



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA CHAPINGO

DIVISIÓN DE CIENCIAS FORESTALES

MAESTRÍA EN CIENCIAS CIENCIAS FORESTALES

**ALTERACIONES FÍSICAS, QUÍMICAS Y BIOLÓGICAS EN SUELOS
FRAGMENTADOS DE BOSQUE MESÓFILO DE MONTAÑA POR
ACTIVIDADES DE CAMBIO DE USO DE SUELO**

TESIS

Que como requisito parcial para obtener el grado de:
Maestro en Ciencias en Ciencias Forestales

Presenta:

JACOBO SEGURA DULCE LILIANA

Bajo la supervisión de: DRA. ELIZABETH HERNÁNDEZ ACOSTA



Chapingo, Estado de México, Febrero de 2017.



DIRECCION GENERAL ACADEMICA
DPTO. DE SERVICIOS ESCOLARES
DPTO. DE EXAMENES PROFESIONALES

ALTERACIONES FÍSICAS, QUÍMICAS Y BIOLÓGICAS EN SUELOS
FRAGMENTADOS DE BOSQUE MESÓFILO DE MONTAÑA POR
ACTIVIDADES DE CAMBIO DE USO DE SUELO

Tesis realizada por **JACOBO SEGURA DULCE LILIANA** bajo la supervisión
del Comité Asesor indicado, aprobada por el mismo y aceptada como
requisito parcial para obtener el grado de:

MAESTRO EN CIENCIAS EN CIENCIAS FORESTALES

DIRECTOR:



Dra. Elizabeth Hernández Acosta

ASESOR:



Dr. Leopoldo Mohedano Caballero

ASESOR:



Dr. David Cristóbal Acevedo

DEDICATORIAS

A mis padres
Raúl Jacobo Ríos y Virginia Segura Martínez
y con especial afecto a Jorge Rodrigo Dávila García y Alondra Jacobo
Segura.

AGRADECIMIENTOS

...Expreso mi gratitud a todas y cada una de las personas que con sus aportaciones hicieron posible la culminación de este trabajo...

Dr. Leopoldo Mohedado Caballero y Dr. David Cristóbal Acevedo,
por la revisión del manuscrito y sus valiosos comentarios, Gracias.

Dra. Elizabeth Hernández Acosta,
como directora de tesis, reciba mi más grande y sincero reconocimiento.
Gracias por cada una de sus observaciones, paciencia y sólido apoyo
profesional durante todo este tiempo.

*Sin olvidar incluir en estos agradecimientos, hago mención del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT) y de la Universidad Autónoma Chapingo de la cual forma parte el programa de Maestría en Ciencias en Ciencias Forestales de la DICIFO.

DATOS BIOGRÁFICOS

Datos personales

Nombre Dulce Liliana Jacobo Segura

Fecha de nacimiento 20 de noviembre de 1986

Lugar de nacimiento Texcoco, Estado de México

CURP JASD861120MMCCGL07

Profesión Licenciatura en Biología

Cédula profesional 7126399

Desarrollo académico

Bachillerato Colegio de Ciencias y Humanidades, Plantel Vallejo

Licenciatura Facultad de estudio Superiores Iztacala

ALTERACIONES FÍSICAS, QUÍMICAS Y BIOLÓGICAS EN SUELOS FRAGMENTADOS DE BOSQUE MESÓFILO DE MONTAÑA POR ACTIVIDADES DE CAMBIO DE USO DE SUELO

PHYSICAL CHEMICAL AND BIOLOGICAL ALTERATIONS IN FRAGMENTED SOILS OF TROPICAL CLOUD FOREST BY ACTIVITIES OF SOIL USE CHANGE

Jacobo-Segura D. L.¹., Hernández-Acosta, E²

RESUMEN

En México uno de los ecosistemas más importantes por la biodiversidad y los servicios ambientales que brinda al medio ambiente es el Bosque Mesófilo de Montaña. Sin embargo, por años ha estado sujeto a fuertes impactos antropogénicos tales como la conversión de sus superficies a potreros para pastoreo de ganado, a tierras para cultivos forrajeros y en años más recientes la forestación de estos sitios con plantaciones de pino. Dichos cambios de uso de suelo han provocado modificaciones sobre algunas propiedades físicas químicas y biológicas de los suelos. El presente estudio tuvo como objetivo evaluar los cambios que ocurren en los suelos forestales fragmentados de Bosque Mesófilo de Montaña en la zona centro del estado de Veracruz, municipio de Acajete, como efecto de su conversión a pastizales, potreros y plantaciones. La metodología a seguir consistió en determinar las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo, para ello se identificaron previamente cuatro unidades de muestreo: bosques sin perturbar (considerado como el testigo), plantación, pastizal y relicto de bosque. De las propiedades del suelo analizadas la materia orgánica, pH, densidad aparente, contenido de humedad, conductividad eléctrica, potasio, nitrógeno, y número de bacterias difirieron significativamente entre los tipos de uso de suelo; mientras la capacidad de intercambio catiónico, magnesio, calcio, fosforo, hongos y actinomicetos no presentaron diferencias significativas estadísticamente lo que señala que los sistemas de plantación y pastizal impactan de manera diferente el recurso suelo.

Palabras clave: Conversión de ecosistemas, suelos, propiedades del suelo

ABSTRACT

In Mexico one of the most important ecosystems due to the biodiversity and the environmental services that it provides to the environment is the tropical montane cloud forest. However, for years it has been subject to strong anthropogenic impacts such as the conversion of its land to grazing pastures, to land for fodder crops and in more recent years the afforestation of these sites with pine plantations. Such changes in soil use have led to changes in some of the physical and biological properties of soils. The present study aimed to evaluate the changes occurring in the fragmented forest soils of the tropical montane cloud forest in the central area of the state of Veracruz, municipality of Acajete, as a result of its conversion to pastures, pastures and plantations. The methodology used was to determine the physical, chemical and biological properties of the soil. Four sampling units were identified: forest without disturbance (considered as the control), plantation, pasture and forest relict. Of the soil properties analyzed, organic matter, pH, bulk density, moisture content, electrical conductivity, potassium, nitrogen, and number of bacteria differed significantly among the types of soil use; While the cation exchange capacity, magnesium, calcium, phosphorus, fungi and actinomycetes did not present statistically significant differences, which indicates that the plantation and pasture systems impact the soil resource differently.

Keywords: Conversion of ecosystems, soils, soil properties

¹ Tesista

² Director

INDICE

INTRODUCCIÓN.....	9
OBJETIVOS.....	11
REVISIÓN DE LITERATURA.....	12
1. Cambio de uso de suelo: Deforestación y Fragmentación de Ecosistemas.....	12
2. Bosque Mesófilo de Montaña.....	13
2.1. Generalidades	13
2.1.1. Clima.....	13
2.1.2. Vegetación	13
2.1.3. Edafología.....	14
2.2. Su conversión a otros usos.....	14
2.2.1. Pastizales y plantaciones.....	16
METODOLOGÍA	17
1. Área de estudio	17
1.1. Localización geográfica y orografía	17
1.2. Hidrografía	18
1.3. Fisiografía	18
1.4. Edafología.....	19
1.5. Uso de suelo.....	19
1.6. Clima y precipitación pluvial	20
1.7. Ecosistema y vegetación	20
2. Unidades de muestreo.....	20
2.1. Descripción del área de muestreo	22
2.1.1. Bosque sin perturbar.....	22
2.1.2. Bosque perturbado.....	22
2.1.3. Plantación	23
2.1.4. Pastizal	23
3. Muestreo de suelos.....	24
4. Trabajo de laboratorio	26
4.1. Determinaciones físicas y químicas	27
4.2. Determinaciones biológicas.....	27
4.2.1. Técnica de diluciones seriadas y recuento en placa por siembra en superficie	28
4.2.1.1. Consideraciones generales	28
4.2.1.2. Medios de cultivo (elaboración)	28
4.2.1.3. Disoluciones seriadas.....	30
4.2.1.4. Recuento en placa.....	31
4.2.1.4.1. Siembra en superficie	31
4.2.1.4.2. Conteo del número de colonias totales.....	32
4.3. Análisis de datos	33
4.3.1. Modelo estadístico	33
RESULTADOS Y DISCUSIÓN	35
1. Características físicas de los suelos.....	35
1.1. Textura	35

1.2.	Contenido de humedad	36
1.3.	Densidad aparente	37
1.4.	Color	38
2.	Características químicas de los suelos	39
1.1.	pH	40
1.2.	Materia orgánica	41
1.3.	Conductividad eléctrica.....	42
1.4.	Capacidad de intercambio catiónico.....	42
1.5.	Macronutrientes	44
1.5.1.	Nitrógeno inorgánico	44
1.5.2.	Fosforo	44
1.5.3.	Potasio	45
1.5.4.	Calcio y magnesio.....	46
3.	Características biológicas de los suelos	47
3.1.	Poblaciones de bacterias totales	47
3.2.	Poblaciones totales de hongos y actinomicetos	48
CONCLUSIÓN.....		50
LITERATURA CITADA		51
LITERATURA CONSULTADA		59
APÉNDICE		60
1.	Contenido de humedad	60
2.	Densidad aparente.....	61
3.	pH.....	62
4.	Materia orgánica.....	63
5.	Conductividad eléctrica.....	64
6.	Capacidad de intercambio catiónico.....	65
7.	Macronutrientes	66
7.1.	Nitrógeno	66
7.2.	Fósforo	67
7.3.	Potasio	68
7.4.	Calcio	69
7.5.	Magnesio	69
8.	Poblaciones totales de microorganismos	70
8.1.	Bacterias	70
8.2.	Hongos.....	71
8.3.	Actinomicetos.....	71

INDICE DE FIGURAS

Figura 1.	Ubicación del municipio del área de estudio.	18
Figura 2.	Unidades de muestreo.....	25

INDICE DE TABLAS

Tabla 1.	Área de las unidades de muestreo.....	21
Tabla 2.	Medios de cultivo.	29
Tabla 3.	Resultados obtenidos para los parámetros físicos del suelo.	35
Tabla 4.	Resultados obtenidos para los parámetros químicos del suelo.....	39
Tabla 5.	Resultados obtenidos para los parámetros biológicos del suelo.	47

INTRODUCCIÓN

El suelo es el sustento de las actividades productivas primarias, como lo son la agricultura, la ganadería y las actividades forestales. Este cumple con importantes funciones de las cuales se derivan “múltiples” servicios ambientales indispensables para el sostenimiento tanto del ecosistema como de la vida humana, cuando se encuentra en equilibrio.

Sin embargo, si este equilibrio se rompe como resultado de la transformación de los ecosistemas por perturbaciones antropogénicas de cambio de uso, la evolución natural del suelo se detiene y adquieren preponderancia una serie de procesos que conducen a cualquier alteración relativamente discreta y repentina en el tiempo que pueda originar el deterioro de sus propiedades y por consiguiente una posible disminución de su calidad. Estas alteraciones varían en extensión, gravedad, frecuencia, duración y tiempos de recuperación. Y para su evaluación y monitoreo, se utilizan como indicadores algunas de sus propiedades, características o procesos, es decir un conjunto mínimo de datos que nos proporciona información sensible, confiable y significativa (Larson y Pierce 1991 y Doran et al., 1994) en la determinación de los cambios que un suelo sometido a una condición específica experimenta (Bredja, et al., 2000).

De esta forma, el análisis de los suelos nos aproxima a conocer el comportamiento básico del recurso, la influencia que ejercen sus propiedades en su desarrollo, su interacción con otros elementos, los cambios que sufre, y la proporción en qué dichas perturbaciones afectan su integridad y la del ecosistema (Wu 1995).

Si bien los estudios sobre los procesos de cambio en la cobertura y uso del suelo forman parte de los intereses prioritarios de la investigación ambiental actual, la información existente como evidencia científica que incida en la toma de decisiones para estrategias nacionales de conservación y gestión en la mayoría de los ecosistemas (Dale *et al.* 1998) y en materia de perturbaciones antropogénicas de cambio de uso de suelo y deforestación (Turner *et al.* 1997; Turner y Dale, 1998) resulta insuficiente por lo y tanto estas actividades siguen destacando como principales causas de pérdida de los recursos forestales (AMC, 2012).

OBJETIVOS

Objetivo general:

Evaluar los cambios que ocurren en algunas propiedades de los suelos forestales fragmentados de Bosque Mesófilo de Montaña en la zona centro del estado de Veracruz, municipio de Acajete, después de su conversión a pastizales y plantaciones, para situar el efecto que estas actividades de cambio de uso de suelo producen sobre el mismo.

Objetivos particulares:

- Caracterizar las propiedades físicas, químicas y biológicas en los suelos forestales fragmentados de Bosque Mesófilo de Montaña por cambio de uso de suelo para situar su nivel de variación.
- Estimar si las alteraciones producidas por actividades de cambio de uso de suelo en cada una de las propiedades analizadas, son cambios significativos estadísticamente.

