



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA
DE MÉXICO**

FACULTAD DE CIENCIAS

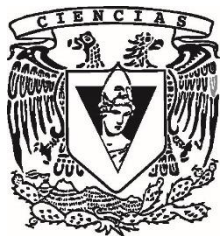
**CALIDAD DEL SUELO EN BOSQUES DE PINO,
HUERTAS AGUACATERAS Y PARCELAS
AGRÍCOLAS DE MICHOACÁN, MÉXICO**

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

**B I Ó L O G A
P R E S E N T A:**

VANESSA BONILLA BALDERAS



**DIRECTORA DE TESIS:
DRA. MAYRA ELENA GAVITO PARDO**

México, D.F. 2015



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

1. Datos del Alumno
Bonilla
Balderas
Vanessa
55 47 94 14 46
Universidad Nacional Autónoma de México
Facultad de Ciencias
Biología
307047317
2. Datos del tutor
Dra.
Mayra Elena
Gavito
Pardo
3. Datos del sinodal 1
Dra.
Christina Désirée
Siebe
Grabach
4. Datos del sinodal 2
Dra.
Silke
Cram
Heydrich
5. Datos del sinodal 3
Dra.
María Guadalupe
Barajas
Guzmán
6. Datos del sinodal 4
Dra.
Amada Laura
Reyes
Ortigoza
7. Datos del trabajo escrito
Calidad del suelo en bosques de pino, huertas aguacateras y parcelas agrícolas de
Michoacán, México
73 p
2015



UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE
MÉXICO

FACULTAD DE CIENCIAS
Secretaría General
División de Estudios Profesionales

Votos Aprobatorios

DR. ISIDRO ÁVILA MARTÍNEZ
Director General
Dirección General de Administración Escolar
Presente

Por este medio hacemos de su conocimiento que hemos revisado el trabajo escrito titulado:

Calidad del suelo en bosques de pino, huertas aguacateras y parcelas agrícolas de Michoacán, México

realizado por **BONILLA BALDERAS VANESSA** con número de cuenta **3-0704731-7** quien ha decidido titularse mediante la opción de tesis en la licenciatura en **Biología**. Dicho trabajo cuenta con nuestro voto aprobatorio.

| | | |
|-----------------------|--------------------------------------|---------------------------------|
| Propietario | Dra. Christina Désirée Siebe Grabach | <i>Christina Siebe</i> |
| Propietario | Dra. Silke Cram Heydrich | <i>Silke Cram</i> |
| Propietario Tutora | Dra. Mayra Elena Gavito Pardo | <i>Mayra Elena Gavito Pardo</i> |
| Suplente | Dra. María Guadalupe Barajas Guzmán | <i>Ma. G. Barajas</i> |
| Suplente | Dra. Amada Laura Reyes Ortigoza | <i>Amada Laura Reyes</i> |

Atentamente
"POR MI RAZA HABLARÁ EL ESPÍRITU"
Ciudad Universitaria, D. F., a 15 de junio de 2015
EL JEFE DE LA DIVISIÓN DE ESTUDIOS PROFESIONALES

ACT. MAURICIO AGUILAR GONZÁLEZ

Señor sinodal: antes de firmar este documento, solicite al estudiante que le muestre la versión digital de su trabajo y verifique que la misma incluya todas las observaciones y correcciones que usted hizo sobre el mismo.
MAG/MGM/mdm *Uau*

**Esta tesis se realizó en el laboratorio de Suelos Sustentables del Instituto de
Investigaciones en Ecosistemas y Sustentabilidad UNAM**

DEDICATORIA

A mis padres: Con todo mi cariño y admiración; gracias por el apoyo Ángel Bonilla G. y Violeta Balderas B.

A mis hermanos

José Walter y Miguel Ángel

Por todo su apoyo y ánimo incondicional

A mis tíos

Estrella y José Heriberto

Por los consejos brindados cuando más lo necesite

A mi nueva familia

Alma Delia, Giovana y José Manuel

Por ser parte de esta etapa

AGRADECIMIENTOS

Esta tesis fue realizada gracias al financiamiento otorgado por la UNAM a través de los proyectos del Programa de Apoyo a Proyectos de Investigación e Innovación Tecnológica IACOD No. T1200111 y PAPIIT No. TB100412-2. Asimismo al proyecto “Evaluación del impacto ecológico del cultivo del aguacate a nivel regional y de parcela en el estado de Michoacán: validación de indicadores ambientales en los diferentes tipos de producción” por parte de la Fundación Produce Michoacán (etapa 1) y la Coordinadora de Fundaciones Produce (etapa 2).

Agradezco a la Universidad Nacional Autónoma de México, por mi formación académica dentro de la licenciatura en Biología.

A la Dra. Mayra Elena Gavito Pardo, tutora de esta tesis, así como a las sinodales, por todo su apoyo durante la realización de este proyecto, correcciones y aportaciones que permitieron la finalización de este trabajo.

A los doctores Javier Álvarez Sánchez, Guadalupe Barajas Guzmán, Irene Sánchez Gallén por las observaciones y correcciones realizadas a este trabajo, además del tiempo invertido para resolver cualquier duda.

A la M. en B. Ana Lidia Sandoval Pérez por su apoyo incondicional al ofrecerme ayuda para realizar los análisis de este trabajo en el Laboratorio Interacción-Planta-Microbio del CIEco-UNAM, durante el período de obtención de datos de este trabajo, así como por su amistad y consejos.

A Yair Merlín Uribe y Eloy Pat López por su apoyo en campo, gracias a ellos la realización de esta parte del proyecto fue agradable.

A la M. en C Maribel Nava Mendoza por su apoyo y asesoría en el laboratorio.

A Juan Carlos Peña Becerril por colaborar en la elaboración de material ilustrativo (mapa) para este trabajo.

A los propietarios de las parcelas, sin cuya autorización no hubiera sido posible efectuar el muestreo.

Agradecimientos personales

A mi tía Estrella y a mi tío José Heriberto Balderas Barajas, por todo el apoyo, consejos y llamadas de atención brindadas cuando las necesité.

A Atanacia Gutiérrez Herrera, Remedios Sánchez Gutiérrez, Oliverio y Jesús Alberto Sánchez González, por el hospedaje y apoyo brindados durante mi estancia en Michoacán.

Agradezco a todas esas personas importantes para mí (familia, amigos y conocidos), que estuvieron en los momentos indicados para ayudar a fortalecer mi confianza, darme todo su apoyo y buena vibra y con los que además, tuve el gusto de compartir valiosos y divertidos momentos durante los últimos años.

De igual manera agradezco al profesor Noé Pacheco Coronel por el ánimo brindado para que concluyera este proyecto.

ÍNDICE

| | |
|---|-----------|
| RESUMEN..... | 1 |
| SUMMARY | 2 |
| 1. Introducción..... | 3 |
| 1.1 Cobertura y uso de suelo..... | 3 |
| 1.2 Usos de suelo y coberturas predominantes..... | 4 |
| 2. Antecedentes | 9 |
| 2.1 Calidad del suelo..... | 9 |
| 2.2 Uso de indicadores..... | 9 |
| 2.3 Propiedades Físicas..... | 12 |
| 2.4 Propiedades Químicas | 15 |
| 2.5 Propiedades Biológicas..... | 17 |
| 3. Planteamiento del problema..... | 19 |
| 4. Justificación | 20 |
| 5. Objetivos | 21 |
| 6. Hipótesis | 22 |
| 7. Métodos | 23 |
| 7.1 Descripción del área de estudio..... | 23 |
| 7.2 Sitio de estudio | 23 |
| 7.3 Diseño experimental..... | 26 |
| 7.4 Métodos para el análisis de suelo | 29 |
| 7.4.1 Variables físicas | 29 |
| 7.4.2 Variables químicas..... | 30 |
| 7.4.3 Variables biológicas..... | 31 |
| 7.5Análisis de datos | 31 |
| 8. Resultados | 33 |
| 8.1 Entrevistas..... | 33 |
| 8.2 Resultado de las variables..... | 35 |
| 8.2.1 Variables físicas | 36 |
| 8.2.2 Variables químicas..... | 39 |
| 8.2.3 Variables biológicas..... | 42 |
| 8.3 Correlaciones entre variables..... | 44 |
| 8.4 Análisis multivariado | 45 |

| | |
|------------------------------------|-----------|
| 9. Discusión | 50 |
| 10. Conclusiones | 57 |
| 11. Literatura citada | 59 |
| 12. Apéndice..... | 71 |

RESUMEN

Este trabajo tuvo como objetivo determinar el impacto del manejo agrícola en la calidad del suelo comparando huertas aguacateras, parcelas agrícolas de temporal (predominantemente con maíz) y fragmentos de bosque de pino, en cuatro zonas (bloques) ubicadas en los límites de los municipios de Salvador Escalante y Ario de Rosales en Michoacán, México. Se marcaron cuadros de 900 m² en cada tipo de cobertura donde se tomaron muestras de los primeros 10 cm del suelo. En cada muestra se evaluaron propiedades físicas, tales como la densidad aparente (DA), la textura y los agregados estables en agua, propiedades químicas como la materia orgánica (MO), el pH y el N y P en sus formas disponibles y propiedades biológicas como el carbono y nitrógeno en la biomasa microbiana. Los decrementos o incrementos en los valores de estas propiedades del suelo hicieron constar que la cobertura sin manejo (el bosque) presenta la mayor calidad del suelo. Las parcelas agrícolas de temporal quedaron como la condición más opuesta al bosque y las huertas de aguacate se asociaron con valores intermedios. La continua compactación del suelo por pisoteo, maquinaria pesada, etc., aumentó la DA y redujo los agregados estables en agua. La adición de productos químicos disminuyó el pH, y aumentó los niveles de nitrato y ortofosfato. Esto sugiere que el manejo en las huertas causa menos alteración en la calidad del suelo que el manejo en las parcelas agrícolas de temporal y podría deberse a la ausencia de labranza y al mayor retorno de materia orgánica en las huertas.

Es necesario poner atención en las variables que se ven más afectadas por el manejo y monitorear los cambios en el tiempo para planear acciones correctivas y disminuir los procesos de degradación del suelo.

Palabras clave: calidad del suelo, indicadores, bosque de pino, aguacate, maíz.

SUMMARY

The objective of this study was to determine the impact of agricultural management on soil quality by comparing avocado orchards, seasonal-agriculture plots (mainly maize) and pine forest fragments in four areas (blocks) located in the limits of the municipalities of Salvador Escalante and Ario de Rosales in Michoacán, México. A 900 m² plot was marked in each land cover and soil samples were taken from the top 10 cm. In each sample I evaluated physical properties such as bulk density (BD), texture and water-stable aggregates, chemical properties like organic matter (OM), pH and available forms of N and P and biological properties such as carbon and nitrogen in the microbial biomass. The decreases or increases in the values of these properties confirmed that the land cover without agricultural management (the forest) had the highest soil quality. The seasonal-agriculture plots were the most opposed to the forest condition whereas the avocado orchards showed intermediate values. The continuous compaction of soil by trampling, heavy machinery, etc., increased BD and reduced water-stable aggregates. The addition of chemicals reduced the pH and increased the levels of available N and P.

Attention should be paid to the variables that are affected by management and changes should be monitored regularly to plan ammelioration practices and reduce soil degradation.

Key words: soil quality, indicators, forest, avocado, maize

1. Introducción

1.1 Cobertura y uso de suelo

Los estudios sobre el cambio en la cobertura y el uso de suelo proporcionan las bases para conocer las tendencias de los procesos de deforestación, degradación, desertificación y pérdida de la biodiversidad de una región determinada (Lambin *et al.* 2001).

El término cobertura de suelo, se refiere a la cubierta física y biológica sobre la superficie de la tierra, incluyendo agua, vegetación, suelo desnudo, y/o estructuras artificiales, mientras que uso de suelo tiene una connotación ligada con las actividades humanas que en él se desarrollan, para cambiarlo o mantenerlo (agricultura, silvicultura, y construcciones que modifican los procesos de la superficie de la tierra) (García 2008).

Durante las últimas décadas, las actividades humanas se han convertido en el principal desencadenador de la transformación de los ecosistemas (Velázquez *et al.* 2002). En México, como en muchos países tropicales, hay importantes procesos de cambio de la cobertura vegetal del suelo (Figuroa-Jáuregui *et al.* 2011), y es que en sus casi dos millones de kilómetros cuadrados de superficie se observa una gran cantidad de cambios que en general están por arriba de la media mundial en cuanto a tasas de deforestación, incremento de las áreas de cultivo y pastoreo, expansión urbana y muchos otros (Mas *et al.* 2009).

