Soil Quality Information Sheet: Soil Quality – Introduction.
- USDA (Natural Resources Conservation Service). 2003. NRCS (United States Department of Agriculture). Instituto de Calidad del Suelo: Manejo de la materia orgánica del suelo, la clave para la calidad del aire y el agua.
- USDA (Natural Resources Conservation Service).2008.Soil Quality Indicators. Soil Structure & Macropores.
- USDA (Natural Resources Conservation Service).2008.Soil Quality Indicators. Aggregate Stability.
- USDA (Natural Resources Conservation Service).2008.Soil Quality Indicators. Available Water Capacity.
- USDA (Natural Resources Conservation Service).2008.Soil Quality Indicators. Bulk Density.

- USDA (Natural Resources Conservation Service). Soil Quality Institute .1998. Efectos de la erosión del suelo en su productividad y calidad. Calidad del suelo- Agronomía.
- USDA (Natural Resources Conservation Service).2009.Indicadores de Calidad de Suelo.
- USDA Natural Resources Conservation Service.2011. Soil Quality Indicators: Soil pH.
- Velázquez, A. E., I. Durán, J. Ramírez, F. Mass, G. Bocco, G. Ramírez y J. L. Palacios. 2003. Land use cover change processes in highly biodiverse areas; the case of Oaxaca, México. *Global Environmental Change* .13: 175 -184.
- Varnes, D.J. 1978. "Slope movement types and processes". In R.L. Schuster y R. J.
- Krizek (Eds.) Landslides: analysis and control. Transportation Research Board. 176: 11-33.
- Uzcátegui,J., Y. Araujo, L. Mendoza.2011.Residuos de plaguicidas organoclorados y su relación con parámetros físico-químicos en suelos del municipio Pueblo Llano, estado Mérida. *Bioagro*. 23 (2):115-120.
- Varnes, D.J.1974.The logic of Geological Maps,with reference to their interpretation and use for engineering purposes, U.S. Geological survey Prof.48 p.
- Varnes, D.J. 1978. "Slope movement types and processes". In R.L. Schuster y R. J. Krizek (Eds.) *Landslides: analysis and control*.transportation Research Board. Special report 176: 11-33.
- Vergara-Sánchez, M. Á., J.D. Etchevers -Barra, y M. Vargas-Hernández. 2004. Variabilidad del carbono orgánico en suelos de ladera del sureste de México. *TERRA Latinoamericana*, 22 (3): 359-367.
- Walkley, A. L. and Black, A. (1947). A rapid determination of soil organic matter. *J. Agric. Sci.* 25: 563-568.

#### Bibliografía de apoyo

- Crespo, G. 2011. Instituto de Ciencia Animal La Habana, Cuba. Comportamiento de la materia orgánica del suelo en pastizales. *Revista Cubana de Ciencia Agrícola*. 45 (4): 343-347.
- Cumbre Mundial sobre Desarrollo Sostenible. 2002. Johannesburgo.
- Geología. Movimiento de ladera. Universidad de Cantabria.
- Gómez y Aparicio.1980. Relieve: Curvas de nivel. 321-325.
- González de Vallejo, L.I. (coordinador) .2002. "Ingeniería Geológica". Precinte Hall.Madrid. 744 p.
- <http://elocal.gob.mx/work/templates/enciclo/EMM15mexico/municipios/15045.html> Consultada 17 octubre de 2011.
- <http://www.Proyectos/SuelosContaminados/Manuales/Autodepuracionsuelos.asp>.Consultada 22 febrero de 2013.
- Jordi Corominas. Tipos de Rotura en laderas. Universidad Politécnica de Barcelona.
- Luffiego - García, Máximo y Rabadán Vergara, José María.2000. Historia y Epistemología de las Ciencias. La evolución del concepto de sostenibilidad y su introducción en la enseñanza.
- Mingorance - Álvarez Ma. D. El suelo, regulador fisicoquímico de elementos traza para las plantas. Disponible en: [digital.csic.es/bitstream/10261/29768/17/mingorance.pdf](http://digital.csic.es/bitstream/10261/29768/17/mingorance.pdf).Consultada 20 marzo de 2013.
- Naredo, J.M. 1996. Sobre el origen, el uso y el contenido del término sostenible. Evaluating ecosystem states: two competing paradigms. *Ecological Economics*, 14:113- 12.

- Presidencia de la Republica.2007. Plan Nacional de Desarrollo 2007-2012 Sustentabilidad ambiental. Disponible en: <http://pnd.calderon.presidencia.gob.mx/sustentabilidad-ambiental.html>. Consultada 25 de noviembre 2011.
- Sutinen, R., N. Paavo, H. Hannu, M. Piekkari & M.L. Sutinen.2010. Impact of intensive forest management on soil quality and natural regeneration of Norway spruce. *Springer Science Business Media*. 336:421–431.
- Riechmann, J. 1995. Desarrollo sostenible: la lucha por la interpretación, en Riechmann, J. *et al.* (eds.). De la economía a la ecología. Madrid: Trotta.
- S. Fadda, G. Metodología para los Estudios de suelos en Campo. Facultad de Agronomía y Zootecnia, Universidad Nacional de Tucumán.
- Sharma K.L., J. Kusuma -Grace, K. Srinivas, B. Venkateswarlu, G. R. Korwar, G. Maruthi Sankar, Uttam Kumar Mandal, V. Ramesh, V. Hima Bindu, M. Madhavi, and Pravin N. Gajbhiye.2009. Influence of Tillage and Nutrient Sources on Yield Sustainability and Soil Quality under Sorghum–Mung Bean System in Rainfed Semi-arid Tropics. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*. 40: 2579–2602.
- Smith, J. L. and J.J. Halvorson.2011. Field Scale Studies on the Spatial Variability of Soil Quality Indicators in Washington State, USA. *Applied and environmental soil science*.7 p.
- UINC-PNUMA-WWF. 1991. Cuidar la Tierra. Estrategia para el futuro de la vida. Gland (Suiza)
- Velázquez-García, J., J. Oleschko, K. Muñoz-Villalobos, J.A. Velásquez-Valle, Miguel A.;Girón-Ríos, Yolanda;Martínez-Menes, Mario;Figueroa-Sandoval, Benjamín. 2007. El color del Andosol como un indicador de su calidad física bajo el manejo. *TERRA Latinoamericana*. 25 (1):1-8