REVISIÓN DE LITERATURA

1. CAMBIO DE USO DE SUELO: DEFORESTACIÓN Y FRAGMENTACIÓN DE ECOSISTEMAS

La transformación en integridad y diversidad biológica, a la que están sujetos los ecosistemas, se suscita bajo la influencia constante y generalizada de una amplia gama de perturbaciones de carácter antropogénico (Turner *et al.* 1998). De estas perturbaciones el cambio de uso de suelo, es considerado una de las más importantes, al involucrar directamente la pérdida de cobertura vegetal y la fragmentación de sistemas naturales a nivel global (Arriaga *et al.*, 2000) y en su forma más simple se define como todas aquellas actividades humanas directamente relacionadas a la tierra, que comienzan siempre con la deforestación (Lal 1998), hacen uso de sus recursos o que tienen un impacto en ella (FAO, 1995; Roncal-García *et al.*, 2008) disminuyendo su capacidad para mantener ecosistemas (SEMARNAT, 2003).

En síntesis, el cambio de uso de suelo es un factor determinante de las condiciones ambientales, que principalmente por cambios en sus reservas orgánicas, sus propiedades físicas, químicas y biológicas pueden verse afectadas. Como principales actividades de cambio de uso el establecimiento y la expansión de la frontera agropecuaria, la extracción de madera, y proyectos de infraestructura (INEGI, 2011) provocan la destrucción, degradación y fragmentación de grandes superficies de bosques y selvas (Galindo-Leal, 2007), y aunque estos ecosistemas en muchos casos han sido capaces de soportar, e incluso revertir el impacto de las actividades humanas, sus límites de tolerancia se han rebasado y su existencia se sitúa en un estado de alarmante preocupación.

En México los bosques con tasa de deforestación de 319 mil hectáreas anuales perdieron, en la década de los 90 cerca de un 10% de su cobertura (Velázquez *et al.*, 2002). De estos los ubicados en la parte sur y sureste del país son los más afectados, las áreas cubiertas por bosques tropicales han alcanzado tasas de deforestación del 2% anual (Mesera *et al.*, 1997) y entre ellos, la tasa de deforestación más alta 1.1% la reportan los Bosques Mesófilos de Montaña (Doumenge *et al.*, 1995; Aldrich *et al.*, 2000).

2. BOSQUE MESÓFILO DE MONTAÑA

2.1. Generalidades

2.1.1. Clima

El clima característico de esta formación vegetal en general pertenece al tipo Cf= templado y húmedo con lluvias todo el año de la clasificación de Koeppen (1948), con una precipitación anual promedio de 2,000 mm (Challenger, 1998; Luna *et al.*, 2001) y temperatura media anual entre los 12 a 23° C.

2.1.2. Vegetación

Su composición vegetal exhibe gran variación natural, en el estrato arbóreo predominan especies de árboles caducifolios de clima templado de los géneros Liquidambar, Quercus, Fagus y Pinus. Mientras en el estrato arbustivo especies de las familias Acanthaceae, Rubiaceae y Myrsinaceae.

Entre las pteridofitas destacan numerosas especies de *Lycopodium*, *Selaginella*, *Hymenophyllaceae* y *Cyatheaceae*; y en las copas de los árboles son abundantes especies epífitas de las familias *Orchidaceae*, *Piperaceae*, *Araceae* y *Bromeliaceae* (Challenger, 1998; Rzedowski, 2006). Además de una gran cantidad de briofitas, hongos superiores, líquenes.

2.1.3. Edafología

El sustrato geológico del Bosque Mesófilo de Montaña es tan variable como en casi cualquier tipo de vegetación en México, aunque en muchas áreas se desarrolla sobre rocas sedimentarias. Los suelos pueden ser someros o profundos, amarillos, rojos o negruzcos, con abundante materia orgánica en los horizontes superiores; ácidos con pH 4 a 6 (Rzedowski, 2006), de textura arenosa a arcillosa, Y en general son húmedos durante todo el año.

2.2. Su conversión a otros usos

El Bosque Mesófilo de Montaña (Rzedowski, 1996) o Bosque de niebla como valioso capital natural representa uno de los sistemas prioritarios para la conservación y restauración a nivel mundial. Las condiciones climáticas favorables que presenta (Rzedowski, 1996), el paisaje fuertemente accidentado

que ocupa y su lenta capacidad para recuperarse de la perturbación, lo convierten en un sistema particularmente frágil (Ewel, 1980; Arriaga, 2000; Williams-Linera *et al.*, 2002) susceptible a los cambios causados por la deforestación y fragmentación de sus superficies (Williams Linera, 1992).

Por años las áreas cubiertas por esta comunidad vegetal han estado densamente habitadas y sometidas a una intensa explotación, su conversión en todas sus escalas está asociada con el cambio generalizado del uso del suelo y en la actualidad la mayoría de los bosques de niebla existentes son restos fragmentados del bosque original (Hamilton *et al.*, 1995) embebidos en coberturas de vegetación secundaria de *Alnus* (aile), pastizales, campos agrícolas (Williams-Linera *et al.*, 2002) o plantaciones de pino que constituyen el paisaje vigente de este ecosistema.

Las tendencias actuales señalan que en las tres últimas décadas su superficie original ha sido deforestada en un 70% para su conversión a otros usos (Rzedowski, 2006; Williams-Linera, 1992; Challenger, 1998) y el resto se encuentra en vías de desaparecer (Muñoz-Villers y López-Blanco 2008).

En los últimos 50 años en la región central del estado de Veracruz, el crecimiento explosivo tanto demográfico como territorial y la consiguiente demanda de productos forestales y de la tierra para usos alternativos como la expansión del cultivo de café y la conversión a potreros para producción lechera a conducido a su reducción gradual (Marchal y Palma, 1985), en la actualidad 90% de su cobertura ha sido degradada (Williams-Linera *et al.*, 2002), y su tasa de deforestación 3.2% (1,133 ha año⁻¹). (Muñoz-Villers y López-Blanco 2008) se sitúa por encima de las calculadas con anterioridad para el estado lo que sugiere que el proceso de deforestación es mucho mayor en comparación con épocas pasadas (Velázquez *et al.*, 2002).

2.2.1. Pastizales y plantaciones

La conversión de bosques naturales a pastizales o potreros para el pastoreo de ganado y la forestación de estos, son actividades comunes de cambio de uso de suelo que con frecuencia predominan en varios paisajes de tierras forestales (Raun y Peterson, 1986; Wassenaar *et al.*, 2007) y han dejado prácticamente sin vegetación natural a regiones enteras.

Estas actividades son consideradas impactos ambientales clave. Provocan trastornos progresivos y acumulativos que cambian las características intrínsecas del suelo, mediante la promoción de cambios cualitativos y cuantitativos en algunas de sus propiedades físicas, químicas y biológicas, probablemente de manera significativa. Algunos autores señalan que la sustitución de bosques a pastizales afecta negativamente las propiedades físicas y químicas de los suelos (Ohta, 1990; Luizao *et al.*, 1992; Desjardins *et al.*, 1994; Veldkamp, 1994), mientras que otros han demostrado lo contrario (Neill *et al.*, 1997; Tarré *et al.*, 2001). Y en años más recientes no se ha hecho esperar su forestación como respuesta a la necesidad o deseo de reducir la erosión del suelo y buscar su conservación pues estos sistemas rara vez sustentan una ganadería próspera.

METODOLOGÍA

1. ÁREA DE ESTUDIO

El presente estudio se llevó a cabo en predios de propiedad privada de las localidades de Joya Chica y Cruz verde pertenecientes a la cuenca lechera del Municipio de Acajete. Éste municipio forma parte de los Bosques Mesófilos de Montaña o Bosques de Niebla (Williams-Linera *et al.*, 2002) de la región central del estado de Veracruz, y su descripción general en base al prontuario municipal INEGI (2009) entre otras fuentes nos proporciona la siguiente información.

1.1. Localización geográfica y orografía

El Municipio de Acajete se ubica en la región central y montañosa del estado de Veracruz, entre los paralelos 19° 31' y 19° 38' de latitud norte y los meridianos 96° 59' y 97° 07' de longitud oeste, sobre las estribaciones nororientales del Cofre de Perote a una altitud entre 1 180 y 3 100 msnm. Sus colindancias comprenden los municipios de Las Vigas de Ramírez, Tlacolulan y Rafael Lucio al norte, al este los municipios de Rafael Lucio y Tlalnelhuayocan, al sur los municipios de Tlalnelhuayocan y Coatepec, y al oeste los municipios de Coatepec, Perote y Las Vigas de Ramírez (Figura 1).

Acajete ocupa el 0.14% de la superficie del estado, una superficie continental de 97.69km² y cuenta con 54 localidades y una población total de 7 558 habitantes (<http://mapserver.inegi.org.mx/mgn2k/>; 18 de marzo de 2009).

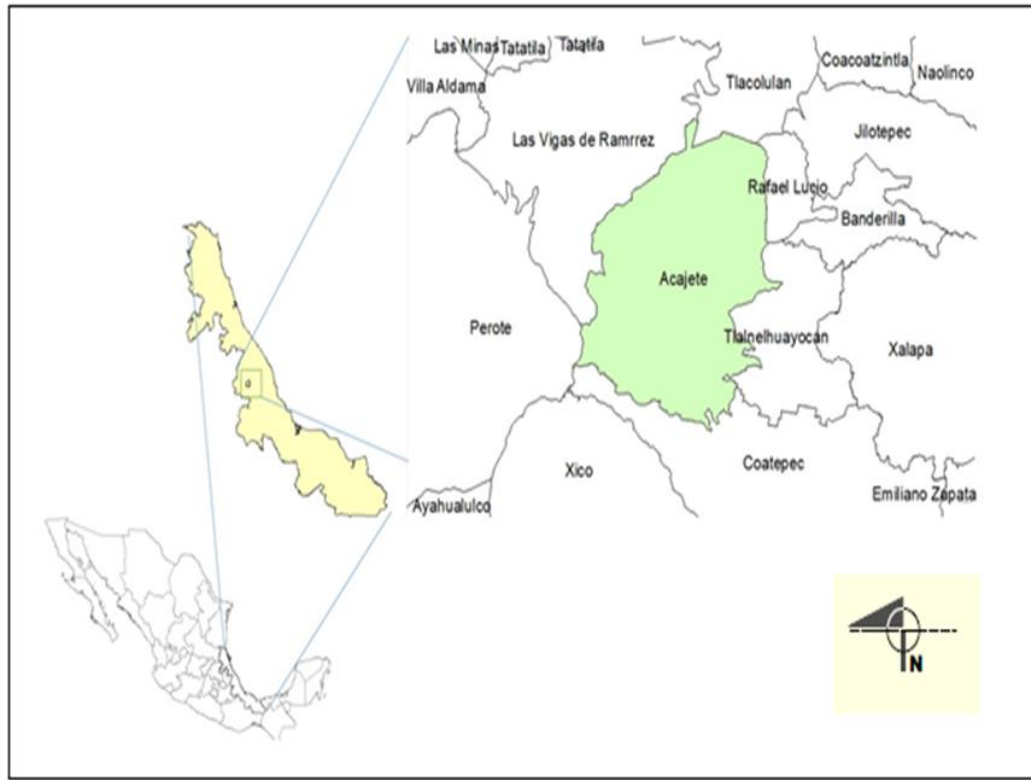


Figura 1. Ubicación del municipio del área de estudio.

1.1. Hidrografía

El municipio se encuentra dentro de la región hidrológica del río Papaloapan, la cuenca del río Jamapa, la subcuenca del río Sedeño y Decozalapa, con corrientes de agua intermitentes de Agua honda y Sedeño.

1.2. Fisiografía

Su fisiografía es accidentada, ya que se localiza dentro del eje neo-volcánico, y la subprovincia de lagos y volcanes de Anáhuac, mientras que sus toposformas se componen de volcanes aislados y llanura con lomeríos.

1.3. Edafología

Los suelos dominantes en el municipio son de tipo andosol en 96% y litosol e un 3%. Los suelos de BMM pertenecientes a la zona centro del estado de Veracruz, y en los cuatro sitios de muestreo (B, P, S, y R) según la cartografía de INEGI 2009 se encuentran catalogados como andosoles o andisoles (según el Soil Suerve y Staff). Tipo de suelo que abarca un amplio rango altitudinal que va de los 1,200 a los 4,280 msnm, su presencia está ligada a la conjugación del clima y de la litología. Se ha desarrollado bajo regiones de actividad volcánica registrada a lo largo de la historia a partir de rocas ígneas y cenizas volcánicas; materiales como flujos piroclásticos (consolidados), escorias, basaltos y andesitas recubiertas por capas delgadas de cenizas volcánicas (Geissert *et al.*, 1994; Geissert y Meza, 2006).

Estos suelos (de textura limo-arcillosa) se caracterizan en condiciones naturales por sus altos contenidos de materia orgánica (FAO-UNESCO 1997) y su resistencia intrínseca al deterioro, sin embargo, bajo cultivo se tornan frágiles con una gran probabilidad de erosionarse después de eliminada la cobertura arbórea y algunas de sus propiedades más notorias pueden cambiar drásticamente.

1.4. Uso de suelo

El municipio de Acajete, Ver. está representado en una superficie continental de 97.69km², de esta superficie 27.47km² están destinados a la Agricultura, 16.92km² destinados a pastizales, 27.85km² son bosques y 25.44km² vegetación secundaria. Y en años más recientes algunos casos aislados de plantaciones.

1.5. Clima y precipitación pluvial

Acajete presenta un clima Templado húmedo con lluvias todo el año (95%) y semifrío húmedo con abundantes lluvias en verano (5%). Un rango de temperatura entre 10 - 18 °C y una temperatura media anual de 15.9 ° C. La precipitación anual oscila entre los 1 400 - 1 600mm con un promedio de 1250 mm de lluvia al año.