Particularmente en el estado de Michoacán, el cambio de uso de suelo (27.9% de la superficie degradada en el estado), la agricultura intensiva y la deforestación (28.5 % de la superficie degradada), son factores que causan la degradación de los suelos (Sáenz-Reyes 2007). Esto se refiere a procesos dinámicos que responden a un cambio en la

calidad y productividad de los suelos y que tienen que ver con la modificación y alteración de los suelos en relación con un estado anterior o incluso con un estado ideal del mismo (Oldeman 1988).

Debido a esto, la condición de cambio acelerado de uso del suelo ejerce presión sobre la diversidad biológica, específicamente sobre la flora y la fauna silvestre, modificando o destruyendo los hábitats por deforestación. Esto tiene como consecuencia la disminución en la extensión de los ecosistemas forestales mediante su fragmentación, la pérdida de elementos estructurales y funcionales del hábitat, la consecuente pérdida de diversidad biológica y la erosión del suelo (Bravo *et al.* 2009).

La pérdida del suelo puede depender de varios factores, entre ellos la precipitación, las características del suelo, el tipo de cultivo, la pendiente, las prácticas de conservación, entre otros (Wischmeier y Smith 1978). La desaparición del suelo limita el crecimiento vegetal, incrementa la pérdida de nutrientes y materia orgánica, reduce la velocidad de infiltración del agua y agua disponible para las plantas y aunque el suelo no se pierda físicamente del lugar, puede perder su calidad o sus funciones por un manejo equivocado (Gavito *et al.* 2011).

1.2 Usos de suelo y coberturas predominantes

Cultivo de aguacate

En el estado de Michoacán, en una superficie de más de un millón de hectáreas, se cultivan alrededor de 128 especies vegetales, y los cultivos perennes se han expandido a gran escala en plantaciones de monocultivo, sobre todo el aguacate (Montiel-Aguirre *et al.* 2008). Este cultivo es de gran importancia en México, que es el principal productor en el mundo

(Gutiérrez-Contreras *et al.* 2010) y particularmente el estado de Michoacán, ya que contribuye con el 34% de la producción mundial (Bravo *et al.* 2009). Su extensión se ha incrementado (Cuadro 1) cerca de 10 veces desde 1974 (Morales y Cuevas 2011).

Entre 2000 y 2010 la superficie cultivada de aguacate en el país aumentó de 95 mil a más de 134 mil ha, y la producción de novecientas mil a un millón cien mil toneladas (Chávez-León *et al.* 2012).

Cuadro 1. Superficie absoluta y relativa (en porcentaje respecto al 2007) de las áreas de cultivo de aguacate en el Estado de Michoacán, en el período 1974 – 2007 (Morales y Cuevas 2011).

| AÑO | HECTÁREAS | PORCENTAJE |
|-------------|------------------|-------------------|
| 1974 | 13,045 | 11.6 |
| 1995 | 58,545 | 51.9 |
| 2005 | 74,951 | 66.5 |
| 2007 | 112,725 | 100 |

El estímulo económico en la rentabilidad del cultivo de aguacate para exportación, propicia indirectamente la deforestación (Villaseñor 2005), y disminuye las superficies boscosas (Bravo *et al.* 2009; Villaseñor 2005).

En un lapso de 18 años (1975-1993), se perdieron en Michoacán 513 644 ha de bosques templados y 308 292 ha de selvas, correspondientes a tasas de deforestación de 1.8% y 1% anual respectivamente. Adicionalmente, 20% de la superficie con bosques y selvas sufrió algún proceso de degradación (Bocco *et al.* 2001).

Morales y Cuevas (2011), han observado que entre 1970 y 2000 el cultivo de aguacate se expandió principalmente sobre áreas de cultivo de temporal y de pastizal-matorral y entre el 2000 y el presente ha habido un mayor incremento de expansión sobre los bosques nativos.

Además, discuten que la sustitución de cultivos de temporal o pastizal-matorral por plantaciones de aguacate tenga impacto ecológico positivo por un proceso de arborización en áreas que fueron deforestadas anteriormente. La conversión de bosques nativos a plantaciones de aguacate, por el contrario, se considera de impactos negativos por la pérdida de biodiversidad y estructura de la vegetación.

Dentro de estos últimos hay impactos directos e indirectos, el primero se da porque hay un cambio de cubierta forestal y el segundo porque se lleva a cabo un proceso de fragmentación del bosque.

Agrícola

El maíz es el cultivo agrícola más importante de México tanto desde el punto de vista alimentario, como industrial, político y social. Actualmente hay una tendencia creciente por la diversificación de los usos que se le dan. Se produce bajo las más diversas condiciones agroclimáticas de humedad y temporal (Rojas 2009).

A nivel nacional el maíz ocupa el primer lugar entre los cereales que se consumen en nuestro país (maíz, trigo, sorgo, cebada, arroz y avena) (Rojas 2009), con poco más de la mitad de la superficie sembrada del país y casi una tercera parte del valor de la producción agrícola.

En el estado de Michoacán se siembra en 525 000 ha, de las cuales 69% son de temporal (Medina *et al.* 2008). El maíz representó el principal cultivo por unidad de superficie sembrada según el Anuario de estadística por entidad federativa, INEGI (2010).

Su amplia distribución, debido al cambio de uso de suelo para plantaciones, durante mucho tiempo ha originado gran pérdida de las áreas forestales (Sáenz-Reyes 2007; Chávez-León *et al.* 2012).

Los métodos de su producción se llevan a cabo de manera deficiente, provocando con esto el deterioro del recurso suelo, ya que la mayoría de los campesinos realizan un manejo inadecuado de sus recursos (suelo, semillas, insumos) (Rojas 2009).

Bosque de pino

Es frecuente en las zonas altas de clima templado y frío del hemisferio norte (Rzedowski 2006) encontrándose en la Sierra Madre del Sur y en gran parte de las sierras del Eje Volcánico, hacia el norte de la entidad. Su vegetación alcanza alturas de entre 10 y 25 metros. Prospera en áreas donde la precipitación media anual varía de unos 650 a más de 1,100 milímetros y con altitudes de hasta 3,850 metros en algunas zonas de la porción septentrional del Estado (Villaseñor 2005).

Alrededor de más de un millón y medio de hectáreas con vocación forestal, que representan 29.9% del área forestal de Michoacán, son dedicadas a otros usos o se encuentran en proceso de degradación por incendios, plagas y otros factores, entre los que se incluye a los terrenos con riesgo evidente de erosión (COFOM 2001). Durante el periodo

de 1993 a 2000, se registró una pérdida de 102,538 ha, es decir, 14,648 ha anuales en los bosques de Michoacán, principalmente por cambio de uso de suelo (Bravo *et al.* 2009).

La creciente expansión de los cultivos, sobre bosques y otras áreas naturales y el cambio de cobertura y uso del suelo en México, reducen los beneficios económicos valiosos del medio ambiente y aceleran la desaparición de la biota por la pérdida de la vegetación original (García 2008; Mas *et al.* 2009).

La modificación de la cobertura y el uso de suelo se deben a la interacción de muchos factores (Meyer y Turner 1992; Walter y Steffen 1997; Geist y Lambin 2001). A pesar de su importancia para la vida, el suelo no ha recibido de la sociedad la atención que merece. Su degradación es una seria amenaza para el futuro de la humanidad (Bautista *et al.* 2004); por lo tanto, se ha intentado incrementar y preservar su calidad. La preocupación por la calidad del suelo surgió ya hace algunos años (Bautista *et al.* 2004) y ha sido percibida de muchas formas desde que este concepto se popularizó (Karlen *et al.* 1997). La calidad del suelo es un instrumento que sirve para comprender la utilidad de este recurso (Bautista *et al.* 2004).

2. Antecedentes

2.1 Calidad del suelo

El concepto de calidad del suelo surgió en los años 90's, "como la capacidad de un tipo de suelo específico para funcionar dentro de límites naturales o de manejo, para mantener la productividad animal y vegetal, mantener o mejorar la calidad del agua y del aire y mantener la vida humana" (Karlen *et al.* 1997). Gregorich *et al.* (1994) mencionan que la calidad del suelo es una medida de su capacidad para funcionar adecuadamente con relación a un uso específico. También se considera como la capacidad que tiene para funcionar efectivamente, tanto en el presente como en el futuro. Por lo tanto, es preciso contar con variables que puedan servir para evaluar las condiciones del suelo (Bautista *et al.* 2004), a través de sus propiedades físicas, químicas o biológicas, conocidas como indicadores de calidad de suelo (Campitelli *et al.* 2010).

2.2 Uso de indicadores

Un denominador común entre los elementos estratégicos para alcanzar el mejoramiento y la conservación de la fertilidad y productividad del suelo es el empleo de los indicadores (Astier *et al.* 2002). Doran y Parkin (1994) mencionan que un indicador debe describir los procesos del ecosistema, ser sensible a variaciones de clima y manejo, accesible a los diferentes usuarios y aplicable en diferentes condiciones de campo.

Existen muchas propiedades alternativas para evaluar la calidad del suelo (Astier *et al.* 2002). Aquellas que pueden ser usadas como indicadores pueden variar de localidad en localidad dependiendo del tipo y uso, función y factores de formación del suelo de que se trate (Arshad y Coen 1992).

Se pueden utilizar algunos indicadores que no requieran más de 10 años para exhibir cambios como respuesta a un manejo determinado (Cuadro 2) (Astier *et al.* 2002).

Las propiedades físicas que pueden ser utilizadas como indicadores de la calidad del suelo, son aquellas que reflejan como este recurso acepta, retiene y transmite agua a las plantas, así como las limitaciones en el crecimiento de raíces, la infiltración o movimiento del agua en el suelo y la relación con partículas y poros. Ejemplos de estas propiedades son: estructura, densidad aparente, estabilidad de agregados, infiltración, profundidad del suelo, capacidad de almacenamiento del agua y conductividad hidráulica saturada (Bautista *et al.* 2004).

Los indicadores químicos se refieren a condiciones de este tipo que afectan las relaciones suelo-planta, la calidad del agua, la disponibilidad de agua y nutrientes para las plantas y microorganismos (SQI 1996). Algunos indicadores son la disponibilidad de nutrientes, carbono orgánico total, carbono orgánico lábil, pH, conductividad eléctrica, capacidad de adsorción de fosfato, capacidad de intercambio catiónico, cambios en la materia orgánica, nitrógeno y fósforo disponibles (Bautista *et al.* 2004).