1.6. Ecosistema y vegetación

El ecosistema que coexiste en el municipio es el de Bosque Caducifolio o Mesófilo de Montaña con especie de encinos, pinos, matorrales con izotes y matorrales espinosos. Este incluye árboles perennifolios, abundancia de líquenes, musgos, pteridofitas, fanerógamas, lianas, epifitas y helechos arborescentes, entre los que destacan *Liquidámbar stycaciflua*, *Podocarpus matudae*, *Quercus xalapensis*, *Meliosma alba*, *Quercus germana* y *Alnus jurullensis*.

2. UNIDADES DE MUESTREO

Se realizó un reconocimiento en campo del sitio objeto de estudio en el mes de abril de 2015 donde se determinaron las unidades de muestreo. Estas unidades fueron áreas representativas de los tipos de paisaje y del uso de suelo en esta región, en ellas se evitó la heterogeneidad en algunos factores geológicos, topográficos y otros propios del suelo tales como la pendiente, altitud, cultivos y su forma de manejo, vegetación, manejo de suelo, entre otros.

Mediante el programa ArcGIS® versión 10.3, se crearon los polígonos que delimitarían el área de estudio la cual abarcó una superficie de 59 hectáreas. Estos polígonos definieron las cuatro unidades de muestro una testigo de suelo en condiciones naturales que represento los valores estándar o de referencia (Bosque sin perturbar), dos sujetas a actividades diferentes de uso de suelo (Plantación y Pastizal) y una intermedia entre ellas que represento los relictos de bosque y se catalogó como Bosque perturbado.

A partir del área que ocupo cada una de estas unidades y buscando obtener máxima precisión en la obtención de datos fueron determinados los puntos de muestreo (Tabla 1).

Tabla 1. Área de las unidades de muestreo.

<i>Unidades de muestreo</i>	<i>Color</i>	<i>Área</i>	<i>Puntos de muestreo</i>
		ha	
B -Bosque sin perturbar		11	26
R -Relicto de bosque		03	15
P -Plantación		06	15
S -Pastizal		39	40

2.1. Descripción del área de muestreo

2.1.1. Bosque sin perturbar

Ubicada en las coordenadas 19°36'26" Norte y 97°01'02" Oeste. Zona de lomeríos o pendientes rodeadas por Cultivos y Potreros, con presencia de árboles longevos y un sotobosque bien conservado. Dominada principalmente por árboles de encino (*Quercus*), algunos pinos y especies identificadas como *Oreopanax xalapensis*, *Xylosma flexuosum*, *Cnidosculus multilobulos* entre otras.

Esta unidad de muestreo se delimito tomando como principal criterio su ubicación en la zona núcleo del bosque, ya que ahí la vegetación se encuentra más conservada, y se descarta cualquier posible efecto de borde.

2.1.2. Bosque perturbado

Ubicada en las coordenadas 19°36'24" Norte y 97°0'45" Oeste. Pequeños parches de regeneración, bosques secundarios y árboles aislados permanentes en el paisaje de comunidades sucesionales de *Alnus* (aile) que representan la zona transicional entre lo que hubo y hay después de la conversión y destrucción del bosque original por actividades de cambio de uso.

2.1.3. Plantación

Ubicada en las coordenadas 19°36'25" Norte y 97°0'39" Oeste. Plantación de pinos establecida desde hace menos de 10 años (en aproximaciones 6 años) en terrenos que con anterioridad estaban destinados a pastizales.

2.1.4. Pastizal

Ubicada en las coordenadas 19°36'34" Norte y 97°0'42" Oeste. Terrenos destinados a este uso desde hace aproximadamente 40-60 años para ganadería bovina extensiva con ganado Holstein y Pardo suizo en la producción lechera, una de las actividades económicas más importantes del municipio.

Pastos western, Kikuyu (*Pennisetum clandestinum*) y estrella (*Cynodon dactylon*) además de la presencia de algunos árboles aislados y dispersos en todo el paisaje de liquidambar y huizaches (*Acacia pennatula*) integran su componente vegetal.

Las pasturas se regeneran naturalmente en un periodo de 35 días, durante este tiempo el ganado se turna y el terreno queda libre, como rotativa para controlar malezas y fomentar el crecimiento de los pastos.

3. MUESTREO DE SUELOS

El muestreo fue llevado a cabo dentro de la o época fría del año en los meses de noviembre 2015 y febrero del 2016 (Williams-Linera 2007) siguiendo los lineamientos plateados en la NOM-021-SERMARNAT-2000 o según lo requirieran los parámetros a ser evaluados, algunos otros manuales de muestreo.

Las muestras fueron obtenidas bajo un diseño estratificado al azar o sistemático (Figura 2) denominado comúnmente método en zig-zag (Henríquez *et al.*, 1998), previo despeje o eliminación superficial de los residuos vegetales del terreno y a profundidades no mayores a los 30 cm por ser considerada la zona donde se centra la naturaleza dinámica del suelo que describe mejor sus condiciones al cambio por uso de la tierra o las prácticas de gestión que se practican en el (Karlen *et al.*, 2003).

Para los parámetros físicos y químicos con una barrena a una profundidad de 30cm, y con pala recta a una profundidad de entre 10-15 cm, y 20 x 20 cm de longitud y anchura para los parámetros biológicos.

Por unidad de muestreo las submuestras se colocaron dentro de un recipiente limpio, al término se sacaron las piedras y hojarasca (raíces grandes, tallos, etc.), los terrones se desmoronaron con la mano y el suelo se mezcló. Para posteriormente, efectuar el cuarteo, hasta reducir la muestra a 1.5 kg (Henríquez *et al.*, 1998); con lo que queda implícito que cada una de las muestras (submuestras) tomadas, integraron una sola muestra compuesta por unidad de muestreo.

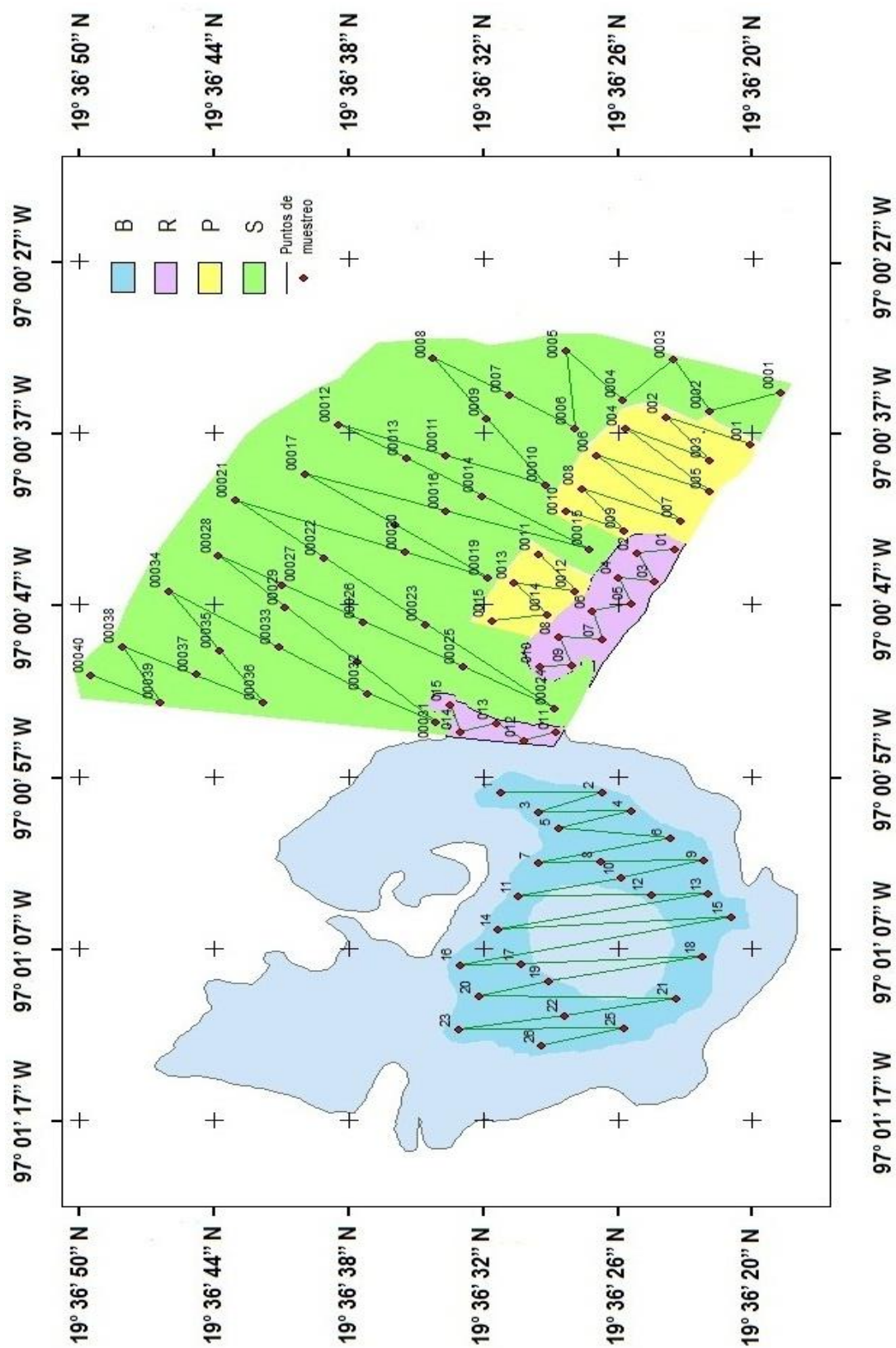


Figura 2. Unidades de muestreo.

Una vez obtenida la muestra, estas fueron etiquetadas registrando los siguientes datos: Número de muestra, fecha, procedencia (localidad o sitio con coordenadas), la profundidad de colecta, proyecto, responsable del proyecto, colector y las determinaciones requeridas según el propósito del estudio para su traslado.

Las formas de preservación y transporte dependieron del objetivo de muestreo y las determinaciones que se realizaron. Las muestras que fueron utilizadas para la caracterización física y química del suelo se depositaron en bolsas de plástico tal cual son tomadas en campo mientras las muestras utilizadas para las determinaciones biológicas se colocaron en frascos de vidrio esterilizados “herméticamente” cerrados y puestos en una hielera, para su transporte.

4. TRABAJO DE LABORATORIO

Una vez obtenidas las muestras y trasladadas al laboratorio para su recepción y registro estas fueron preparadas (secadas, molidas, tamizadas, y homogenizadas) para su almacenamiento, conservación y posterior análisis físico y químico; o mantenidas en refrigeración tal cual procedentes de campo para su análisis biológico.

Las determinaciones fueron realizadas en el laboratorio de recursos naturales, del departamento de suelos en conjunción con el laboratorio central de la Universidad Autónoma Chapingo, siguiendo las metodologías establecidas por la norma oficial mexicana NOM-021-RECNAT-2000 (SEMARNAT, 2002), para el caso de las evaluaciones físicas y químicas; o establecidas en manuales microbiológicos de suelo para las determinaciones biológicas.

Todas las muestras se analizaron por duplicado, es decir dos repeticiones sobre la muestra por determinación y se promediaron los valores obtenidos. para cada sistema, de esta manera se obtuvo un solo dato por unidad de muestreo para cada variable medida.

4.1. Determinaciones físicas y químicas

Las determinaciones físicas y químicas realizadas en este estudio fueron las siguientes: Textura, Contenido de humedad, Densidad aparente, Determinación del color del suelo, pH, Contenido de materia orgánica, Conductividad eléctrica, Capacidad de intercambio catiónico y Macronutrientes (N, P, K, Ca y Mg).

4.2. Determinaciones biológicas

Para la caracterización biológica del suelo se realizaron como determinaciones la cuantificación de microorganismos edáficos, es decir conteos de poblaciones totales de hongos, bacterias y actinomicetos contenidos en el suelo mediante el método de disoluciones seriadas y recuento en placa.

4.2.1. Técnica de diluciones seriadas y recuento en placa por siembra en superficie

4.2.1.1. Consideraciones generales

Se trabaja con muestras de suelo tomadas en la parte superficial entre los 0-20 cm de profundidad (suelo rizosférico) por ser considerada el área de mayor actividad microbiológica (Brawn y Rovira, 1999). Estas muestras deben estar almacenadas a 2-4 °C hasta su procesamiento. Sin embargo, se sugiere que el análisis se haga el mismo día del muestreo ya que el número de organismos decrece considerablemente.

La esterilización del material de cristalería, agua y medios de cultivo, se realiza mediante la utilización de la autoclave, método de esterilización a presión, aplicando 121°C y 15 lb/pulgada² de presión durante 10 a 20 minutos, dependiendo de la composición química de la sustancia a esterilizar.

Todo el proceso se realiza en condiciones asépticas y con material estéril, por lo tanto, es indispensable el uso de metodologías de esterilización y desinfección apropiadas, o trabajar en campana de flujo laminar.

4.2.1.2. Medios de cultivo (elaboración)

Finalidad: Proporcionar al microorganismo un medio que pueda utilizar fácilmente, que reúna las condiciones necesarias para su alimentación, sin sustancias inhibidoras y un intervalo de pH adecuado (Fig. 2).

Bacterias	Hongos	Actinomicetos
Agar Nutritivo (gL^{-1})	PDA (gL^{-1})	Czapek (gL^{-1})
Extracto de carne 3.0 Peptona 5.0 Agar 15.0	Extracto de papa 4.0 Dextrosa 20.0 Agar 15.0	Sacarosa 30.0 $NaNO_3$ 2.0 K_2HPO_4 1.0 $MgSO_4$ 0.5 KCl 0.5 $FeCl_2$ 0.01 Agar 15.0
pH= 6.8-7.0	pH= 5.6 $\pm$ 0.2	pH= 7.3 $\pm$ 0.2

Tabla 2. Medios de cultivo.

- Pesar y colocar los reactivos (con excepción del agar microbiológico) de cada medio de cultivo, en un matraz Erlenmeyer. Agregarle el volumen requerido de agua destilada y disolver con agitación suave, para homogenizar la mezcla. Si es necesario, calentar para acelerar la disolución, agitando constantemente.
- Dejar enfriar un poco el medio de cultivo y ajustar el pH al valor indicado, agregando, gota a gota, solución de NaOH 1N si el medio de cultivo esta acido, o bien solución de HCl 1N si el medio se encuentra alcalino.
- Cuando el medio en el matraz esté completamente frio, agregarle el agar, agitar y calentar a ebullición para asegurar su completa disolución.
- Taponar los matraces con algodón y papel para evitar su posterior contaminación.
- Esterilizar en olla de presión a 121° C durante 15 minutos. Esperar a que la presión en el interior de la olla sea de cero antes de abrirla.
- Una vez que los medios de cultivo estén estériles y fríos, conservarlos en refrigeración o en un lugar fresco, libre de corriente de aire, para reducir el riesgo de contaminación.

Nota: Algunos antibióticos ayudan a la selección de grandes grupos, como el cloranfenicol o la estreptomycin de 500, que al ser agregados a los medios de cultivo inhiben el número de bacterias contaminantes y favorecen el crecimiento de hongos. La competencia con otros organismos debe ser nula o mínima.

4.2.1.3. Disoluciones seriadas

- Ordenar y rotular todo el material.
- Pesar 10 g de suelo fresco.
- Colocar el suelo en frasco con 90 ml de diluyente en condiciones asépticas. Esta es la dilución 1/10 o 10^{-1} . Agitar mecánicamente por 5 minutos o con ayuda de vórtex por la mitad de tiempo. Dejar sedimentar, durante 5 a 10 minutos considerando la cantidad de arcilla o materia orgánica presente en la muestra.
- Pipetear 1 ml de la primera dilución (10^{-1}) en el tubo marcado 10^{-2} . Agitar con vórtex por 5 segundos. También se puede homogeneizar la suspensión aspirando y descargando con la pipeta tres veces.
- Pipetear 1 ml del tubo con la dilución 10^{-2} en el tubo marcado 10^{-3} .
- Repetir el procedimiento anterior con las siguientes diluciones, utilizando siempre pipeta o punta de micropipeta nueva, hasta realizar la dilución 10^{-9} .

*Se puede emplear como diluyente agua destilada estéril o bien solución salina isotónica estéril.

4.2.1.4. Recuento en placa

La siembra en superficie de diluciones de la muestra objeto de estudio por Siembra e en los medios de cultivo, a partir de una serie de diluciones de suelo.

Los intervalos usualmente definidos para los grupos de microorganismos a trabajar son los siguientes:

Hongos	10^{-3} a 10^{-5}
Actinomicetos	10^{-4} a 10^{-6}
Bacterias	10^{-6} a 10^{-9}

No obstante, se pueden trabajar intervalos de diluciones más amplios.

4.2.1.4.1. Siembra en superficie

- Vaciar los medios de cultivo en cajas Petri en cantidades de 10 a 15 mL y dejar solidificar.
- Micropipetear alícuotas de 0.1 mL de las diluciones a utilizar para cada organismo y verter sobre las respectivas placas con medio sólido. Realizar dos repeticiones por dilución.
- Extender o distribuir homogéneamente la alícuota (muestra) sobre toda la superficie de la placa (del medio) con rastrillos, una varilla de vidrio que presenta un ángulo de 90° y previamente esterilizada (inmersa en alcohol y pasándola por la flama del mechero permitiendo su enfriamiento).
- Tapar, Dejar en reposo 10 minutos, e invertir las cajas de Petri.

*Todo el proceso de siembras microbiológicas se realiza en cámara de flujo laminar.

Una vez sembradas las placas llevar a incubar de forma invertida y a 28 °C (intervalo de temperatura que permite un desarrollo microbiano óptimo) durante el tiempo recomendado para cada grupo microbiano:

Bacterias 24-48 horas

Hongos 2-5 días

Actinomicetos 5-7 días

En cuanto se observe desarrollo, después del periodo de incubación señalado para cada tipo de microorganismo examinar las cajas con cuidado, contar el número de colonias procurando no abrirlas; si es necesario, abrirlas dentro de campo estéril y seleccionar las placas que presenten entre 30 y 300 colonias para bacterias y entre 10 y 100 para hongos y actinomicetos, y reportar como unidades formadoras de colonias.

4.2.1.4.2. Conteo del número de colonias totales

La cuantificación microbiana se reporta en unidades formadoras de colonias (UFC)/ g de suelo seco. es necesario). Los cálculos necesarios para su obtención por cada grupo microbiano se hacen de la siguiente forma:

$$\text{UFC g suelo}^{-10} = \text{No de colonias} \times 1/\text{factor de dilución} \times 1/\text{ml de inóculo sembrado}.$$

*Para la aplicación de esta fórmula se requiere determinar el peso seco equivalente a los 10 g de material fresco que se empleó para hacer las diluciones, es decir determinar la humedad de la muestra pesando 10 g de suelo fresco y colocarla en horno a 100-110 °C, durante 24-48 horas hasta peso constante.

4.3. Análisis de datos

Para determinar si existen cambios significativos en las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo por el cambio de uso se realizó un análisis unidireccional de varianza (ANOVA) utilizando el tipo de uso de suelo como un factor fijo (tratamientos) representado en cada una de las unidades muestreadas: bosque sin perturbar (B), plantación (P), pastizal (S) y relictos de bosque (R). Y cada uno de los atributos de las propiedades físico-químicas y biológicas del suelo como respuesta; como prueba de medias para encontrar diferencias entre tratamientos se aplicó un análisis de Dunnett. La decisión para la prueba de hipótesis se tomó a un nivel de significancia de 5%, es decir, la probabilidad de tomar la decisión de rechazar la hipótesis nula cuando esta era verdadera fue de $\alpha=0.05$. El análisis estadístico de los datos obtenidos para cada una de todas las características evaluadas fue desarrollado mediante el software Statistical Analysis System SAS Versión 9.1.

4.3.1. Modelo estadístico

En base a la manera en que se obtuvieron los datos, para cada variable se aplicó el método “Diseño completamente al azar” como parte de los experimentos de un solo factor. Este método tiene como modelo $Y_{ij} = \mu + \tau_i + \varepsilon_{ij}$ donde Y_{ij} representa la j – ésima observación, i expresa los tratamientos con $i = 1, 2, \dots, t$ y r las repeticiones con $j = 1, 2, \dots, r_i$. μ es un efecto común para todo el experimento, τ_i representa el efecto del i – ésimo tratamiento, y ε_{ij} representa el error presente en la j – ésimo observación en el i – ésimo tratamiento. Suponiendo $\varepsilon_{ij} \sim N(0, \sigma^2)$ y $\sum_{i=1}^t \tau_i = 0$; su análisis es totalmente equivalente a la técnica para la comparación de t medias.

Lo anterior permite probar la hipótesis:

$$H_0: \mu_1 = \dots \mu_n = \mu \text{ v. s } H_a: \text{al menos una } \mu_i \text{ es diferente}$$

En el análisis de varianza se hace la prueba de F, que tiene dos resultados posibles:

- i. No existen evidencias para rechazar $H_0: \mu_1 = \dots \mu_n = \mu$. Todos los tratamientos producen el mismo efecto.
- ii. Se rechaza $H_0: \mu_1 = \dots \mu_n = \mu$ y por lo tanto se acepta $H_a: \text{al menos una } \mu_i \text{ es diferente}$.

Si este último fuera el caso, entonces se estaría interesado en saber cuál o cuáles tratamientos son diferentes (estadísticamente) y cuales se podrían considerar como (estadísticamente iguales). Existen muchos métodos para resolver lo anterior, sin embargo, para este estudio se hizo uso de la “Prueba de Dunnett”, la cual prueba todas las medias contra el tratamiento “control” o “testigo”.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

1. CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DE LOS SUELOS

De las propiedades físicas analizadas (textura, humedad, densidad aparente y color) en los suelos forestales afectados por cambio de uso de suelo se obtuvieron los siguientes resultados (Tabla 3).

Tabla 3. Resultados obtenidos para los parámetros físicos del suelo.

Suelo	Textura	C.H %	D.A g/cm ³	Color	
				Seco	Húmedo
Bosque sin perturbar	Ca	50	0.68	Pardo grisáceo muy oscuro (10YR 3/2)	
Plantación	Ca	72	0.70	Marrón oscuro grisáceo (10YR 4/2)	Negro (10YR 2/1)
Pastizal	Ca**	87	0.74	Pardo grisáceo muy oscuro (10YR 3/2)	
Relictos de bosque	C*	52	0.71	Marrón (10YR 4/3)	

C.H Contenido de humedad

D.A Densidad aparente

Las claves pertenecen a las siguiente clases texturales (NOM021):

*C Francosas

**Ca Franco arenosa

1.1. Textura

De acuerdo al análisis textural realizado, se puede observar que los suelos estudiados son relativamente similares entre sí, la mayoría presentó una granulometría franca arenosa, a excepción del sitio de relicto de bosque que tuvo una clase textural franca (Tabla 3).

Dichos resultados confirman la premisa de que el cambio de uso difícilmente altera la textura, pues aquellos suelos con textura franca representan las tierras de mayor aptitud agrícola que contienen relativamente las mismas cantidades de arena, limo y arcilla (De la Rosa, 2008) y esta solo se afecta en aquellos casos donde ocurre una fuerte erosión. En los suelos estudiados como tal no hay evidencia que señale algún tipo de erosión debido a las condiciones climáticas de la zona y el manejo que se les da a los pastizales.

1.2. Contenido de humedad

Los resultados para contenido de humedad en este estudio denotan un patrón específico, en el que se observa un aumento considerable en aquellos sitios sujetos a una actividad de uso (Tabla3). El suelo que presentó mayor porcentaje de humedad relativa fue el sitio de pastizal con un 87% y el menor porcentaje 52% se registró para el sitio testigo de bosque sin perturbar. La tabla de ANOVA y la prueba de Dunnett confirman la existencia de una diferencia significativa estadísticamente, entre un sitio y otro. Pues los pastizales al ser desprovistos de vegetación natural arbórea o arbustiva quedan expuestos al goteo directo de las marcadas precipitaciones o agua de neblina constantes como condiciones climáticas en la zona de estudio. Estos sistemas implícitamente reciben una mayor radiación que calienta la cubierta por encima de su antiguo régimen de temperatura, provocando cierta reducción en la transpiración lo que a menudo aumenta el contenido de humedad del suelo (Pritchett, 1991).

1.3. Densidad aparente

Los datos obtenidos por sitio para este parámetro fueron los siguientes: 0.68 g/cm³ para bosque sin perturbar, 0.70 g/cm³ para plantación, 0.74 g/cm³ para pastizal y de 0.71 g/cm³ para relicto de bosque. En éstos resultados, el análisis de varianza y la “Prueba de Dunnett”, determinaron que la densidad aparente de las unidades de pastizal y relictos de bosque es diferente estadísticamente respecto del suelo control de bosque sin perturbar.

Los valores de densidad aparente obtenidos en todas las unidades de muestreo fueron menores a 1.0 g/cm³, estos se clasifican como suelos orgánicos y volcánicos de acuerdo con la NOM021RECNAT2000 y Aguilera (1989), y por tratarse de suelos andosoles se ubican incluso por debajo de 0.9 g/cm³ (Shoji *et al.*, 1993).

Los suelos bajo cubiertas forestales de bosque sin perturbar 0.68 g/cm³, comparados con el pastizal 0.74 g/cm³ presentaron en promedio una baja densidad aparente, lo que concuerda con diversos autores (Lal, 1996; Rhoades *et al.*, 2000; Rasiah *et al.*, 2004; Sharrow, 2007; Geissen *et al.*, 2009; Zimmermann *et al.*, 2010) quienes básicamente indican que los suelos de pasturas, poseen una densidad aparente elevada en comparación con la de los bosques.

Sin embargo, el valor de densidad aparente en bosque sin perturbar en comparación con otros estudios está por arriba de los reportados para este mismo sistema.

Geissert e Ibáñez (2008) reportan para los suelos de bosques mesófilos de montaña una densidad aparente de 0.49-0.56 gr/cm³ y a este trabajo se suman los realizados por Rhoades *et al.*, 2000 y Álvarez-Arteaga *et al.*, 2012, con valores parecidos.