Cuadro 2. Indicadores utilizados para evaluar cambios en la calidad de los suelos. Tomado de Astier *et al.* 2002.

| Indicador | Profundidad (cm) | Tipo de tendencia (bajo proceso de formación de suelo) | Tiempo requerido para percibir cambios | Frecuencia de medición | Referencia |
|--|------------------|--|--|------------------------|---|
| Indicadores físicos | | | | | |
| Textura (% arenas, limos, arcillas) | 0-30 | Equilibrio | >10 ³ | Cada 2 a 3 años | Arnold <i>et al.</i> 1990 |
| Densidad aparente (g cm ³) | 0-7.5 | Reducción | <10 años | Anual | Arshad y Coen 1992 Arnold <i>et al.</i> 1990 |
| Tasa de infiltración (cm min ⁻¹) | 0-15 | Incremento | <1 año | Periódicamente | Arshad y Coen 1992 |

| | | | | | |
|---|-------|-------------|-----------|----------------|---|
| Retención de humedad (%) | 0-15 | Incremento | <1 año | Estacional | Arnold <i>et al.</i> 1990 |
| Resistencia a la penetración (Mpa) | 0-50 | Disminución | <1 año | Estacional | Arnold <i>et al.</i> 1990 |
| Profundidad capa arable (cm) | 0-100 | Incremento | >10 años | Anual | Arshad y Coen 1992 Doran <i>et al.</i> 1994. |
| Sistema radicular (cm) | 0-120 | Incremento | <2 años | Estacional | Larson y Pierce 1991. |
| Estabilidad de agregados (% 1-2 mm diámetro) | 0-7.5 | Incremento | <2 años | Estacional | Doran <i>et al.</i> 1994. |
| Indicadores químicos | | | | | |
| pH | 0-7.5 | Neutralidad | >5 años | Estacional | Doran <i>et al.</i> 1994 Arshad y Coen 1992 |
| Conductividad eléctrica (dS m ⁻¹) | 0-7.5 | Disminución | <2 años | Estacional | Larson y Pierce 1991. |
| N total (kg N ha ⁻¹) | 0-30 | Incremento | <2 años | Estacional | Larson y Pierce 1991. |
| P disponible (P extractable) (mg kg ⁻¹) | 0-30 | | <2 años | Estacional | Doran y Parkin 1994 |
| Capacidad de intercambio catiónico (meq 100 g ⁻¹) | 0-30 | Incremento | 0-10 años | Anual | Arnold <i>et al.</i> 1990 |
| Indicadores biológicos | | | | | |
| Carbono orgánico (Mg C ha ⁻¹) | 0-30 | Incremento | >10 años | Anual | Arnold <i>et al.</i> 1990 |
| N mineralizable (kg N ha ⁻¹) | 0-30 | Incremento | <2 años | Periódicamente | Doran <i>et al.</i> 1994 |
| Respiración | 0-7.5 | | | | Doran <i>et al.</i> 1994 |
| (kg CO ₂ -C ha ⁻¹ día ⁻¹) | 0-15 | Variable | <2 años | Estacional | Visser y Parkinson 1992 |
| Lombrices de tierra m ⁻² | 0-30 | Incremento | <2 años | Periódicamente | Stork y Eggleton 1994 |

Los indicadores biológicos integran factores que afectan la calidad del suelo como la abundancia y los sub-productos de micro y macroorganismos. Incluyen tasas de descomposición de residuos vegetales, actividad de ciertas enzimas edáficas, respiración, N y C de la biomasa microbiana (Karlen *et al.* 1997; Bautista *et al.* 2004).

El concepto de calidad del suelo ayuda a resolver la integración de los indicadores, pues toma en cuenta e interconecta los componentes y procesos biológicos, químicos y físicos de un suelo en una situación determinada (Astier *et al.* 2002).

Los estudios de caso en México muestran que los métodos utilizados para estudiar la calidad del suelo en general son diferentes: indefinidos en cuanto a los parámetros y variables que se incluyen; incomparables en términos de las categorías que utilizan y con escalas de trabajo incompatibles (Pineda *et al.* 2009). En lo que respecta a la calidad del suelo después de ser sometido a un manejo, como lo es el cultivo de maíz o de aguacate, hay pocos estudios en México donde se incluyan las propiedades físicas, químicas y biológicas como indicadores para evaluar su calidad. Sin embargo, Gavito y colaboradores (2011) hicieron un estudio del impacto ecológico del cultivo de aguacate a nivel regional y de parcela en el Estado de Michoacán, en el que se hace una validación de indicadores ambientales en los principales tipos de producción. Por otro lado, se han llevado a cabo estudios donde se integran propiedades físicas, químicas y/o biológicas para la evaluación de la calidad del suelo bajo diferentes usos, como por ejemplo parcelas agrícolas (Sustaita *et al.* 2000; Sánchez 2007; Chávez-Macedo 2014), ganaderas y sucesionales (Chávez-Macedo, 2014), matorral de *Quercus spp.* (Navarrete 2011), suelo aluvial en una región árida (Muñoz *et al.* 2013). En ellos se concluye que la degradación física del suelo está significativamente relacionada con el uso de suelo, pues sus propiedades se ven afectadas de manera negativa (en comparación con vegetación inalterada).

2.3 Propiedades Físicas

Densidad aparente

La densidad aparente (DA) es una propiedad del suelo ampliamente utilizada en la agricultura (Salamanca y Sadeghian 2005), que puede ser incluida dentro del grupo mínimo de parámetros a medir para evaluar la calidad de un suelo, como indicador de su estructura,

resistencia mecánica y cohesión. Los cambios en la densidad aparente reflejan cambios en la estructura del suelo, debido a la relación existente entre la densidad aparente y la porosidad total (Ingaramo *et al.* 2003). Dentro de los factores que afectan la densidad aparente se encuentran las prácticas de manejo, como la agricultura (Brady y Weil 1999; Salamanca y Sadeghian 2005).

Valencia (1999) la considera como uno de los factores clave para determinar la productividad de los suelos, debido a su estrecha relación con otras propiedades (Salamanca y Sadeghian 2005), tales como la MO y la textura de los suelos (Wolf y Snyder 2003).

De acuerdo a Tan (2005), el valor para la densidad aparente en andisoles (Brady y Weil 1999) es $< 1.0 \text{ g cm}^3$, mientras que Alvarado y Forsythe (2005) reportan un intervalo de $0.55 - 1.12 \text{ g cm}^3$ en este mismo tipo de suelo.

Se ha reportado que la densidad aparente para el cultivo de aguacate, suele ser de entre 0.8 a 1.1 g cm^3 . El cultivo requiere de un buen drenaje y aireación en el suelo en el suelo, es decir, densidades bajas (Guía técnica del cultivo del aguacate 2000).

Textura

La textura se refiere a la distribución de las partículas minerales de arena ($>0.05 \text{ mm}$ de diámetro), limo (0.002 a 0.05 mm de diámetro) y arcilla ($<0.002 \text{ mm}$ de diámetro) en el suelo, intervalos establecidos por United States Department of Agriculture (USDA). Esta propiedad determina las condiciones de drenaje del suelo, la cantidad y tamaño de poros entre otras características (Tan 2005).

Es uno de los más estables atributos del suelo que sólo puede ser modificada ligeramente por cultivo y otras prácticas que causan la mezcla de las diferentes capas del suelo (Luters y Salazar 2000), así como el desplazamiento de las partículas.

Se recomienda que la textura del suelo para el cultivo de aguacate vaya de franco a franco arcilloso arenoso (Guía técnica del cultivo del aguacate 2000). En general, los suelos francos contienen entre el 15% y 40% de arcillas (Brady y Weil 1999).

El que alguna de las partículas (arenas, limos o arcillas) sea predominante, le confiere al suelo propiedades y comportamientos característicos. Es por eso que la textura influye en propiedades como el pH, nutrientes disponibles, capacidad de intercambio catiónico, densidad aparente, porosidad y materia orgánica (Brady y Weil 1999).

Agregados estables

Los agregados estables en agua, en muchos suelos dependen de los materiales orgánicos y agentes aglutinantes orgánicos persistentes en el suelo (Tisdall y Oades 1982). Presentan una estabilidad muy variable con respecto al tiempo, puesto que son vulnerables a fuerza destructivas como la lluvia, el viento y la labranza (Brady y Weil 2008). Aravena y colaboradores (2007) señalan que son una medida de la fuerza de unión entre las partículas elementales de los agregados y resulta un excelente indicador de la calidad del suelo (Cerdeña 1998). La estabilidad de los agregados en agua y su distribución por tamaño son indicadores de la susceptibilidad del suelo a la degradación estructural (Boix-Fayos *et al.* 2001).

2.4 Propiedades Químicas

Materia orgánica

La materia orgánica del suelo (MOS) procede principalmente de la biomasa muerta de plantas y en menor proporción, de restos animales y microorganismos, también se incluyen las excreciones y secreciones de los microorganismos (Brady y Weil 1999).

Es un indicador que ejerce una influencia significativa sobre la calidad del suelo y su productividad (Quiroga y Funaro 2004). Dado que tiene efecto sobre otras propiedades físicas del suelo, formando agregados y dando estabilidad estructural (Julca-Otiniano *et al.* 2006; Ibarra *et al.* 2007), uniéndose a las arcillas y formando el complejo de cambio, favoreciendo la penetración del agua y su retención (Ibarra *et al.* 2007), disminuyendo la erosión y favoreciendo el intercambio gaseoso (Julca-Otiniano *et al.* 2006).

También tiene efecto sobre propiedades químicas del suelo porque aumenta la reserva de nutrientes para la vida vegetal. En cuanto a su efecto sobre las propiedades biológicas del suelo, favorece los procesos de mineralización, el desarrollo de la cubierta vegetal, sirve de alimento a numerosos microorganismos y estimula el crecimiento de la planta (Julca-Otiniano *et al.* 2006).

Las variaciones en la precipitación, en la capacidad de retención de agua y la textura afectan la magnitud y dirección de los cambios en el contenido de la MOS (Campitelli *et al.* 2010). Las prácticas de manejo del cultivo también pueden tener un efecto sobre este parámetro (Julca-Otiniano *et al.* 2006; Pulido-Moncada *et al.* 2010). Debido a esto, las comparaciones de calidad de suelo entre diferentes sitios usando la MOS como indicador deben hacerse en sitios con condiciones de clima y suelo similares (Campitelli *et al.* 2010).

pH

El pH es una de las variables más importantes debido a que afecta todas las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo, influye en la disponibilidad de nutrientes (Brady y Weil 1999), además de hacerlos asimilables para las plantas. Este factor puede ser la causa de que se presente deficiencia, toxicidad o que los elementos no se encuentren en niveles adecuados (Ibarra *et al.* 2009). El pH influye también en la estabilidad de los agregados, se le asocia con parámetros como la capacidad de intercambio catiónico y el porcentaje de saturación de bases (Brady y Weil 1999).

Los valores extremos del pH pueden afectar la estructura del suelo (Ibarra *et al.* 2009). Aquellos que proporcionan mejores condiciones para que las plantas asimilen los diferentes elementos del suelo, son ligeramente ácidos (pH entre 6 y 7) (Ginés y Mariscal-Sancho 2002).

N y P disponibles

El nitrógeno es uno de los nutrimentos que se requiere en mayor cantidad por ser el más limitante en la productividad de los cultivos (González *et al.* 2011). En el suelo existe en formas orgánica e inorgánica. La forma orgánica varía entre 80 y 90% del total del elemento, que es cedido lentamente a los cultivos. La forma inorgánica está representada por amonio (NH_4^+), y nitratos (NO_3^-), que son las formas más importantes de nitrógeno que se originan por la descomposición aeróbica y mineralización de nitrógeno orgánico por la adición de fertilizantes nitrogenados (González *et al.* 2011).

El fósforo es un nutriente de baja solubilidad y movilidad en los suelos, que se encuentra generalmente en situaciones de deficiencia para el crecimiento vegetal, y puede ser repuesto mediante la fertilización (Fernández y Mendoza 2008).

2.5 Propiedades Biológicas

Biomasa microbiana

La biomasa microbiana (carbono de la biomasa microbiana (CBM) y nitrógeno de la biomasa microbiana (NBM)), se ha sugerido como indicador biológico de la calidad del suelo para estimar los nutrientes disponibles para las plantas, así como para interpretar las modificaciones inducidas por las prácticas de manejo agronómico y/o el uso del suelo (Toniutti *et al.* 1999; Zagal *et al.* 2003; Zagal y Córdova 2005; Cruz *et al.* 2012). Esto puede contribuir a un conocimiento detallado de los procesos de inmovilización y mineralización de la materia orgánica del suelo (Ferrari *et al.* 1997).

La biomasa microbiana es un agente catabólico de procesos biogeoquímicos y también un reservorio de energía y nutrientes muy susceptible a las características físicas y químicas del medio. Determina el equilibrio de la productividad del ecosistema, ya que es un medio de transformación de todos los materiales orgánicos del suelo y la estimación de este parámetro contribuye al conocimiento del estado de la calidad y fertilidad del suelo y al mantenimiento de esta característica en el tiempo (Zagal *et al.* 2003).

Alvear *et al.* (2007) mencionan que la mayor cantidad de N en la biomasa microbiana se presenta en el bosque (suelo sin manejo) y es que la actividad microbiana, aumenta con la mineralización del N cuando el crecimiento y desarrollo de las plantas es más rápido, bajo condiciones medioambientales favorables. Sin embargo, en concordancia con lo señalado por Janssen (1996), el hecho de que exista mayor aporte de residuos orgánicos frescos en el bosque no indica necesariamente que haya mayor liberación de compuestos nitrogenados sino que podría ocurrir una mineralización de sustratos con bajo contenido de N, y que

pequeñas cantidades de este elemento mineralizado pueden ser liberados al suelo, satisfaciendo mayormente las necesidades de los microorganismos (Alvear *et al.* 2007).