Estos cambios en la densidad aparente sugieren que los suelos destinados al pastoreo, representan sitios más compactados con respecto a los sitios con bosque sin perturbar. El pisoteo constante del ganado y el impacto directo de las gotas de lluvia sobre el terreno, disminuyen el espacio poroso del suelo, se restringe el crecimiento de las raíces, e inhiben el movimiento del aire y el agua a través del suelo; aumentando con esto la densidad aparente, y disminuyendo la calidad del suelo (Harris *et al.*, 1996). El pastoreo prolongado es uno de los factores responsables del deterioro de las propiedades físicas del suelo, por lo tanto, los reportes de aumento de la densidad aparente en los suelos con pastoreo continuo son frecuentes (Lal, 1996; Rhoades *et al.* 2002; Rasiah *et al.*, 2004; Sharrow, 2007; Geissen *et al.*, 2009 y Zimmermann *et al.* 2010).

1.4. Color

Según el código de la tabla Munsell los colores predominantes en las áreas de estudio variaron en rangos de coloraciones oscuras, de Pardo grisáceo muy oscuro (10YR 3/2), Marrón oscuro grisáceo (10YR 4/2) y Marrón (10YR 4/3) en suelo seco, mientras que para el suelo en húmedo en los cuatro sitios de muestreo siempre fue Negro (10YR 2/1) (Tabla 3).

Estas coloraciones oscuras o negras en los suelos indican un contenido alto en materia orgánica, proveniente de la vegetación natural boscosa, pasturas o cultivos. Concordando con la coloración que presentan los suelos francos caracterizados por ser de color de negro a pardo oscuro (casi negro), por los altos contenidos de materia orgánica que tiene (Pritchett, 1986).

2. CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS DE LOS SUELOS

De las propiedades químicas que se analizaron (pH, Materia orgánica, Conductividad eléctrica, Capacidad de intercambio catiónico, Macronutrientes) en los suelos forestales afectados por cambio de uso de suelo se obtuvieron los siguientes resultados (Tabla 4).

Tabla 4. Resultados obtenidos para los parámetros químicos del suelo.

Suelo	PH	M.O* %	C.E** dS m ⁻¹	C.I.C*** Cmol ₍₊₎ Kg ⁻¹	Macronutrientes				
					N	P	K	Ca	Mg
					mg/Kg ⁻¹				
Bosque sin perturbar	5.4	13.9	0.04	24.7	10.0	3.97	252	1908	860
Plantación	5.8	6.7	0.04	23.1	18.4	4.73	227	1857	764
Pastizal	6.1	13.0	0.03	24.5	10.6	4.77	215	1970	820
Relictos de bosque	5.7	18.4	0.04	31.7	24.7	4.29	142	2493	1129

*M.O Materia orgánica

**C.E Conductividad eléctrica

***C.I.C Capacidad de intercambio catiónico

1.1. pH

El análisis de varianza y prueba de Dunnett mostraron que para el potencial de hidrogeno (pH), se encontraron diferencias estadísticas significativas en los cuatro sistemas evaluados, es decir el pH del suelo en la plantación, pastizal y relictos de bosque es diferente (estadísticamente) con respecto del suelo en el bosque sin perturbar.

Los valores de pH registrados en todos los sistemas evaluados y como en la mayoría de los suelos forestales se encuentran dentro de un rango de 5.4 a 6.1, que clasifica los sitios como suelos moderadamente ácidos con deficiencia de bases (NOM021RECNAT2000 y Porta *et al.*, 2003).

Como proceso natural la acidificación de los suelos en este estudio, en gran medida es producto de las condiciones climáticas que prevalecen en la zona. Los altos niveles de precipitación tienden a originar suelos ácidos debido al lixiviado que efectúa la pérdida de bases en las capas superficiales de los suelos por su lavado a través del perfil (Jaramillo 2002; Gobat *et al.*, 2004 y De la Rosa, 2008).

En la Tabla 4 se aprecia que el sistema con un menor pH fue el Bosque sin perturbar (5.4), seguido por el relicto de bosque (5.7) y la plantación (5.8) sitios donde el pH se incrementó en una unidad 5.7 y 5.8. Mientras que el pastizal con un valor de 6.1 represento el sistema con los valores más altos de pH, parámetro que se comportó de manera similar a la densidad aparente del suelo. A menudo los suelos forestales de bosque natural o plantaciones son más ácidos que los suelos de los pastizales o los agrícolas.

Esto se debe a que la hojarasca de los árboles en general y en específico las acículas de los pinos, son ácidas y liberan iones de hidrógeno cuando se descomponen, Zapata, (2006) señala que estos materiales orgánicos acidifican el suelo.

1.2. Materia orgánica

El análisis de varianza y el análisis Dunnett mostraron que para la variable materia orgánica, se encontraron diferencias estadísticas significativas, en los cuatro sistemas evaluados. En la Tabla 4 se aprecia que el sistema con un menor porcentaje de materia orgánica fue la plantación (6.7%), seguido del pastizal (13.0%), bosque sin perturbar (13.9%), mientras que el relicto de bosque tuvo (18.4%) y fue el sistema con los porcentajes más altos para esta variable.

Los valores de referencia para clasificar la concentración de materia orgánica en suelos volcánicos como los de la zona de estudio, de acuerdo a la NOM021RECNAT2000 tuvieron un porcentaje de materia orgánica media (rangos 6.1-10.9%), en el sitio de plantación, alta (11.0-16.0 %) en el bosque sin perturbar y en el pastizal y muy alta (> 16.1) en el relicto de bosque.

Con respecto al cambio de uso, en el sitio de plantación, el contenido de materia orgánica 6.7% menor en comparación con los otros sitios demuestra que los aportes de materia orgánica recibidos por la especie de pino cultivada no ha compensado los aportes recibidos por la vegetación del bosque sin perturbar, esto indica una descomposición más lenta y por lo tanto una acumulación de materia orgánica en la superficie del suelo.

Por otro lado, el sitio de pastizal supone un aporte elevado en el contenido de materia orgánica que puede atribuirse a varios factores. La aportación de materia orgánica proveniente de sitios donantes de bosques sin perturbar y plantaciones que se encuentran en zona de ladera, una cobertura vegetal constante y las excretas de ganado, que representan en su conjunto una entrada de materia orgánica que mejora la fertilidad del suelo.

1.3. Conductividad eléctrica

El análisis de varianza y la prueba de Dunnett mostraron que para la Conductividad eléctrica se encontraron diferencias estadísticas significativas. En las unidades de pastizal y relictos de bosque esta variable es diferente (estadísticamente) con respecto al suelo de bosque sin perturbar.

En los sitios muestreados todos los valores registrados de conductividad eléctrica son <1.0 , lo que los ubica dentro de la categoría de suelos no salinos o con efectos despreciables de la salinidad (NOM021RECNAT2000, Vázquez y Bautista, 1993).

1.4. Capacidad de intercambio catiónico

Para la capacidad de intercambio catiónico el análisis de varianza y la prueba de Dunnett no mostraron una diferencia estadística significativa en los suelos de los cuatro sistemas estudiados.

En la Tabla 4 se aprecia que el sistema con una menor capacidad de intercambio catiónico fue la plantación ($23.1 \text{ cmol}(+) \text{ kg}^{-1}$), seguido por el pastizal ($24.5 \text{ cmol}(+) \text{ kg}^{-1}$) y el bosque sin perturbar ($24.7 \text{ cmol}(+) \text{ kg}^{-1}$). El sistema con los valores más altos de capacidad de intercambio catiónico fue el relicto de Bosque perturbado ($31.7 \text{ cmol}(+) \text{ kg}^{-1}$).

De acuerdo a los valores obtenidos para esta variable ubicados dentro de un rango que va de 10 a $40 \text{ cmol}(+) \text{ kg}^{-1}$, se indica que estos suelos pertenecen al grupo de las micas hidratadas y cloritas, compuestos por minerales de illita (NOM021RECNAT2000 y Porta *et al.*, 2003). Y en base a ellos la fertilidad de los suelos se clasifica como media ($15 \text{ a } 25 \text{ cmol}(+) \text{ kg}^{-1}$) para los sitios de bosque sin perturbar, la plantación y el pastizal ($\text{cmol}(+) \text{ kg}^{-1}$) y alta ($25 \text{ a } 40 \text{ cmol}(+) \text{ kg}^{-1}$) para el relicto de bosque (bosque perturbado) (NOM021RECNAT2000).

Geissert e Ibáñez (2008), encontraron valores de CIC inferiores a los obtenidos en este trabajo ($14.7 \text{ a } 18.4 \text{ Cmol}(+) \text{ kg}^{-1}$) en suelos forestales. Por lo que en los suelos estudiados existe una adecuada disponibilidad de nutrimentos para las plantas.

La CIC depende de la textura del suelo y del contenido de materia orgánica. En general, entre más arcilla y materia orgánica en el suelo, la capacidad de intercambio es mayor (Essington, 2004; Roy *et al.*, 2006). En el presente estudio, los suelos donde había mayor concentración de materia orgánica (Bosque sin perturbar (13.9%) y relicto de bosque (18.4%) la capacidad de intercambio catiónico también fueron mayor (Tabla 4).

1.5. Macronutrientes

1.5.1. Nitrógeno inorgánico

Los resultados del análisis de varianza y la prueba de Dunnett indicaron una diferencia estadísticamente significativa entre el sistema relicto de bosque y el bosque sin perturbar. Los resultados de los análisis de nitrógeno inorgánico pueden interpretarse conforme a los siguientes rangos: clase muy bajo ($0-10 \text{ mg kg}^{-1}$), bajo de ($10-20 \text{ mg kg}^{-1}$), medio ($20-40 \text{ mg kg}^{-1}$) y alto ($40-60 \text{ mg kg}^{-1}$). En la Tabla 4 se aprecia que el sistema con menor cantidad de N inorgánico fue el bosque sin perturbar (10 mg kg^{-1}) seguido del pastizal (10.6 mg kg^{-1}), la plantación (18.4 mg kg^{-1}) y el relicto de bosque (24.7 mg kg^{-1}). Los resultados obtenidos están relacionados con los contenidos de materia orgánica.

1.5.2. Fosforo

Para esta variable, estadísticamente no existió una diferencia significativa entre los cuatro tipos de sistemas estudiados. En general se observó que la concentración de fósforo no tuvo relación con las concentraciones de materia orgánica y nitrógeno.

En la Tabla 4, se aprecia que el sistema con una menor concentración de fosforo fue el Bosque (3.97 mg kg^{-1}), seguido del relicto de bosque (4.29 mg kg^{-1}), la plantación (4.73 mg kg^{-1}) y el pastizal (4.77 mg kg^{-1}). En cuanto a los contenidos de fósforo todos los sistemas se clasificaron como bajos ($<5.5 \text{ mg kg}^{-1}$) de acuerdo a la NOM021RECNAT2000.

Las concentraciones más altas de fósforo obtenidas en el suelo de pastizal y plantación pudieran estar asociadas con aportes provenientes de la materia orgánica remanente del bosque sin perturbar arrastrada hasta las zonas más bajas como lo reportan para pastizales Crespo y Rodríguez (2004). La comparación entre los datos de estos dos sistemas (plantación y pastizal) concuerda con lo reportado por Chen *et al.*, (2008) quienes reportan que las cantidades de fósforo en los sitios forestados de pastizales se encuentran por debajo de los valores reportados sólo para pastizales.

1.5.3. Potasio

Estadísticamente existió diferencia significativa en todos los sistemas estudiados es decir la plantación, el pastizal y los relictos de bosque difieren con respecto al sitio de bosque sin perturbar. Generalmente, el nivel de potasio en el suelo es más elevado que el de nitrógeno o el de fósforo, que se acumula principalmente en la fracción fina del suelo, y sobre todo en la arcilla.

El contenido de potasio en los suelos fue mediano en el relicto de bosque (141 mg kg^{-1}), en los sitios restantes: pastizal (215 mg kg^{-1}), plantación (227 mg kg^{-1}) y Bosque (252 mg kg^{-1}) fueron suelos ricos en potasio. Pues normalmente el potasio se encuentra en grandes cantidades en los suelos y su deficiencia es muy rara (Pritchett, 1991). Para el caso específico del contenido de potasio en el pastizal se considera la información reportada por Funes (1975) quien indicó que los altos contenidos de este elemento en suelos bajo pastoreo provienen principalmente de la orina de los animales.

En la Tabla 4, se aprecia que el sistema con una menor concentración de fósforo fue en el relicto de bosque (141 mg kg^{-1}), el pastizal (215 mg kg^{-1}), la plantación (227 mg kg^{-1}) y el Bosque (252 mg kg^{-1}).

1.5.4. Calcio y magnesio

Para estas dos variables no existieron diferencias significativas entre los sistemas plantación, pastizal y relicto de bosque con respecto al bosque sin perturbar. En la Tabla 4 se presentan los valores obtenidos para las concentraciones de calcio, de la más baja a la más alta se encontraron en la plantación (1857 mg kg^{-1}), en el bosque sin perturbar (1908 mg kg^{-1}), en pastizal (1970 mg kg^{-1}) y en el relicto de bosque (2493 mg kg^{-1}), todos estos suelos presentan valores medios en contenidos de calcio. Para magnesio, de la más baja a la más alta: la plantación (764 mg kg^{-1}), seguido de la plantación (820 mg kg^{-1}), bosque sin perturbar (866 mg kg^{-1}) y relicto de bosque (1129 mg kg^{-1}), son muy ricos en contenido de magnesio.

Lo que sugiere que los sitios más fértiles (según su CIC), en este caso los relictos de bosque se distingue por tener los más altos niveles de calcio y magnesio. Entre más alto es el contenido de calcio y magnesio mejor es la fertilidad del suelo. La mayor parte de los suelos forestales contienen elevadas cantidades de magnesio que aseguran un buen desarrollo de los árboles, y cuando hay deficiencias se corrigen sin dificultad (Pritchett, 1986). De acuerdo con estudios químicos en suelo realizados por Campos (2008), los bosques poseen mayores reservas de nutrientes en comparación con el pastizal.

3. CARACTERÍSTICAS BIOLÓGICAS DE LOS SUELOS

De las propiedades biológicas que se analizaron (poblaciones totales de bacterias, hongos y actinomicetos) en los suelos forestales afectados por cambio de uso de suelo se obtuvieron los siguientes resultados (Tabla 5).

Tabla 5. Resultados obtenidos para los parámetros biológicos del suelo.

Suelo	Bacterias	Hongos	Actinomicetos
	UFC*		
Bosque sin perturbar	3×10^8	3×10^6	6×10^6
Plantación	5×10^7	6×10^6	2×10^7
Pastizal	5×10^7	5×10^6	2×10^7
Relictos de bosque	3×10^7	3×10^6	9×10^6

* UFC Unidades formadoras de colonias.

3.1. Poblaciones de bacterias totales

De los cuatro sistemas evaluados el bosque sin perturbar fue el que presentó mayor número de poblaciones de bacterias totales. La prueba de Dunnett indicó que existieron diferencias significativas entre el número de bacterias encontradas en el relicto del bosque (3×10^7 UFC) y el bosque sin perturbar (3×10^8 UFC).

Estos resultados concuerdan con el comportamiento de poblaciones microbianas en suelo reportado por Alexander (1994) quien señala que el grupo de bacterias es el más abundantes en los suelos agrícolas o forestales, y está representado entre 10^6 y 10^8 UFC/g,

Por otro lado, los cambios en la abundancia de bacterias entre diferentes sistemas suelen estar relacionados con la concentración de nutrientes y la calidad de los suelos, ya que se espera que las áreas de bosque reciban mayor depósito de residuos orgánicos que relativamente son más recalcitrantes aportando mayores cantidades de materiales orgánicos que son aprovechados principalmente por las bacterias.

Además, autores señalan que la textura del suelo determina el número de bacterias por ejemplo indican que es mayor en suelos con texturas franco arenosas en comparación con los suelos que presentan texturas francas. Esto último se encontró en el estudio que aquí se presenta, se observó que prevaleció la textura franco arenosa en los sistemas de bosques sin perturbar, Plantación y pastizal.

3.2. Poblaciones totales de hongos y actinomicetos

Los análisis de varianza ANOVA y Dunnett indicaron que para ambas variables no existieron diferencias significativas entre los cuatro sitios estudiados. En la Tabla 5 se observa que el sistema que presentó menor población de hongos totales fue relicto de bosque (3×10^6 UFC) y el que tuvo mayor población fue el sistema de plantación (6×10^6 UFC).

Para actinomicetos el sistema que presentó menor población fue plantación y pastizal ambos con 2×10^7 UFC y el que tuvo más fue el relicto de bosque 2×10^7 UFC. En general tanto los hongos como los actinomicetos se encontraron en poblaciones similares en los cuatro sistemas estudiados.

Generalmente las poblaciones de hongos totales son las que predominan en los suelos forestales ácidos, en la presente investigación esto fue diferente, donde el grupo microbiano que más población presentó en el suelo fue el de las bacterias. Como se citó en párrafos anteriores algunos autores señalan que las poblaciones microbianas más abundantes en los suelos son las bacterias, y esto es posible por las aportaciones de materiales orgánicos que hay en el suelo. Para el caso del presente estudio esta regla se cumplió, hubo importantes aportaciones de hojas recalcitrantes y de estiércol de ganado.

Corlay y Gómez (2001), señalan que los actinomicetos en el suelo se encuentran en rangos que van de los 1×10^5 a 1×10^8 UFC. Dicho dato apoya los resultados obtenidos en la presente investigación.

CONCLUSIÓN

De las propiedades del suelo analizadas la materia orgánica, pH, densidad aparente, contenido de humedad, conductividad eléctrica, potasio, nitrógeno, y número de bacterias difirieron significativamente entre los tipos de uso de suelo; mientras la capacidad de intercambio catiónico, magnesio, calcio, fosforo, hongos y actinomicetos no presentaron diferencias significativas estadísticamente lo que señala que los sistemas de plantación y pastizal impactan de manera diferente el recurso suelo.

Las alteraciones físicas, químicas y biológicas de suelos fragmentados de Bosque Mesófilo de Montaña por actividades de cambio de uso de suelo se producen principalmente debido a las diferentes cubiertas vegetales presentes en cada una de ellas.

LITERATURA CITADA

- Aguilera H., N. (1989) Tratado de Edafología de México, Tomo I. Dirección General de de publicaciones. Facultad de Ciencias Universidad Nacional Autónoma de México. México, D.F.
- Aldrich, M., Bubb, P., Hostettler, S., and Van de Wiel, H. (2000). Bosques nublados tropicales montanos. Tiempo para la acción. WWF International/IUCN The World Conservation Union. Cambridge. 28p.
- Alexander, M. (1980). Introducción a la Microbiología del suelo. México, D.F. A. G. T., S. A.
- AMC. 2012. La degradación de los recursos forestales en México. Academia Mexicana de Ciencia. México, D.F. http://revistaciencia.amc.edu.mx/index.php?option=com_content&task=view&id=135&Itemid=100011
- Arriaga, L., Espinoza, J. M., Aguilar, C., Martínez, E., Gómez, L. y Loa, E. (coord.). (2000), Regiones terrestres prioritarias de México (pp. 609). México, D.F. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad.
- Bredja, J.J.; Karlen, D.L.; Smith, J.L. and Allan, D.L. (2000). Identification of regional soil quality factors and indicators: II. Northern Mississippi Loess Hills and Palouse Prairie. Soil Science Society of America Journal, 64(6), 2125-2135. doi: 10.2136/sssaj2000.6462125x
- Campos, A. (2008). Evaluación de la calidad del suelo. En Reporte Final del Proyecto “Análisis y modelación del efecto del usos del suelo sobre la calidad de agua de los ríos en la cuenca alta del rio La Antigua (Veracruz-Puebla), (pp. 34-37). Xalapa, Ver., México. Instituto de Ecología, A. C.- CONACYT.
- Castillo-Campos, G. (1991). Vegetación y flora del municipio de Xalapa, Veracruz. Instituto de Ecología, AC.

- Challenger, A. (1998). Utilización y conservación de los ecosistemas terrestres de México. Pasado, presente y futuro. México, D.F. Comisión Nacional para el Conocimiento y uso de la Biodiversidad. UNAM Agrupación Sierra Madre, S. C.
- Chen, C. R., Condrón, L. M., and Xu, Z. H. (2008). Impacts of grassland afforestation with coniferous trees on soil phosphorus dynamics and associated microbial processes: a review. *Forest Ecology and Management*, 255(3), 396-409. doi: 10.1016/j.foreco.2007.10.040
- Corlay-Chee, L. y Gómez, C. (2001). Manual de prácticas de Ecología Microbiana. Chapingo, México. Departamento de Enseñanza, Investigación y Servicio en Agroecología. Universidad Autónoma Chapingo.
- Crespo, G., Lok, S., and Rodriguez, I. (2004). Production of leaf litter and contribution of N, P and K in two grasslands with different species composition. *Cuban Journal of Agricultural Science*, 38(1), 93-97.
- Dale, V. H., Lugo, A. E., Mac Mahon, J. A., Pickett, S. T. A. (1998). Ecosystem management in the context of large, infrequent disturbances. *Ecosyst* 1(6):546–557
- De la Rosa, D. (2008). Evaluación agro-ecológica de suelos para un desarrollo sostenible. Madrid, España. Mundi prensa.
- Desjardins, T., Andreux, F., Volkoff, B. and Cerri, C. C. (1994). Organic carbon and ¹³C contents in soils and soil size-fractions, and their changes due to deforestation and pasture installation in eastern Amazonia. *Geoderma*, 61(1-2), 103-118. doi: 10.1016/0016-7061(94)90013-2
- Doran, J.W. y Parkin, B.T. (1994). Defining Soil Quality for a Sustainable Environment. Soil Science Society of America, Inc. Special Publication. Number 35. Madison, Wisconsin, USA.
- Doumenge, C., Gilmouer, D., Ruiz, M.P. and Blockhus, J. (1995). Tropical montane cloud forest: Conservation status and management

- issues. En L.S. Hamilton, J.O. Juvik and F.N Scatena (Eds.) Tropical mountain cloud forest (pp. 24-37). Nueva York. Springer- Velarg.
- Essington, M.E. (2004). Soil and water chemistry, an integrative approach. CRC press.
 - Ewel, J. (1980). Tropical succession: Manifold routes to maturity. *Biotropica*, 12:2-7.
 - FAO. (1995). Planning for Sustainable Use of Land Resources. FAO Land and water Bulletin 2. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations.
 - Galindo-Leal, C. (2007). Programa Bosques Mexicanos, WWF México 2004-2007.
 - Geissen, V., Sánchez-Hernández, R., Kampichler, C., Ramos-Reyes, R., Sepulveda-Lozada, A., Ochoa- Goana, S., de Jong, B.H.J, Huer ta- Lwanga, E. and Hernández-Daumas, S. (2009) Effects of land-use change on some properties of tropical soils -A n example from Southeast Mexico. *Geoderma* 151: 87-97. doi: 10.1016/j.geoderma.2009.03.011
 - Geissert, D. e Ibáñez, A. (2008). Calidad y ambiente físico-químico de los suelos. En R.H. Manson, V. Hernández-Ortiz, S. Gallina y K. Mehltreter (eds), *Agroecosistemas cafetaleros de Veracruz: biodiversidad, manejo y conservación*. México. Instituto de Ecología A.C. (INECOL) e Instituto Nacional de Ecología (INE-SEMARNAT).
 - Geissert, D., D. Dubroeucq, A. Campos y E Meza. 1994. Carta de unidades geomorfo-edafológicas de la región natural Cofre de Perote, Veracruz, México. Escala 1:75000. Instituto de EcologíaORSTOM-CONACYT. Jalapa, Veracruz, México.
 - Geissert-Kientz, D; Meza-Pérez, E; (2006). Estabilidad de estructura en andisoles de uso forestal y cultivados. *Terra Latinoamericana*, 24, 163-170. Recuperado de <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=57311108002>

- Gobat, J.M., Arango, M. and Matthey, W. (2004). The Living Soil, Fundamentals of soil science and soil biology. New Hampshire. USA. Science Publishers.
- Hamilton, L. S., Juvik, J. O., y Scateana, F. N. (Eds), 1995. Tropical Montane Cloud Forests. New York. Springer Verlag. Ecological Studies 110.
- Henríquez, C., Bertsch, F. y Salas, R. (1998). La fertilidad de suelos: manual de laboratorio. Costa Rica. Asociación Costarricense de la Ciencia del Suelo.
- INEGI. (2009). Prontuario de información geográfica municipal de los Estados Unidos Mexicanos.
- INEGI. (2011). Estadísticas a propósito del día mundial forestal. Instituto Nacional de Estadística y Geografía. Aguascalientes, México.
- Jaramillo, J. (2002). Introducción a la ciencia del suelo. Medellín, Colombia. Universidad Nacional de Colombia.
- Karlen, D. L., Ditzler, C. A., & Andrews, S. S. (2003). Soil quality: why and how?. *Geoderma*, 114(3), 145-156.
- Karlen, D. L., Mausbach, M. J., Doran, J. W., Cline, R. G., Harris, R. F., and Schuman, G. E. (1997). Soil quality: a concept, definition, and framework for evaluation (a guest editorial). *Soil Science Society of America Journal*, 61(1), 4-10.
- Koeppen, W. 1948. Climatología. México, D. F. Fondo de Cultura Económica.
- Lal, R. (1996). Deforestation and land-use effects on soil degradation and rehabilitation in western Nigeria. II. Soil chemical properties. *Land Degradation & Development*, 7(2), 87-98.
- Lal, R., Kimble, J. and Follet, R. (1998). Pedospheric processes and the carbon cycle. En R. Lal, J.M. Kimble, R.F Follet and B.A Stewart (eds), *Soil Processes and the carbon cycle* (pp. 1-8). Ohio.