Actividad enzimática

Los microorganismos son la fuente principal de enzimas, juegan un papel fundamental en el mantenimiento y dinámica de los nutrientes a través del ciclado de la materia orgánica (Bolinder *et al.* 1999). La actividad de algunas enzimas puede ser un indicador sensible de degradación del suelo como consecuencia de diferentes prácticas de manejo, así mismo ser utilizado como indicador de la calidad del suelo, ya que describe los principales procesos metabólicos que ocurren en él (Ferrerias *et al.* 2009). Algunas enzimas, como las deshidrogenasas se localizan en las membranas plasmáticas de las bacterias o en las membranas mitocondriales de hongos y reflejan la actividad oxidativa total de la biomasa microbiana, con lo cual podrían estar representando el tamaño y la actividad de la comunidad microbiana (Nannipieri 1994).

Otras enzimas, como las fosfatasas a cargo de la hidrólisis de diversos ésteres fosfato orgánicos e inorgánicos, y la ureasa, una hidrolasa relacionada con la transformación del nitrógeno orgánico a amoníaco, están involucradas en los ciclos del fósforo y nitrógeno, respectivamente. Por lo tanto, las actividades de estas enzimas extracelulares, pueden estar reguladas de manera indirecta a través de un aumento de la producción y secreción de microorganismos o directamente a través de condiciones físicas y químicas (Ferrerias *et al.* 2009).

3. Planteamiento del problema

Hay pocos estudios donde se indique el impacto del cambio de uso de suelo forestal a huertos de aguacate, sin embargo, han surgido iniciativas con respecto a este tema en los últimos años. Bravo *et al.* (2009) plantean que el acelerado cambio de uso del suelo forestal a la producción de aguacate, puede provocar un gran deterioro de los ecosistemas forestales del estado de Michoacán, que se manifiesta en un proceso de deforestación de 500 ha anuales. Adicionalmente, disminuye el agua infiltrada y aumenta la evapotranspiración, con ello se reducen los caudales en manantiales y se dejan de absorber más de 0.5 toneladas por ha por año de carbono.

No obstante, la expansión del cultivo de huertas de aguacate no es el único causante de la pérdida de la calidad del suelo, el uso de prácticas de cultivo inadecuadas en la agricultura también está asociado con la degradación del suelo por un bajo nivel de reciclamiento de nutrientes, por el laboreo excesivo (Medina *et al.* 2008) y la creciente adición de agroquímicos (aplicación generalizada de fertilizantes nitrogenados y biocidas) (Cruz *et al.* 2012).

Se ha estudiado la pérdida del suelo, agua y nutrientes bajo diferentes sistemas agrícolas en Michoacán. Medina *et al.* (2008) mencionan que la mayoría de los sistemas presentan pérdida de suelo cuando hay poca cobertura vegetal y se presenta un aumento en escorrentía, lo que significa una mayor pérdida de nutrimentos, causados por el aumento en la densidad aparente de la superficie del suelo.

Esto tiene implicaciones importantes, pues el bosque juega un papel fundamental en el balance hídrico a nivel de cuenca, el suministro de agua para diversos usos, la conservación del suelo y la provisión de servicios ambientales a la sociedad, así como la regulación del clima y el enorme valor de la biodiversidad que albergan.

Una visión actualizada de la problemática planteada sobre el impacto ambiental de la expansión de las plantaciones de aguacate y la agricultura de temporal en Michoacán apunta a la urgencia de establecer una ordenación territorial de los cultivos. Sin embargo, se insiste en la falta de información y se enfatiza en la necesidad de una evaluación precisa de la dinámica que existe en las superficies con aguacate, uso agrícola y uso forestal (Chávez-León *et al.* 2012).

4. Justificación

Es importante estimar la calidad de los suelos a través de indicadores (Campitelli *et al.* 2010), puesto que contribuye a establecer la sustentabilidad, a corto y largo plazo, de los diferentes sistemas de manejo (Doran *et al.* 1994). Los suelos con máxima calidad son capaces de mantener alta productividad y causar el mínimo disturbio ambiental (Ferrerías *et al.* 2009).

Los indicadores son una importante fuente de conocimiento porque facilitan la formulación de estrategias y acciones para la planeación territorial, el establecimiento de políticas, en la toma de decisiones, y para el aprovechamiento y conservación del recurso suelo (Campitelli *et al.* 2010).

Existe poca información en la literatura nacional e internacional sobre los impactos en el medio ambiente, específicamente en la calidad del suelo, que ejerce la producción de aguacate y la agricultura de temporal, principalmente maíz.

5. Objetivos

Objetivo General

Determinar cuál es el impacto del manejo agronómico en la calidad del suelo comparando huertas aguacateras, parcelas agrícolas de temporal (predominantemente con maíz) y fragmentos de bosque de pino, a través de la evaluación de propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo en una región de la meseta purépecha en Michoacán.

Objetivos Particulares

- Evaluar

1) Propiedades físicas del suelo tales como: densidad aparente, textura y agregados estables en agua.

2) Propiedades químicas del suelo como: Materia Orgánica, pH y N y P en sus formas disponibles.

3) Propiedades biológicas como el carbono y nitrógeno en la biomasa microbiana.

- Seleccionar las propiedades más sensibles al cambio de uso de suelo que puedan evaluarse como indicadores potenciales de los efectos del cambio de uso de suelo o del manejo sobre la calidad del suelo.

6. Hipótesis

Aquellas zonas previamente manejadas como milpas o huertas de aguacate tendrán menor calidad de suelo con respecto al control (bosque), ya que son alteradas sus propiedades físicas, químicas y biológicas al estar en constante manejo.

Las milpas y huertas de aguacate tendrán una densidad aparente mayor que el bosque, ya que la baja densidad aparente corresponde a mayor estabilidad, menos compactación como se esperaría de los bosques que no tienen manejo agronómico ni tránsito de vehículos pesados.

Los agregados estables serán más evidentes en los bosques que en las huertas de aguacate y las zonas agrícolas, debido a que no hay compactación, ni ruptura mecánica y hay mayor actividad de microorganismos que promueven la agregación del suelo en los bosques.

La cantidad de materia orgánica del suelo será más elevada en el bosque que en la milpa o la huerta de aguacate, ya que en el bosque hay mayor actividad biológica e integración de residuos de plantas y animales con diferentes niveles de degradación

El pH será más ácido en la milpa y huerta de aguacate, debido al uso de fertilizantes. Así mismo habrá más nitrato, porque donde hay fertilización el amonio del fertilizante se nitrifica rápidamente.

Habrà más biomasa microbiana en el bosque con respecto a la milpa y la huerta de aguacate, ya que ésta refleja la actividad microbiana de un lugar, y es en el bosque donde encontramos mayor actividad y biodiversidad microbiana en suelos con alta cantidad de materia orgánica que puede aportar C y N.

7. Métodos

7.1 Descripción del área de estudio

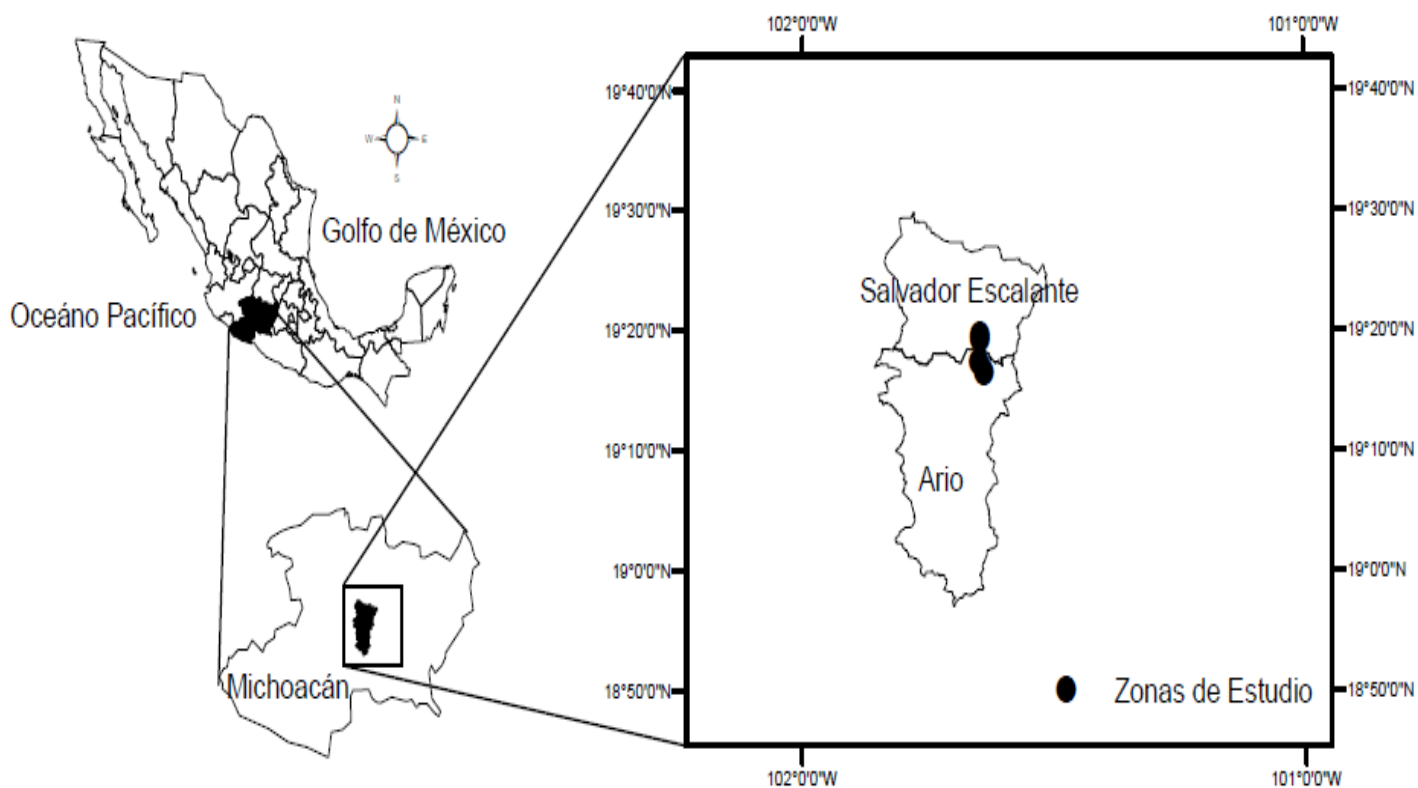
La Meseta Purépecha central está ubicada en la porción centro occidente del estado de Michoacán, México. Es una zona bordeada por serranías que cuenta con extensos bosques de pino-encino, un clima templado de húmedo a subhúmedo con una altitud media de 2300 msnm y, suelos andosoles, principalmente, que tienen un origen volcánico (Ayala y Guerrero 2009). Las plantaciones de aguacate en el estado de Michoacán se encuentran distribuidas en la provincia fisiográfica del Sistema Volcánico Transversal entre las coordenadas 18°45' y 20°06'N y entre 101°47' y 103°13'O. Esta región es conocida como la “franja aguacatera del estado de Michoacán” (Gutiérrez-Contreras *et al.* 2010). El cultivo de maíz se extiende a lo largo de todo el estado, ubicándose principalmente en la zona sur entre 18° 48' y 19°10'N y entre 101°56' y 100°59'O aproximadamente (SAGARPA, SIAP 2011).

7.2 Sitio de estudio

Este proyecto de investigación se llevó a cabo en los municipios de Salvador Escalante y Ario de Rosales (Figura 1). Según el Instituto Nacional para el Federalismo y el Desarrollo Municipal (2010), el municipio de Salvador Escalante se localiza al centro del Estado, en las coordenadas 19°24' de latitud Norte y 101°38' de longitud Oeste. Se encuentra a una altitud de 2,280 msnm, su clima es templado y tropical con lluvias en verano. Tiene una precipitación anual de 780.4 mm y temperaturas que oscilan entre 5.4 y 24.1°C.

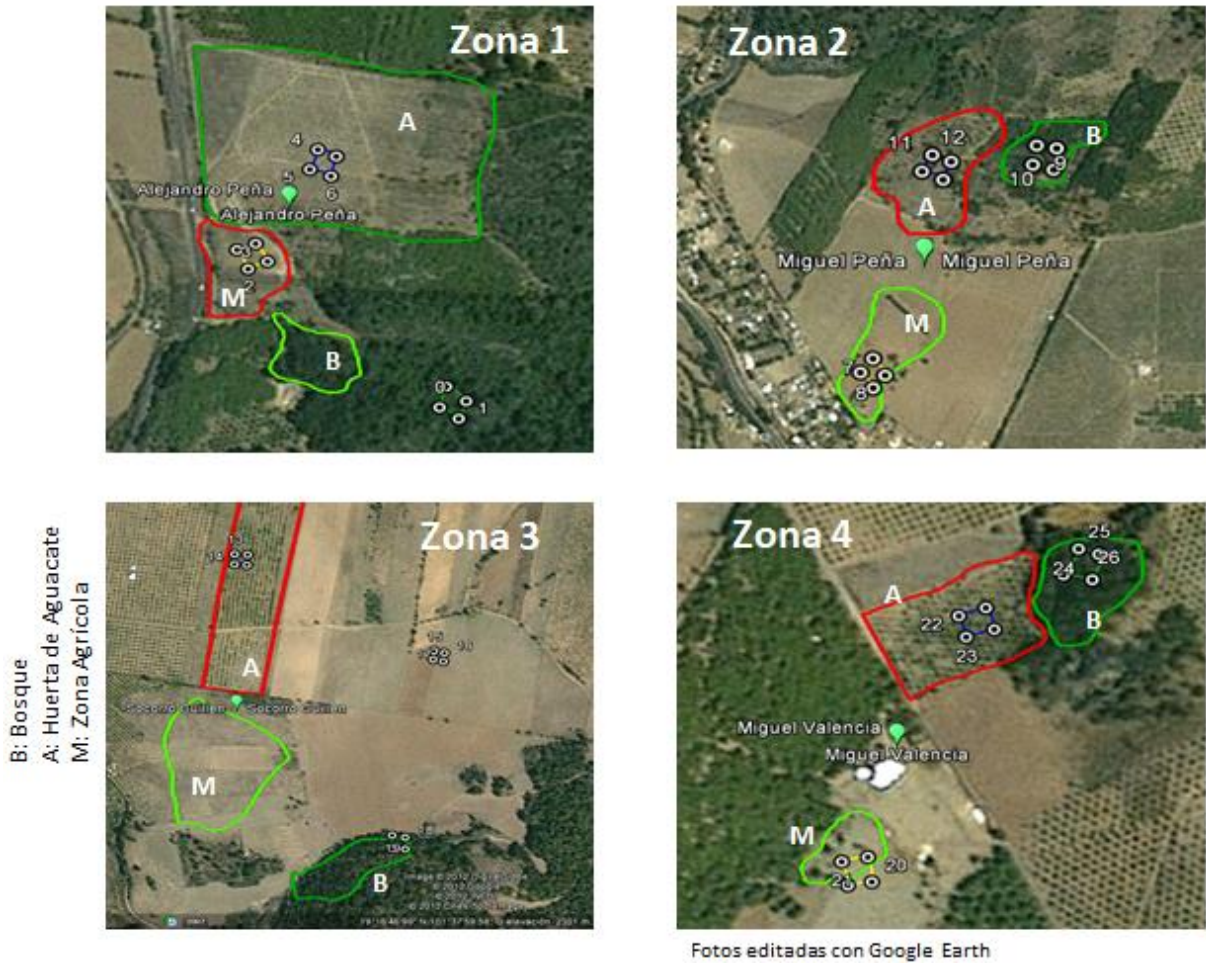
Ario se localiza en las coordenadas 19°12" de latitud Norte y en los 101°40" de longitud Oeste, a una altitud de 1,910 msnm. Su clima es templado con lluvias en verano y en algunas partes es tropical, tiene una precipitación anual de 761.6 mm y temperaturas que

oscilan de 9.5 a 22.9°C. En estos municipios se localizaron cuatro zonas que presentaran cada una de las coberturas en terrenos aledaños (Bosque, Huerta de Aguacate y Zona Agrícola, Figura 2).



Elaborado por J.C. Peña

Figura 1. Localización de la zona de estudio, municipios de Salvador Escalante y Ario de Rosales, Michoacán.



| Zona | | Altitud (msnm) | Posición en relieve | Tipo de suelo* |
|------|---|----------------|---------------------|----------------|
| 1 | B | 2390 | Ladera | Andosol |
| | A | 2367 | Pie de ladera | |
| | M | 2346 | Valle | |
| 2 | B | 2391 | Ladera | Andosol |
| | A | 2371 | Pie de ladera | |
| | M | 2340 | Valle | |
| 3 | B | 2313 | Ladera | Andosol |
| | A | 2331 | Pie de ladera | |
| | M | 2285 | Valle | |
| 4 | B | 2365 | Ladera | Andosol |
| | A | 2337 | Pie de ladera | |
| | M | 2316 | Valle | |

Figura 2. Ubicación y caracterización de las parcelas seleccionadas en cada una de las zonas de estudio. B) Bosque, A) Huerta de Aguacate y M) Zona Agrícola. *Carta edafológica, INEGI 1997.

7.3 Diseño experimental

Se marcaron cuadros (30 x 30 m) dentro de los tres tipos de coberturas en cada zona y fueron georreferenciados (Cuadro 4). Las parcelas con bosque o huerta de aguacate tuvieron algún grado de pendiente, mientras que las parcelas de maíz se ubicaron en zonas planas o con muy poca pendiente, en todas las zonas. Este sesgo fue inevitable porque ya es una práctica generalizada el establecer las parcelas agrícolas en zonas planas y accesibles para la maquinaria agrícola. Los cuadros se subdividieron en tres partes cada uno (Figura 3). Se tomaron aleatoriamente 5 muestras de suelo dentro de cada sección del cuadro para conformar una muestra compuesta de cada parte. Las tres muestras compuestas se etiquetaron y depositaron en una hielera a 4°C y posteriormente se llevaron al laboratorio para su análisis. Además, en cada parte se tomó una muestra inalterada para agregados estables y otra para densidad aparente.

En resumen, se ubicaron cuatro parcelas por tratamiento (B, A, M), de las cuales se obtuvieron tres muestras compuestas (a partir de cinco muestras simples cada una), dando un total de 12 muestras por tratamiento. Todas las muestras se obtuvieron con un cilindro metálico de 4.3 cm de diámetro a profundidad de 10 cm y removiendo previamente el mantillo.

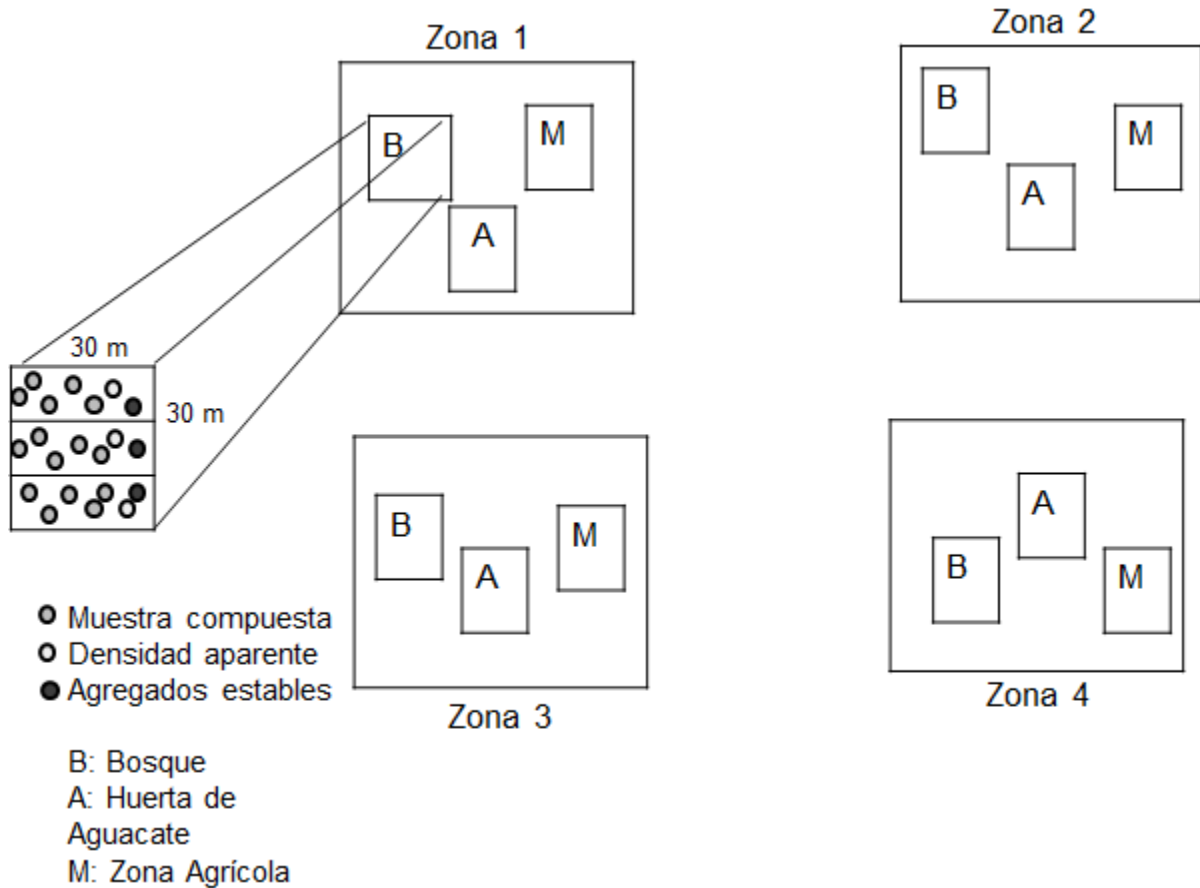


Figura 3. Se muestra el diseño de muestreo

Cada unidad de suelo se seleccionó con base en los siguientes criterios generales:

- Homogeneidad en la unidad de suelo (Según la Carta edafológica, INEGI 1997)
- Tiempo mínimo de 10 años bajo el uso de suelo actual
- Tamaño de la parcela mayor a una hectárea

En el Cuadro 3 se muestran las coordenadas de las parcelas con cada tipo de cobertura dentro de cada una de las zonas de este estudio.

Cuadro 3. Coordenadas de las parcelas de cada tipo de cobertura dentro de cada una de las cuatro zonas de este estudio, B) Bosque, A) Huerta de Aguacate y M) Zona Agrícola.

| | | grados/min/seg | |
|---------------|------------|----------------|----------------|
| | Municipio | Latitud | Longitud |
| ZONA 1 | Salvador E | | |
| B | . | 19°19'39.13"N | 101°38'47.91"O |
| A | | 19°19'51.08"N | 101°38'53.38"O |
| M | | 19°19'46.48"N | 101°38'56.59"O |
| ZONA 2 | Salvador E | | |
| B | | 19°19'21.72"N | 101°38'49.41"O |
| A | | 19°19'21.35"N | 101°38'54.54"O |
| M | | 19°19'9.96"N | 101°38'57.75"O |
| ZONA 3 | Ario de R. | | |
| B | | 19°16'35.07"N | 101°38'19.07"O |
| A | | 19°17'2.47"N | 101°38'32.55"O |
| M | | 19°16'53.29"N | 101°38'15.56"O |
| ZONA 4 | Ario de R. | | |
| B | | 19°17'23.97"N | 101°38'58.64"O |
| A | | 19°17'21.80"N | 101°39'2.41"O |
| M | | 19°17'11.30"N | 101°39'6.96"O |

Se realizaron entrevistas estructuradas a cada uno de los propietarios de las huertas de aguacate y de las zonas agrícolas, para poder caracterizar el sistema de manejo.

7.4 Métodos para el análisis de suelo

7.4.1 Variables físicas

Las variables físicas que se emplearon en este estudio fueron: textura, densidad aparente, y agregados estables en agua.

La textura del suelo se determinó por el método del hidrómetro de Bouyoucos (según Kroetsch y Wang 2007), de muestras previamente secadas.

La densidad aparente del suelo se determinó usando un cilindro (145.2 cm^3) de un diámetro de 4.3cm y una altura de 10 cm. El tubo se enterró de forma uniforme en el suelo para obtener un bloque intacto. El cilindro se mantuvo sellado herméticamente hasta que se pesó en fresco, y después se secó en un horno a 105°C por 72 h y, una vez seco, se volvió a pesar. Se calculó la densidad aparente del suelo como sugieren Ortiz-Villanueva y Ortiz Solorio (1990).