- Larson, W. E. and Pierce, F. J. (1991). Conservation and enhancement of soil quality. En Chiang Rai, Evaluation for sustainable land management in the developing world: proceedings of the International Workshop on Evaluation for Sustainable Land Management in the Developing World (pp.15-21). Bangkok, Thailand. International Board for Soil Research and Management.
- Luizao, R. C., Bonde, T. A. and Rosswall, T. (1992). Seasonal variation of soil microbial biomass—the effects of clearfelling a tropical rainforest and establishment of pasture in the Central Amazon. *Soil Biology and Biochemistry*, 24(8), 805-813.
- Luna, I., Velázquez, A. y Velázquez, E., 2001. El Caribe y los países del continente americano. En M. Kappelle y A. D. Brown (Eds), *Bosques nublados del neotrópico* (pp. 183-229). Costa Rica. Instituto Nacional de Biodiversidad.
- Marchal, J. y Palma. (1985). Análisis gráfico de un espacio regional: Veracruz (No. 04; C, HC138 M3.).
- Mesera, O. R., Ordoñez, M. J. and Dirzo, R. 1997. Carbon emissions from Mexican Forest: current situation and long term scenarios. *Climatic Change*, 35:265-295p. doi:10.1023/A:1005309908420
- Muñoz-Villers, L. E. and López-Blanco, J. (2008). Land use/cover changes using Landsat TM/ETM images in a tropical and biodiverse mountainous area of central-eastern Mexico. *International Journal of Remote Sensing*, 29(1), 71-93.
- Neill, C., Melillo, J. M., Steudler, P. A., Cerri, C. C., de Moraes, J. F., Piccolo, M. C. and Brito, M. (1997). Soil carbon and nitrogen stocks following forest clearing for pasture in the southwestern Brazilian Amazon. *Ecological Applications*, 7(4), 1216-1225. doi: 10.1890/1051-0761(1997)007[1216:SCANSF]2.0.CO;2
- Norma Oficial Mexicana, 2002. Que Establece las Especificaciones de Fertilidad, Salinidad y Clasificación de Suelos. Estudios, Muestreo y

Análisis. NOM-021-RECNAT-2000. 2a Ed. Secretaria de Medio Ambiente y Recursos Naturales. México. 89 p. Diario Oficial, 31 de diciembre de 2002.

- Ohta, S. (1990). Influence of deforestation on the soils of the Pantabangan area, Central Luzon, the Philippines. *Soil Science and Plant Nutrition*, 36(4), 561-573.
- Porta, J., López-Acevedo, M. y Roquero, C. (2003). *Edafología para la agricultura y el medio ambiente*. 3ra ed. Madrid, España. Ediciones Mundi Prensa.
- Pritchett, W. L. (1986). *Suelos forestales*. Mexico, D. F. Limusa.
- Rasiah, V., Florentine, SK., Williams, BL. And Westbrooke, ME (2004). The impact of deforestation and pasture abandonment on soil properties in the wet tropics of Australia. *Geoderma*, 120: 35-45.
- Raun, NS. and Peterson, R. A. (1986). Productivity improvement and resource conservation in rangeland use. En Joss PJ, Lynch PW, Williams DB (Eds.) *Proc. Second Int. Congr. on Rangeland: A Resource under Siege*. Australian Academy of Science. Canberra.
- Rhoades, C.C., Eckert, G.E., & Coleman, D.C. (2000). Soil carbon differences among forest, agriculture, and secondary vegetation in lower montane Ecuador. *Ecological Applications*, 10(2): 497-505.
- Roncal-García, S., Soto-Pinto, L., Castellanos-Albores, J., Ramírez-Marcial, N., & De Jong, B. (2008). Estimación de carbono en sistemas agroforestales en comunidades indígenas de Chiapas, México. Tesis de maestría.
- Roy R.N., A. Finck, G.J. Blair y H.L.S. Tandon.(2006). *Plant nutrition for food security, a guide for integrated nutrient management*. FAO Fertilizer and plant nutrition bulletin. No. 16.
- Rzedowski, J. (1996). Análisis preliminar de la flora vascular de los bosques mesófilos de montaña de México. *Acta Botánica Mexicana* 35:25-44.

- Rzedowski, J. (2006). Vegetación de México. 1ra. Edición digital, Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. México.
- SEMARNAT. (2003). Informe de la Situación del Medio Ambiente en México 2002.
- Sharrow, SH (2007). Soil compaction by grazing livestock in silvopastures as evidenced by changes in soil physical properties. *Agroforest. Syst.*, 71: 215-223.
- Shoji S., Dahlgren, R. and Nanzzyo, N. 1993. Genesis of volcanicash soils. In: S. Shoji, M. Nanzzyo and R. Dahlgren (Ed), *Volcanicash soils. Genesis, properties and utilization. Developments in Soil Science* 21. 37-71. Amsterdam, Netherlands. Elsevier.
- Tarré R, Macedo R, Cantarutti RB, Rezende C de P, Pereira JM, Ferreira E, Alves BJR, Urquiaga S, Boddey, R M. (2001) The effect of the presence of a forage legume on nitrogen and carbon levels in soils under *Brachiaria* pastures in the Atlantic forest region of the South of Bahia, Brazil. *Plant Soil* 234: 15-26.
- Turner MG (1998) Landscape ecology: the effect of pattern on process. *Annu. Rev. Ecol. Syst.* 20: 171-197.
- Turner, M. G., & Dale, V. H. (1998). Comparing large, infrequent disturbances: what have we learned?. *Ecosystems*, 1(6), 493-496.
- Turner, M., Dale, V., Everham, E. (1997). Fires, hurricanes, and volcanoes: comparing large disturbances. *Bioscience* 47:758–768.
- Vázquez A. A. y Bautista N. 1993. Guía para interpretar el análisis químico de suelo y agua. Departamento de Suelos. Universidad Autónoma de Chapingo. México.
- Velázquez, A., J. F. Mas., J. R. Díaz, G., R. Mayorga, S., P. C. Alcántara., R. Castro., T. Fernández., G. Bocco., E. Ezcurra y J. L. Palacio. (2002). Patrones y tasa de cambio de uso del suelo en México.

Gaceta Ecológica: 062. Instituto Nacional de Ecología, Distrito Federal, México pp 21-37.

- Velázquez, A., Mas, J.F., Mayorga-Saucedo, R., Díaz, J. R., Alcántara, C., y Castro, R. (2002). Estado actual y dinámica de los recursos forestales de Mexico. CONABIO. Biodiversitas, 41, pp.8-15.
- Veldkamp, E. (1994). Organic carbon turnover in three tropical soils under pasture after deforestation. Soil Science. Soc. Am. J.,
- Wassenaar T, Gerber P, Verburg PH, Rosales M, Ibrahim M, Steinfeld H. (2007) Projecting land use changes in the Neotropics: The geography of pasture expansion into forest. Global Env. Change: Human Policy Dimens,. 17: 86-104.
- Williams-Linera, G. (1992). Ecología del paisaje y el bosque mesófilo de montaña en el centro de Veracruz. Ciencia y Desarrollo XVIII, (105):132-138.
- Williams-Linera, G. (2002). Tree species richness complementarity, disturbance and fragmentation in a Mexican tropical montane cloud forest. Biodiversity and Conservation 11:1825–1843.
- Williams-Linera, G. (2007). El bosque de niebla del centro de Veracruz: ecología, historia y destino en tiempos de fragmentación y cambio climático. CONABIO- Instituto de Ecología, A.C., Xalapa, Veracruz, México. 208pp.
- Wu, J. (1995). From balance of nature to hierarchical patch dynamics: a paradigm shift in ecology. Q Rev Biol. 70:439–466.
- Zapata, H.R. (2006). Origen de la acidez en el suelo. bdigital.unal. en: <http://www.bdigital.unal.edu.co/1735/3/9583367125.3.pdf>.

- Zimmermann, M., Meir, P., Silman, M.R., Fedders, A., Gibbon, A., Malhi, Y., Urrego, D.H., Bush, M.B., Feeley, K.J., Garcia, K.C., Dargie, G.C., Farfan, W.R., Goetz, B.P., Johnson, W, T., Kline, K.M., Modi, A.T., Q.Rurau, N.M., Staudt, B.T., & Zamora, F. (2010). No differences in soil carbon stocks across the tree line in the Peruvian Andes. *Ecosystems*, 13:62-74.

LITERATURA CONSULTADA

- Alvarez-Arteaga, G., Krasilnikov, P., and García-Calderón, N. E. (2012). Vertical distribution and soil organic matter composition in a montane cloud forest, Oaxaca, Mexico. *European Journal of Forest Research*, 131(6), 1643-1651.
- Bubb, P., May, I., Miles, L., and Sayer, J. (Eds). (2004). *Cloud Forest Agenda*. Cambridge. UNEP-WCMC.

APÉNDICE

1. Contenido de humedad

ANÁLISIS DE CONTENIDO DE HUMEDAD EN SUELOS BAJO DIFERENTES USOS

Procedimiento ANOVA

Variable dependiente: HUMEDAD

Fuente	DF	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
Modelo	3	2703.390000	901.130000	6.30	0.0168
Error	8	1143.480000	142.935000		
Total correcto	11	3846.870000			

R-cuadrado	Coef Var	Raiz MSE	HUMEDAD Media
0.702751	18.37900	11.95554	65.05000

Fuente	DF	Anova SS	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
UNIDADES	3	2703.390000	901.130000	6.30	0.0168

Se tiene que se rechaza la hipótesis nula $H_0: \mu_1 = \dots \mu_n = \mu$, es decir, hay una diferencia considerable en el contenido de humedad de los 4 tipos de suelos; al menos en una unidad el contenido de humedad produce un efecto diferente.

PRUEBA DE DUNNETT PARA CONTENIDO DE HUMEDAD EN SUELOS BAJO DIFERENTES USOS

Procedimiento ANOVA

Test Dunnett t de una cola para HUMEDAD

NOTA: Este test controla el error experimentwise de tipo I para las comparaciones de tratamientos con un control.

Alfa	0.05
Error de grados de libertad	8
Error de cuadrado medio	142.935
Valor crítico de t de Dunnett	2.41645
Diferencia significativa mínima	23.589

Las comparaciones importantes del nivel 0.05 están indicadas por ***.

UNIDADES Comparación	Diferencia entre medias	Simultáneo 95% Límites de confianza	
S - B	36.800	13.211	Infinida ***
P - B	21.700	-1.889	Infinida
R - B	2.500	-21.089	Infinida

El contenido de humedad del suelo que se encuentra en la unidad de pastizal es diferente (estadísticamente) respecto del suelo en el bosque sin perturbar.

2. Densidad aparente

ANÁLISIS DE DA EN SUELOS BAJO DIFERENTES USOS

Procedimiento ANOVA

Variable dependiente: DA

Fuente	DF	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
Modelo	3	0.00686667	0.00228889	11.44	0.0029
Error	8	0.00160000	0.00020000		
Total correcto	11	0.00846667			

R-cuadrado	Coef Var	Raiz MSE	DA Media
0.811024	2.001246	0.014142	0.706667

Fuente	DF	Anova SS	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
UNIDADES	3	0.00686667	0.00228889	11.44	0.0029

Se encontraron diferencias estadísticas significativas, se rechaza la hipótesis nula $H_0: \mu_1 = \dots \mu_n = \mu$, por lo tanto al menos en una unidad de muestreo la densidad aparente produce un efecto diferente.

PRUEBA DE DUNNETT PARA DA EN SUELOS BAJO DIFERENTES USOS

Procedimiento ANOVA

Test Dunnett t de una cola para DA

NOTA: Este test controla el error experimentwise de tipo I para las comparaciones de tratamientos con un control.

Alfa	0.05
Error de grados de libertad	8
Error de cuadrado medio	0.0002
Valor crítico de t de Dunnett	2.41645
Diferencia significativa mínima	0.0279

Las comparaciones importantes del nivel 0.05 están indicadas por ***.

UNIDADES Comparación	Diferencia entre medias	Simultáneo 95% Límites de confianza	
S - B	0.06667	0.03876	Infinida ***
R - B	0.03000	0.00210	Infinida ***
P - B	0.02333	-0.00457	Infinida

La densidad aparente del suelo que se encuentra en las unidades de pastizal y relictos de bosque es diferente (estadísticamente) respecto del suelo CONTROL en el bosque sin perturbar

3. pH

ANÁLISIS DE PH EN SUELOS BAJO DIFERENTES USOS

Procedimiento ANOVA

Variable dependiente: PH

Fuente	DF	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
Modelo	3	0.69333333	0.23111111	138.67	<.0001
Error	8	0.01333333	0.00166667		
Total correcto	11	0.70666667			

R-cuadrado	Coef Var	Raiz MSE	PH Media
0.981132	0.707945	0.040825	5.766667

Fuente	DF	Anova SS	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
UNIDADES	3	0.69333333	0.23111111	138.67	<.0001

Se rechaza la hipótesis nula $H_0: \mu_1 = \dots \mu_n = \mu$, es decir, al menos en una unidad de muestreo el pH medido en agua produce un efecto diferente.

PRUEBA DE DUNNETT PARA PH EN SUELOS BAJO DIFERENTES USOS

Procedimiento ANOVA

Test Dunnett t de una cola para PH

NOTA: Este test controla el error experimentwise de tipo I para las comparaciones de tratamientos con un control.

Alfa	0.05
Error de grados de libertad	8
Error de cuadrado medio	0.001667
Valor crítico de t de Dunnett	2.41645
Diferencia significativa mínima	0.0805

Las comparaciones importantes del nivel 0.05 están indicadas por ***.

UNIDADES Comparación	Diferencia entre medias	Simultáneo 95% Límites de confianza	
S - B	0.66667	0.58612	Infinida ***
P - B	0.40000	0.31945	Infinida ***
R - B	0.26667	0.18612	Infinida ***

El pH del suelo en la plantación, pastizal y relictos de bosque es diferente (estadísticamente) respecto del suelo en el bosque sin perturbar.