Los agregados estables en agua sin arena se determinaron a partir de las muestras inalteradas y secadas al aire mediante el método de Angers (2008) de tamizado húmedo reteniendo dos fracciones con mallas de 1 mm y 0.250mm. Dado que se encontraron problemas de hidrofobicidad en el suelo, que impedían la dispersión de los agregados con la solución básica y podían alterar la cuantificación de las fracciones, el suelo se humedeció lentamente rociándole agua con un atomizador antes de iniciar el proceso de tamizado húmedo. Después de obtener el peso seco de los agregados resultantes de cada fracción, los agregados se dispersaron en solución de NaOH y se tamizaron nuevamente para retener las partículas de arena (Hallet *et al.* 2009). El peso seco de la arena retenida en la malla de 0.250mm se restó del peso inicial de los agregados. Se restó el contenido inicial de agua del peso de los agregados.

7.4.2 Variables químicas

Las variables químicas que se evaluaron fueron: pH, materia orgánica (MO), nitrógeno y fósforo en sus formas disponibles (amonio, NH_4^+ , nitratos, NO_3^- y ortofosfatos PO_4^{3-}), y se midieron en la semana siguiente a la toma de las muestras, a partir de las muestras que se mantuvieron en refrigeración.

La acidez activa del suelo (pH) se midió por medio de una suspensión 1:10 p/v en agua desionizada y usando un potenciómetro (Willard *et al.* 1974; Bates 1983).

La M.O se determinó por el método de combustión húmeda de Walkey y Black (1934) en una muestra molida finamente.

Las formas inorgánicas disponibles de N (amonio, NH_4^+ y nitrato, NO_3^-) fueron extraídas con KCl (cloruro de potasio) 2N de muestras molidas finamente. Los extractos se filtraron a través de papel Whatman No. 1 y fueron determinados por colorimetría por el método de fenol-hipoclorito (Robertson *et al.* 1999), y leídos en un autoanalizador Bran-Luebbe.

Los ortofosfatos (PO_4^-) se extrajeron con la solución de Mehlich III (1984). Los extractos se filtraron a través de papel Whatman No. 42 y se determinaron con el método colorimétrico del molibdato en el mismo autoanalizador.

Tanto los valores de M.O. como las concentraciones de nutrientes disponibles se expresan en peso seco, previa corrección del contenido de humedad de las muestras.

7.4.3 Variables biológicas

El C y N de la biomasa microbiana (C_{BM} y N_{BM}) fueron determinados por el método de fumigación y extracción (Brookes *et al.* 1985; Vance *et al.* 1987), usando una submuestra de suelo fresco (20 g) por duplicado. Una de las submuestras fue fumigada con cloroformo, mientras que la otra se mantuvo sin fumigar. Posteriormente ambos suelos fueron incubados a 25 °C durante 24 h y humedad constante (suelo a capacidad de campo). El C_{BM} fue extraído de muestras fumigadas y no fumigadas con 80 ml de sulfato de potasio (K_2SO_4) 0.5 M. El extracto fue filtrado a través de un papel filtro Whatman No. 42 y el C_{BM} (C orgánico microbiano) fue obtenido por medio de la diferencia entre el C total microbiano y el C inorgánico microbiano de los extractos determinado por combustión y colorimetría usando un analizador de C con columna para líquidos (UIC-líquidos). El N_{BM} fue extraído con el mismo procedimiento utilizado para C_{BM} , pero éste fue filtrado a través de un papel Whatman No.1. Una alícuota del filtrado fue digerida en un medio ácido (H_2SO_4); el N_{BM} se determinó por el método de Kjeldahl y fue leído en el auto-analizador. El C_{BM} y N_{BM} fueron calculados a partir de la concentración de C y N de las muestras fumigadas, menos el C y N de las muestras no fumigadas, dividiendo los valores por un factor de correlación (K_{EC} y K_{EN}) de 0.45 para el C (Brookes *et al.* 1985; Joergensen 1996) y 0.54 para el N (Joergensen y Mueller 1996). Los valores de C y N en biomasa microbiana fueron expresados con base en el peso seco de suelo.

7.5 Análisis de datos

Se realizó un ANOVA de una sola vía para examinar las diferencias de la densidad aparente, textura, agregados estables, pH, MO, nitrógeno y fósforo en sus formas

disponibles (NH_4^+ , NO_3^- y PO_4^{3-}), C_{BM} y N_{BM} del suelo, donde la vía fue la cobertura del suelo. Cuando el ANOVA indicó diferencias significativas, se aplicó la prueba de Tukey.

Se realizó una matriz de correlación de Pearson y se llevaron a una tabla las variables edáficas que fueron significativas ($p < 0.05$). Previo al análisis se realizó prueba de normalidad para cada una de las variables, se excluyó al carbono en biomasa microbiana, ya que no cumplió con el supuesto. Se dio por sentado que no todas las correlaciones tendrían sentido ecológico a pesar de resultar significativas (es el caso de las partículas del suelo, que están correlacionadas por ser calculadas a partir de la misma determinación y la misma muestra). Los análisis estadísticos se llevaron a cabo con el programa Statistica 8 (Stat Soft Inc. 2007).

Se llevó a cabo una prueba multivariada, Análisis de Componentes Principales (ACP), con el programa Statistica 6 (Stat Soft Inc 2000), para explorar cuáles son las variables que mejor explican las diferencias entre las coberturas. Este análisis se realizó con una selección de las variables que mostraron diferencias significativas en el ANOVA y que no tuvieron correlaciones con otras variables, para evitar sesgos. Se tomaron como significativas las cargas (loadings) iguales o mayores a 0.4 (Stevens 1986).

Debido a problemas con el refrigerador del laboratorio, se perdieron algunas de las muestras originales para la extracción de datos de ortofosfatos, y sólo fueron rescatados datos para dos de las zonas estudiadas. Por lo tanto, los resultados de esta variable fueron excluidos del análisis multivariado y deben interpretarse tomando en cuenta que solo hubo dos repeticiones.

8. Resultados

8.1 Entrevistas

De acuerdo a las entrevistas realizadas (Cuadro 6) el 100% de los cultivos son de temporal (huerta de aguacate y zona agrícola). La edad de las parcelas corresponde a un periodo de tiempo de entre 10 y 50 años, la extensión mínima es de una hectárea y la máxima de once hectáreas. Todas las parcelas han tenido al menos un cultivo previo. Dos de las cuatro zonas agrícolas (cultivo de maíz) siguen una rotación de cultivo. Todas las parcelas usan fertilizantes, uno de ellos es sulfato de amonio o el fosfato diamónico. Las cuatro zonas agrícolas emplean el método del tractor para arar la tierra, mientras que las cuatro huertas de aguacate no cuentan con ningún tipo de arado. En una de las zonas agrícolas emplean herbicidas para limpiar la parcela, en el caso de las huertas de aguacate, tres de ellas emplean herbicidas, uno de estos herbicidas es Glifosato.

Con lo que respecta al bosque, se considera que es un ecosistema con poca intervención antrópica. Se tuvieron en cuenta como patrones de comparación con respecto a la alteración en la calidad del suelo provocados por las actividades agrícolas.

Cuadro 6. Resumen de las entrevistas a los propietarios de las parcelas de dos coberturas: Huerta de Aguacate (A) y Zona Agrícola (M), de Uruapan, Michoacán, México.

| Zona/ Cobertura | Uso de la parcela (años) | Extensión (ha) | Cultivos previos | Rotación de cultivo | Uso de fertilizante | Nombre fertilizantes | de | Uso de herbicidas/pla guicidas | de | Forma de arado | de |
|--------------------|-----------------------------------|-------------------|------------------|---------------------------|---------------------|-------------------------|---|---|----|----------------------|----|
| 1 | M | 40 | 1 | Avena | Si | Si | Sulfato amonio | de | No | Tractor | |
| | A | 25 | 10 | Maíz | No | Si | Abono de res | | Si | | |
| 2 | M | 50 | 1 | Maíz/Frijol | No | Si | Sulfato amonio | de | Si | Tractor | |
| | A | 25 | 10 | Maíz | No | Si | Abono de res | | Si | | |
| 3 | M | 10 | 2 ½ | Avena | Si | Si | Sulfato amonio | de | No | Tractor | |
| | A | 20 | 11 | Aguacate | No | Si | Biofertilizantes (estiércol, lixiviado de lombrices), triple 15 (N, K, P) | de | No | | |
| 4 | M | 10 | 1 | Durazno/A vena/Maíz | No | Si | Sulfato amonio | de | No | Tractor | |
| | A | 15 | 8 | Aguacate | No | Si | Fosfato diamónico Sulfato amonio | y de | Si | | |

8.2 Resultado de las variables

El presente trabajo indica que algunas propiedades físicas, químicas y biológicas fueron sensibles al manejo agronómico.

Se encontraron diferencias significativas entre las coberturas para DA, arenas, limos, arcillas, agregados >1mm, pH, MO, amonio y ortofosfatos. No hubo diferencias significativas en los agregados 0.25-1 mm, nitratos y las variables biológicas.

Cuadro 4. Resumen del análisis de varianza de una vía (ANOVA) para las variables del suelo medidas en las tres coberturas en Salvador Escalante y Ario de Rosales, Michoacán, México.

| Variables | <i>F</i> | <i>P</i> |
|---------------------------------------|----------|----------|
| Físicas | | |
| DA (g/cm ³) | 6.843 | 0.0156 |
| ARENAS (%) | 6.797 | 0.0159 |
| LIMOS (%) | 4.308 | 0.0486 |
| ARCILLAS (%) | 9.724 | 0.0056 |
| AGREGADOS >1 mm (g) | 11.741 | 0.003 |
| AGREGADOS 0.250-1mm (g) | 0.075 | 0.927 |
| Químicas | | |
| pH | 13.740 | 0.0018 |
| MO (%) | 4.404 | 0.0463 |
| NH ₄ ⁺ (mg/g) | 4.157 | 0.05 |
| NO ₃ ⁻ (mg/g) | 1.015 | 0.400 |
| PO ₄ ³⁻ (mg/g) | 14.282 | 0.0293 |
| Biológicas | | |
| C _{BM} (mg g ⁻¹) | 1.185 | 0.3493 |
| N _{BM} (mg g ⁻¹) | 0.459 | 0.6458 |

8.2.1 Variables físicas

La densidad aparente fue más baja en el bosque que en la huerta de aguacate y la zona agrícola (Figura 4, Cuadro 4).

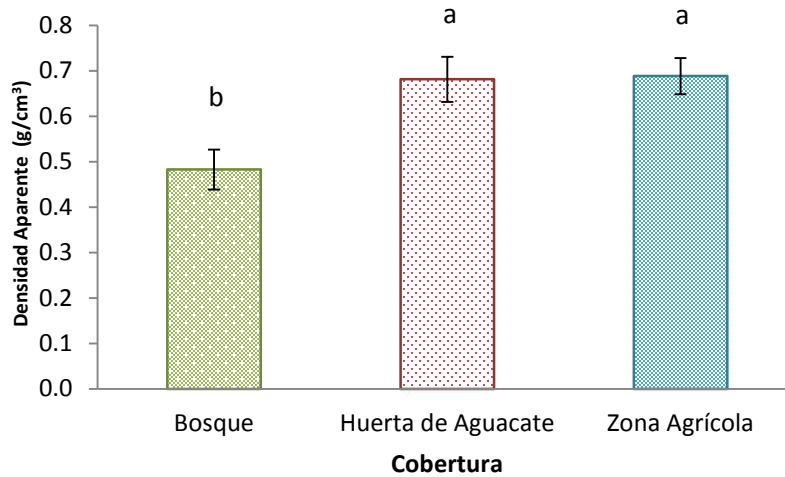


Figura 4. Densidad aparente ($\bar{x} \pm 1 E. E.$) del suelo de cada una de las coberturas. Letras minúsculas distintas indican diferencias significativas ($p \leq 0.05$) entre las coberturas.

Las partículas de arena fueron significativamente mayores ($p < 0.05$) en el bosque, intermedias en la huerta de aguacate y menores en la zona agrícola. Los limos y las arcillas fueron más elevados en la zona agrícola, intermedios en la huerta de aguacate y menores en el bosque (Figura 4, Cuadro 4).

En general la textura fue de tipo franca, aunque en algunos casos se presentó franco arcillosa o franco arenosa (Cuadro 5).

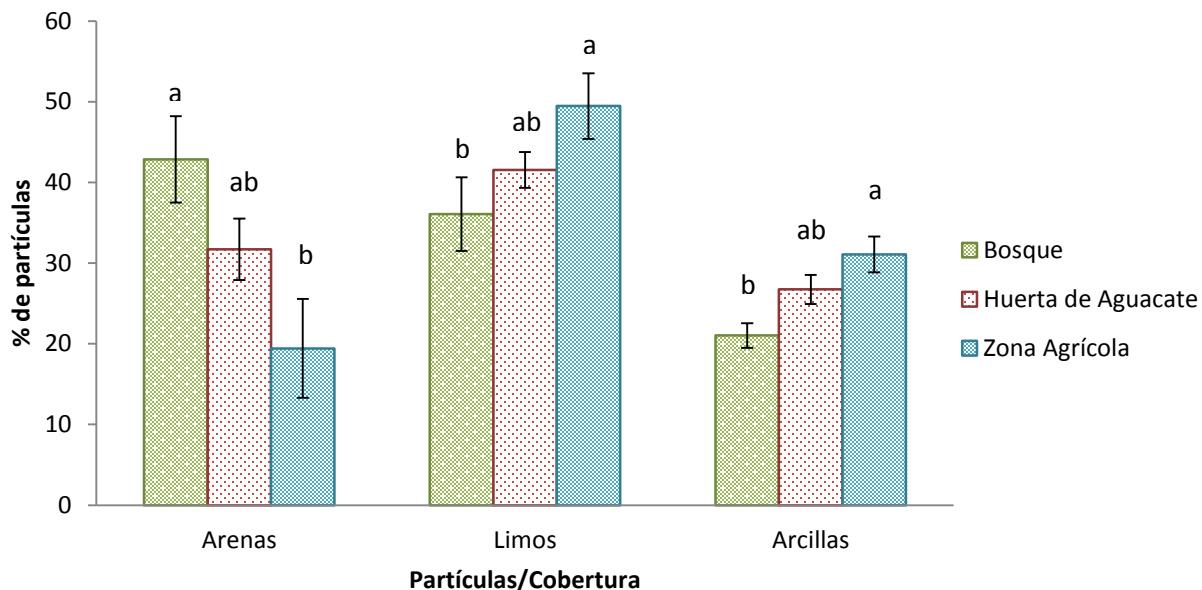


Figura 5. Distribución de las partículas ($\bar{x} \pm 1 E. E.$) del suelo de cada una de las coberturas. Letras minúsculas distintas indican diferencias significativas ($p \leq 0.05$) entre las coberturas.

Cuadro 5. Clasificación textural del suelo de cada parcela dentro de las tres coberturas: Bosque, Huerta de Aguacate y Maíz de cada una de las zonas.

| Cobertura/Zona | Textura (Bouyoucos) |
|----------------|-------------------------|
| Bosque | 1 Franca |
| | 2 Franca |
| | 3 Franco arenosa |
| | 4 Franca |
| Aguacate | 1 Franco arcillosa |
| | 2 Franca |
| | 3 Franca |
| | 4 Franco arcillosa |
| Maíz | 1 Franco arcillo limosa |
| | 2 Franca |
| | 3 Franco arcillo limosa |
| | 4 Franco arcillosa |

Los agregados >1mm fueron más elevados en el bosque que en la huerta de aguacate y la zona agrícola (Figura 6). Los agregados de 0.25mm a 1 mm fueron similares en las tres coberturas (Figura 8).

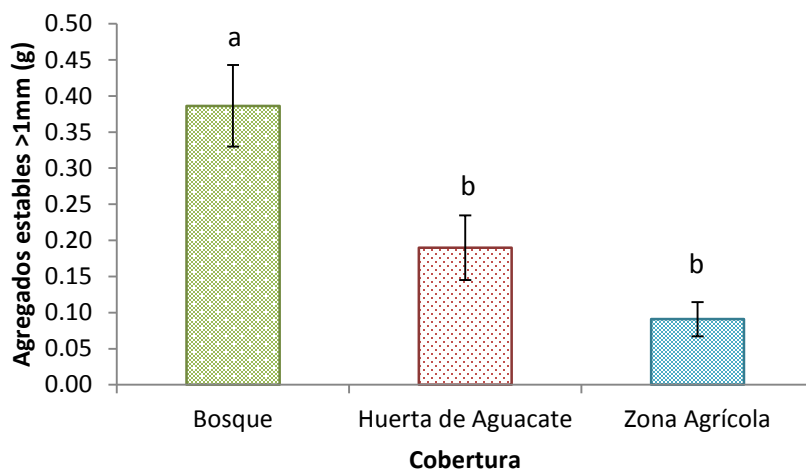


Figura 6. Agregados estables >1 mm ($\bar{x} \pm 1 E.E.$) del suelo de cada uno de las tres coberturas. Letras minúsculas distintas indican diferencias significativas ($p \leq 0.05$) entre las coberturas.

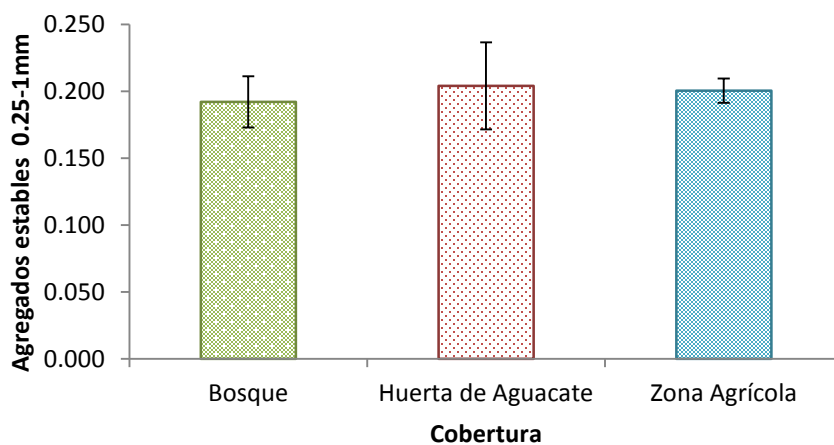


Figura 7. Agregados estables 0.25mm-1 mm ($\bar{x} \pm 1 E.E.$) del suelo de cada una de las coberturas.

8.2.2 Variables químicas

El pH del suelo fue más ácido en la zona agrícola que en los bosques y huertas de aguacate (Figura 8).

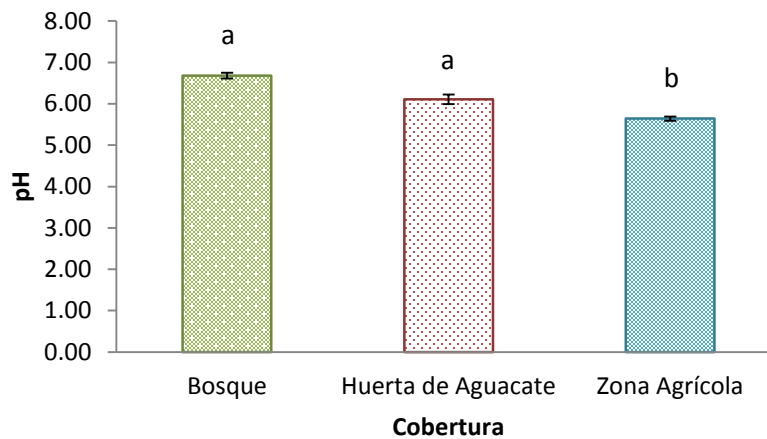


Figura 8. pH ($\bar{x} \pm 1 E.E.$) del suelo de cada coberturas. Letras minúsculas distintas indican diferencias significativas ($p \leq 0.05$) entre las coberturas.

El valor del porcentaje de materia orgánica del suelo más elevado correspondió a los bosques, las huertas de aguacate tuvieron un valor intermedio y las zonas agrícolas el más bajo (Figura 9).

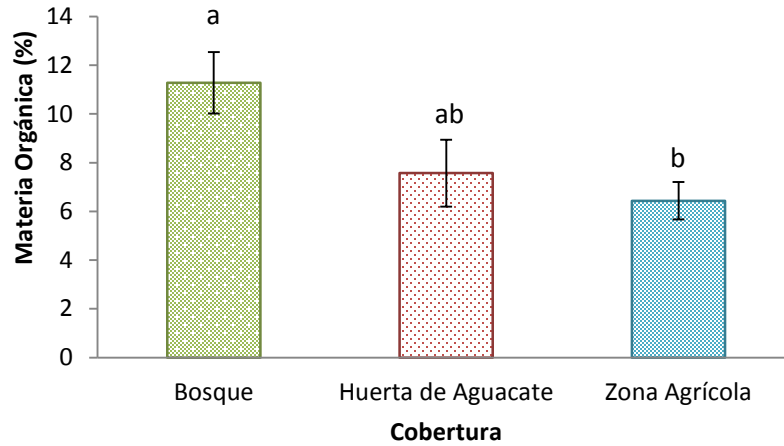


Figura 9. Porcentaje de MO ($\bar{x} \pm 1 E.E.$) del suelo de cada cobertura. Letras minúsculas distintas indican diferencias significativas ($p \leq 0.05$) entre las coberturas.

La concentración de amonio (NH_4^+), fue mayor en los bosques que en las zonas agrícolas. En las huertas de aguacate se observó una variación muy alta, por lo que esta cobertura no se diferenció ni del bosque ni de la zona agrícola (Figura 10).

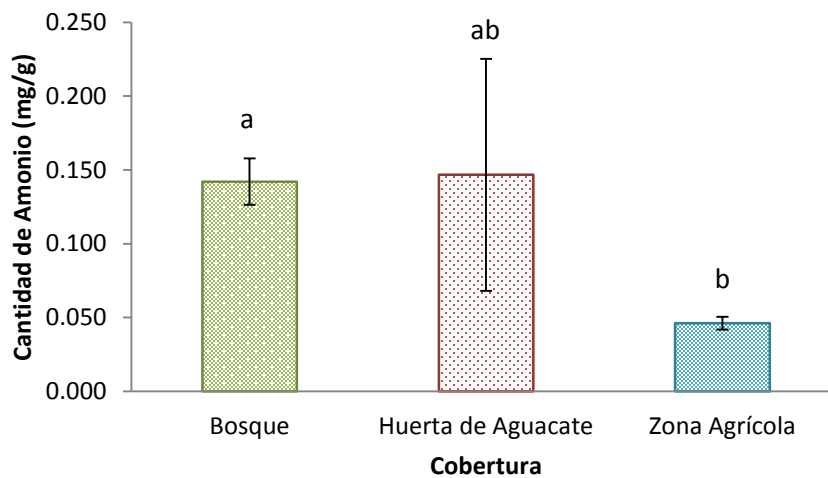


Figura 10. Amonio del suelo ($\bar{x} \pm 1 E.E.$) de cada cobertura. Letras minúsculas distintas indican diferencias significativas ($p \leq 0.05$) entre coberturas.

La concentración de NO_3^- no presentó diferencias significativas entre coberturas. Se vio una tendencia hacia una menor concentración de NO_3^- en bosque y valores más altos pero muy variables, en huerta de aguacate y zona agrícola (Figura 11).

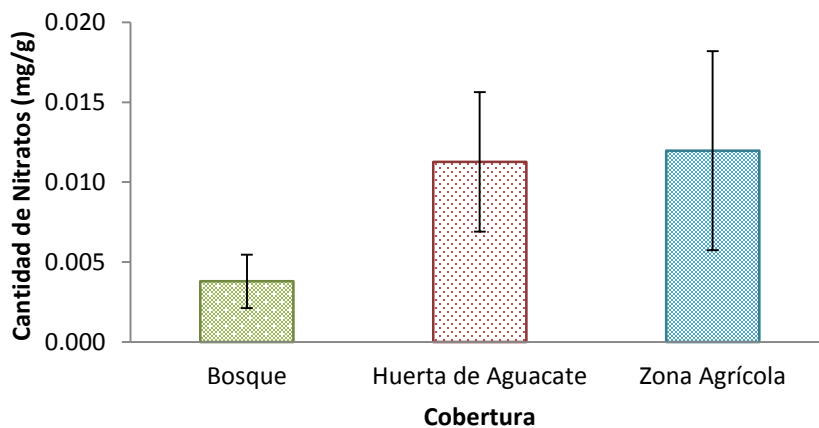


Figura 11. Nitratos del suelo ($\bar{x} \pm 1 E.E.$) de cada cobertura.