4. Materia orgánica

ANÁLISIS DE MO EN SUELOS BAJO DIFERENTES USOS

Procedimiento ANOVA

Variable dependiente: MO

Fuente	DF	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
Modelo	3	207.7266667	69.2422222	40.57	<.0001
Error	8	13.6533333	1.7066667		
Total correcto	11	221.3800000			

R-cuadrado	Coef Var	Raiz MSE	MO Media
0.938326	10.04919	1.306395	13.00000

Fuente	DF	Anova SS	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
UNIDADES	3	207.7266667	69.2422222	40.57	<.0001

Se rechaza la hipótesis nula $H_0: \mu_1 = \dots \mu_n = \mu$, es decir, hay una diferencia considerable en el contenido materia orgánica de los 4 tipos de suelos; al menos en una unidad el contenido de materia orgánica produce un efecto diferente.

PRUEBA DE DUNNETT PARA MO EN SUELOS BAJO DIFERENTES USOS

Procedimiento ANOVA

Tests t de Dunnett para MO

NOTA: Este test controla el error experimentwise de tipo I para las comparaciones de tratamientos con un control.

Alfa	0.05
Error de grados de libertad	8
Error de cuadrado medio	1.706667
Valor crítico de t de Dunnett	2.87966
Diferencia significativa mínima	3.0716

Las comparaciones importantes del nivel 0.05 están indicadas por ***.

UNIDADES Comparación	Diferencia entre medias	Simultáneo 95% Límites de confianza		
R - B	4.500	1.428	7.572	***
S - B	-0.933	-4.005	2.138	
P - B	-7.167	-10.238	-4.095	***

El contenido de materia orgánica del suelo que se encuentra en las unidades de plantación y relictos de bosque es diferente (estadísticamente) respecto del suelo en el bosque sin perturbar.

5. Conductividad eléctrica

ANÁLISIS DE CE EN SUELOS BAJO DIFERENTES USOS

Procedimiento ANOVA

Variable dependiente: CE

Fuente	DF	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
Modelo	3	167.7291667	55.9097222	41.41	<.0001
Error	8	10.8000000	1.3500000		
Total correcto	11	178.5291667			

R-cuadrado	Coef Var	Raiz MSE	CE Media
0.939506	3.081269	1.161895	37.70833

Fuente	DF	Anova SS	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
UNIDADES	3	167.7291667	55.9097222	41.41	<.0001

Se rechaza la hipótesis nula $H_0: \mu_1 = \dots \mu_n = \mu$, es decir, hay una diferencia considerable en la conductividad eléctrica de los 4 tipos de suelos; al menos en una unidad la conductividad eléctrica produce un efecto diferente.

PRUEBA DE DUNNETT PARA CE EN SUELOS BAJO DIFERENTES USOS

Procedimiento ANOVA

Test Dunnett t de una cola para CE

NOTA: Este test controla el error experimentwise de tipo I para las comparaciones de tratamientos con un control.

Alfa	0.05
Error de grados de libertad	8
Error de cuadrado medio	1.35
Valor crítico de t de Dunnett	2.41645
Diferencia significativa mínima	2.2924

Las comparaciones importantes del nivel 0.05 están indicadas por ***.

UNIDADES Comparación	Diferencia entre medias	Simultáneo 95% Límites de confianza	
P - B	-1.7667	-Infinita 0.5258	
R - B	-4.7333	-Infinita -2.4409	***
S - B	-9.8667	-Infinita -7.5742	***

La conductividad eléctrica del suelo que se encuentra en las unidades de pastizal y relictos de bosque es diferente (estadísticamente) respecto del suelo en el bosque sin perturbar

6. Capacidad de intercambio catiónico

ANÁLISIS DE CIC EN SUELOS BAJO DIFERENTES USOS

Procedimiento ANOVA

Variable dependiente: CIC

Fuente	DF	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
Modelo	3	133.0866667	44.3622222	2.39	0.1448
Error	8	148.7533333	18.5941667		
Total correcto	11	281.8400000			

R-cuadrado	Coef Var	Raiz MSE	CIC Media
0.472206	16.58498	4.312095	26.00000

Fuente	DF	Anova SS	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
UNIDADES	3	133.0866667	44.3622222	2.39	0.1448

No se rechaza la hipótesis nula $H_0: \mu_1 = \dots \mu_n = \mu$, es decir, no hay una diferencia considerable en la capacidad de intercambio catiónico de los 4 tipos de suelos.

7. Macronutrientes

7.1. Nitrógeno

ANÁLISIS DE N EN SUELOS BAJO DIFERENTES USOS

Procedimiento ANOVA

Variable dependiente: N

Fuente	DF	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
Modelo	3	443.2066667	147.7355556	7.94	0.0088
Error	8	148.9200000	18.6150000		
Total correcto	11	592.1266667			

R-cuadrado	Coef Var	Raiz MSE	N Media
0.748500	27.07852	4.314510	15.93333

Fuente	DF	Anova SS	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
UNIDADES	3	443.2066667	147.7355556	7.94	0.0088

Se rechaza la hipótesis nula $H_0: \mu_1 = \dots \mu_n = \mu$, es decir, hay una diferencia considerable en el nitrógeno inorgánico de los 4 tipos de suelos; al menos en una unidad el nitrógeno inorgánico produce un efecto diferente.

PRUEBA DE DUNNETT PARA N EN SUELOS BAJO DIFERENTES USOS

Procedimiento ANOVA

Test Dunnett t de una cola para N

NOTA: Este test controla el error experimentwise de tipo I para las comparaciones de tratamientos con un control.

Alfa	0.05
Error de grados de libertad	8
Error de cuadrado medio	18.615
Valor crítico de t de Dunnett	2.41645
Diferencia significativa mínima	8.5126

Las comparaciones importantes del nivel 0.05 están indicadas por ***.

UNIDADES Comparación	Diferencia entre medias	Simultáneo 95% Límites de confianza	
R - B	14.767	6.254 Infinita	***
P - B	8.467	-0.046 Infinita	
S - B	0.633	-7.879 Infinita	

El nitrógeno inorgánico del suelo que se encuentra en la unidad de relictos de bosque es diferente (estadísticamente) respecto del suelo en el bosque sin perturbar.

7.2. Fósforo

ANÁLISIS DE P EN SUELOS BAJO DIFERENTES USOS

Procedimiento ANOVA

Variable dependiente: P

Fuente	DF	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
Modelo	3	1.30920000	0.43640000	0.46	0.7180
Error	8	7.59360000	0.94920000		
Total correcto	11	8.90280000			

R-cuadrado	Coef Var	Raiz MSE	P Media
0.147055	21.94299	0.974269	4.440000

Fuente	DF	Anova SS	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
UNIDADES	3	1.30920000	0.43640000	0.46	0.7180

No se rechaza la hipótesis nula $H_0: \mu_1 = \dots \mu_n = \mu$, es decir, no hay una diferencia considerable en el fósforo de los 4 tipos de suelos.

7.3. Potasio

ANÁLISIS DE K EN SUELOS BAJO DIFERENTES USOS					
Procedimiento ANOVA					
Variable dependiente: K					
Fuente	DF	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
Modelo	3	20118.66667	6706.22222	76.50	<.0001
Error	8	701.33333	87.66667		
Total correcto	11	20820.00000			
	R-cuadrado	Coef Var	Raiz MSE	K Media	
	0.966314	4.479927	9.363048	209.0000	
Fuente	DF	Anova SS	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
UNIDADES	3	20118.66667	6706.22222	76.50	<.0001

Se rechaza la hipótesis nula $H_0: \mu_1 = \dots \mu_n = \mu$, es decir, hay una diferencia considerable en el potasio de los 4 tipos de suelos; al menos en una unidad el potasio produce un efecto diferente.

PRUEBA DE DUNNETT PARA K EN SUELOS BAJO DIFERENTES USOS			
Procedimiento ANOVA			
Test Dunnett t de una cola para K			
NOTA: Este test controla el error experimentwise de tipo I para las comparaciones de tratamientos con un control.			
Alfa		0.05	
Error de grados de libertad		8	
Error de cuadrado medio		87.66667	
Valor crítico de t de Dunnett		2.41645	
Diferencia significativa mínima		18.474	
Las comparaciones importantes del nivel 0.05 están indicadas por ***.			

UNIDADES Comparación	Diferencia entre medias	Simultáneo 95% Límites de confianza	
P - B	-24.667	-Infinita -6.193	***
S - B	-37.333	-Infinita -18.860	***
R - B	-110.000	-Infinita -91.526	***

El potasio del suelo que se encuentra en las unidades de plantación, pastizal y relictos de bosque es diferente (estadísticamente) respecto del suelo en el bosque sin perturbar.

7.4. Calcio

ANÁLISIS DE CA EN SUELOS BAJO DIFERENTES USOS					
Procedimiento ANOVA					
Variable dependiente: CA					
Fuente	DF	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
Modelo	3	779824.667	259941.556	2.88	0.1029
Error	8	722095.333	90261.917		
Total correcto	11	1501920.000			
		R-cuadrado	Coef Var	Raiz MSE	CA Media
		0.519219	14.60555	300.4362	2057.000
Fuente	DF	Anova SS	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
UNIDADES	3	779824.6667	259941.5556	2.88	0.1029

No se rechaza la hipótesis nula $H_0: \mu_1 = \dots \mu_n = \mu$, es decir, no hay una diferencia considerable en el calcio de los 4 tipos de suelos.

7.5. Magnesio

ANÁLISIS DE MG EN SUELOS BAJO DIFERENTES USOS					
Procedimiento ANOVA					
Variable dependiente: MG					
Fuente	DF	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
Modelo	3	236310.6667	78770.2222	2.11	0.1773
Error	8	298720.0000	37340.0000		
Total correcto	11	535030.6667			
		R-cuadrado	Coef Var	Raiz MSE	MG Media
		0.441677	21.63085	193.2356	893.3333
Fuente	DF	Anova SS	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
UNIDADES	3	236310.6667	78770.2222	2.11	0.1773

No se rechaza la hipótesis nula $H_0: \mu_1 = \dots \mu_n = \mu$, es decir, no hay una diferencia considerable en el magnesio de los 4 tipos de suelos.

8. Poblaciones totales de microorganismos

8.1. Bacterias

ANÁLISIS DE BACTERIAS EN SUELOS BAJO DIFERENTES USOS					
Procedimiento ANOVA					
Variable dependiente: BACTERIAS					
Fuente	DF	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
Modelo	3	1.0624103E17	3.5413678E16	3.00	0.0951
Error	8	9.4409412E16	1.1801176E16		
Total correcto	11	2.0065045E17			
R-cuadrado	Coef Var	Raiz MSE	BACTERIAS Media		
0.529483	110.8412	108633220	98007954		
Fuente	DF	Anova SS	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
UNIDADES	3	1.0624103E17	3.5413678E16	3.00	0.0951

No se rechaza la hipótesis nula $H_0: \mu_1 = \dots \mu_n = \mu$, es decir, no hay una diferencia considerable en la presencia de bacterias en los 4 tipos de suelos.

PRUEBA DE DUNNETT PARA BACTERIAS EN SUELOS BAJO DIFERENTES USOS			
Procedimiento ANOVA			
Test Dunnett t de una cola para BACTERIAS			
NOTA: Este test controla el error experimentwise de tipo I para las comparaciones de tratamientos con un control.			
Alfa		0.05	
Error de grados de libertad		8	
Error de cuadrado medio		1.18E16	
Valor crítico de t de Dunnett		2.41645	
Diferencia significativa mínima		2.14E8	
Las comparaciones importantes del nivel 0.05 están indicadas por ***.			

UNIDADES Comparación	Diferencia entre medias	Simultáneo 95% Límites de confianza	
P - B	-209364935	-Infinida	4971141
S - B	-212803287	-Infinida	1532790
R - B	-227926960	-Infinida	-13590884 ***

Sin embargo, al realizar la prueba de Dunnett se tiene que existe una diferencia considerable de presencia de bacterias en el bosque sin perturbar en comparación con los relictos de bosque.

8.2. Hongos

ANÁLISIS DE HONGOS EN SUELOS BAJO DIFERENTES USOS

Procedimiento ANOVA

Variable dependiente: HONGOS

Fuente	DF	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
Modelo	3	1.5567055E13	5.1890185E12	2.97	0.0972
Error	8	1.3988233E13	1.7485291E12		
Total correcto	11	2.9555288E13			

R-cuadrado	Coef Var	Raiz MSE	HONGOS Media
0.526710	30.08083	1322320	4395888

Fuente	DF	Anova SS	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
UNIDADES	3	1.5567055E13	5.1890185E12	2.97	0.0972

No se rechaza la hipótesis nula $H_0: \mu_1 = \dots \mu_n = \mu$, es decir, no hay una diferencia considerable en la presencia de hongos en los 4 tipos de suelos.

8.3. Actinomicetos

ANÁLISIS DE ACTINOMICETOS EN SUELOS BAJO DIFERENTES USOS

Procedimiento ANOVA

Variable dependiente: ACTINOMICETOS

Fuente	DF	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
Modelo	3	2.566568E14	8.5552267E13	1.79	0.2269
Error	8	3.8246039E14	4.7807549E13		
Total correcto	11	6.3911719E14			

R-cuadrado	Coef Var	Raiz MSE	ACTINOMICETOS Media
0.401580	57.69993	6914300	11983204

Fuente	DF	Anova SS	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
UNIDADES	3	2.566568E14	8.5552267E13	1.79	0.2269

No se rechaza la hipótesis nula $H_0: \mu_1 = \dots \mu_n = \mu$, es decir, no hay una diferencia considerable en la presencia de actinomicetos en los 4 tipos de suelos.