Los valores más altos de PO_4^{3-} del suelo se observaron en las huertas de aguacate, pero la variación fue muy alta. La zona agrícola y el bosque tuvieron valores más bajos y menos variables (Figura 12).

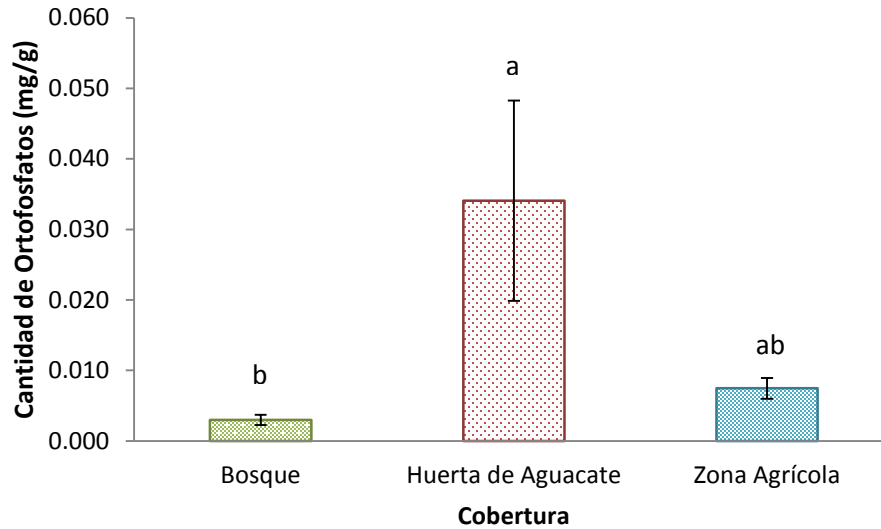


Figura 12. Ortofosfatos del suelo ($\bar{x} \pm 1 E. E.$) de cada cobertura. Letras minúsculas distintas indican diferencias significativas ($p \leq 0.05$) entre las coberturas.

8.2.3 Variables biológicas

El carbono en biomasa microbiana (C_{BM}) del suelo, no presentó diferencias significativas entre las coberturas. La variación fue alta en las coberturas cultivadas y no permitió separar significativamente las diferencias que se observan en los promedios de las coberturas. Estas diferencias sugieren una tendencia de reducción progresiva del C_{BM} del bosque a la huerta de aguacate y más claramente entre el bosque y la zona agrícola (Figura 13).

La concentración de nitrógeno en la biomasa microbiana (N_{BM}) del suelo, tampoco presentó diferencias significativas entre las coberturas, pero se observó la misma tendencia que en el C_{BM} (Figura 14).

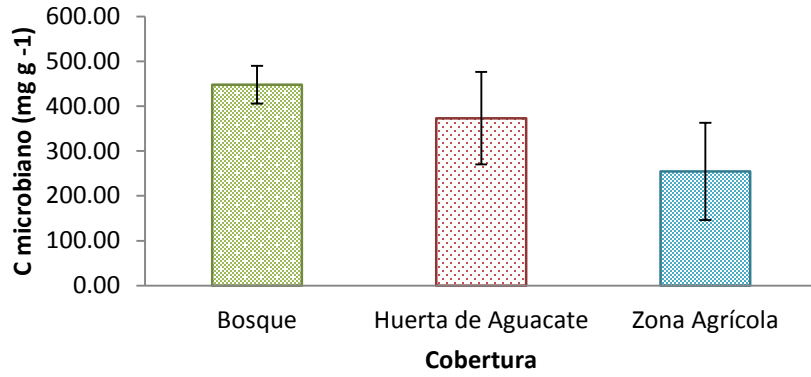


Figura 13. Carbono en biomasa microbiana ($\bar{x} \pm 1 E.E.$) del suelo de cada uno de las coberturas.

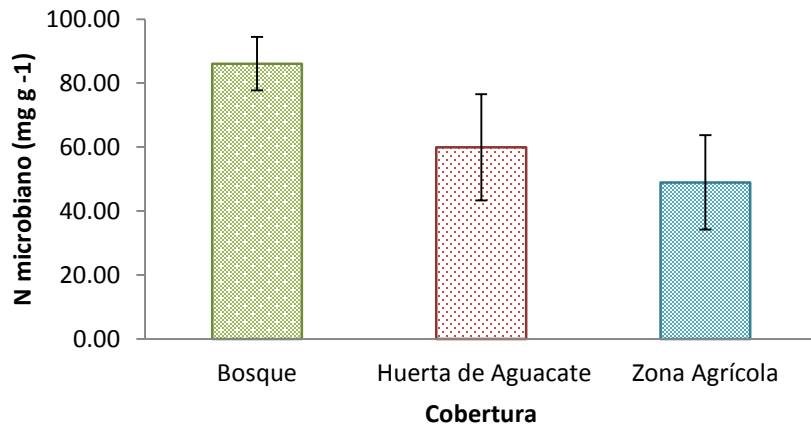


Figura 14. Nitrógeno en biomasa microbiana ($\bar{x} \pm 1 E.E.$) del suelo de cada uno de las coberturas.

8.3 Correlaciones entre variables

En el cuadro 7 se muestra la matriz de las correlaciones de Pearson que fueron significativas ($p \leq 0.05$). Las variables que tuvieron más correlaciones con otras variables fueron la densidad aparente y el amonio. Dado que para la densidad aparente una disminución se considera una mejoría, las relaciones negativas que se detectaron de la DA con el porcentaje de arena, la materia orgánica y el amonio tienen un significado positivo en la calidad del suelo. El amonio se relacionó positivamente con las arenas.

Cuadro 7. Matriz de correlación de Pearson de las diferentes variables edáficas medidas en las tres coberturas del suelo. Se muestran sólo las que fueron significativas ($p < 0.05$).

| Variable | DA (g/cm ³) | Arenas (%) | Limos (%) | Agregados 0.25mm-1mm | Arcillas (%) |
|---------------------------------------|-------------------------|------------|-----------|----------------------|--------------|
| Arenas (%) | -0.8422 | | | | |
| Limos (%) | | | | | |
| Arcillas (%) | 0.9131 | | | | |
| MO (%) | -0.8840 | | | | |
| NH ₄ ⁺ (mg/g) | -0.9347 | 0.9341 | -0.929 | | -0.9297 |
| N _{BM} (mg g ⁻¹) | | | | -0.8490 | |

8.4 Análisis multivariado

El Análisis de Componentes Principales (ACP) obtenido con todas las variables medidas (excepto limos y arenas, ya que solo se incluyó la partícula con mayores diferencias en el ANOVA, arcillas, para evitar correlaciones falsas) mostró una clara separación de los bosques de los sitios cultivados en el componente uno, Figura (15). El primer componente explicó el 49.7% de la varianza y las variables más importantes en este componente fueron los agregados estables > 1mm y el C_{BM} (Cuadro 8). En el segundo componente, que explicó 21.6% de la varianza, fueron importantes el C_{BM} nuevamente, los agregados 0.25-1 mm y el amonio. En el tercer componente, que explicó el 11.9%, fueron importantes el amonio y el nitrato. Con los tres componentes se explicó el 83.4% de la varianza.

Las huertas de aguacate y las zonas agrícolas no se diferenciaron entre sí y quedaron mezclados en los dos primeros componentes (Figura 15). La huerta de aguacate 2 prácticamente no se diferenció del bosque 2 y quedó incluida en un grupo que además incluyó a los bosques 1 y 4. El bosque 3, en cambio, se separó claramente de este grupo pero quedó mayormente separado de los otros sitios agrícolas y huertas de aguacate.

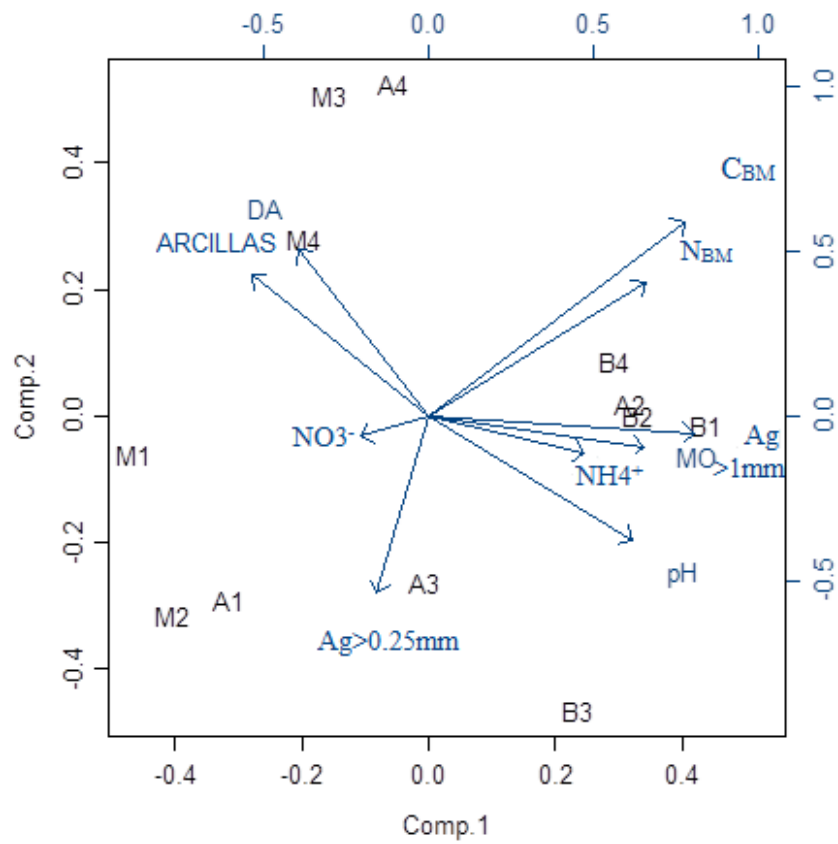


Figura 15. Análisis de Componentes Principales (ACP). Bosque (B); Huerta de Aguacate (A); Zona Agrícola (M). El número después de la letra indica la zona donde se encontraba la parcela con esa cobertura

Cuadro 8. Cargas de las variables, porcentaje de varianza y varianza acumulada dentro de cada componente

| Variab les | Comp.1 | Comp.2 | Comp.3 |
|-------------------------------|---------------|---------------|---------------|
| Varianza (%) | 49.7 | 21.6 | 11.9 |
| Varianza acumulada (%) | 49.7 | 71.4 | 83.4 |
| pH | 0.344 | -0.320 | -0.115 |
| MO | 0.363 | 0.000 | 0.256 |
| ARCILLAS | -0.299 | 0.360 | 0.000 |
| Ag >1 mm | 0.448 | 0.000 | -0.104 |
| NH ₄ ⁺ | 0.263 | 0.000 | 0.491 |
| DA | -0.220 | 0.424 | 0.111 |
| Ag >0.25mm | 0.000 | -0.452 | 0.000 |
| NO ₃ ⁻ | -0.115 | 0.000 | 0.803 |
| C _{BM} | 0.433 | 0.498 | 0.000 |
| N _{BM} | 0.367 | 0.340 | 0.000 |

También se realizó un ACP solamente con las variables en las que hubo diferencias significativas en los ANOVAs y las que no estuvieron correlacionadas consistentemente con otras variables. Esto se hizo con la finalidad de seleccionar a las variables que se pudieran considerar indicadoras de las coberturas.

En el ACP simplificado, el primer componente explicó el 72.9% de la varianza. Con el 15.4% adicional del segundo componente ya quedó explicado el 88.4% de la varianza. Los agregados >1mm y el pH fueron las variables de más peso en el componente uno, esta última también fue de gran valor en el componente dos. En este análisis se hizo aún más marcada la separación entre los bosques y los sitios cultivados, si bien la huerta de aguacate de la zona dos siguió agrupada con los bosques (Figura 16). Los bosques se asociaron a los

valores más altos de pH, materia orgánica y agregados >1mm (Figura 16, Cuadro 9). Las zonas agrícolas se ubicaron más separadas de las huertas de aguacate y situadas en los valores más bajos de pH y los más altos de arcillas. De este modo las zonas agrícolas quedaron como la condición más opuesta al bosque. Las huertas de aguacate se asociaron con condiciones similares a las de las zonas agrícolas, pero con valores intermedios de pH, M.O., arcillas y agregados>1mm entre las zonas agrícolas y los bosques.

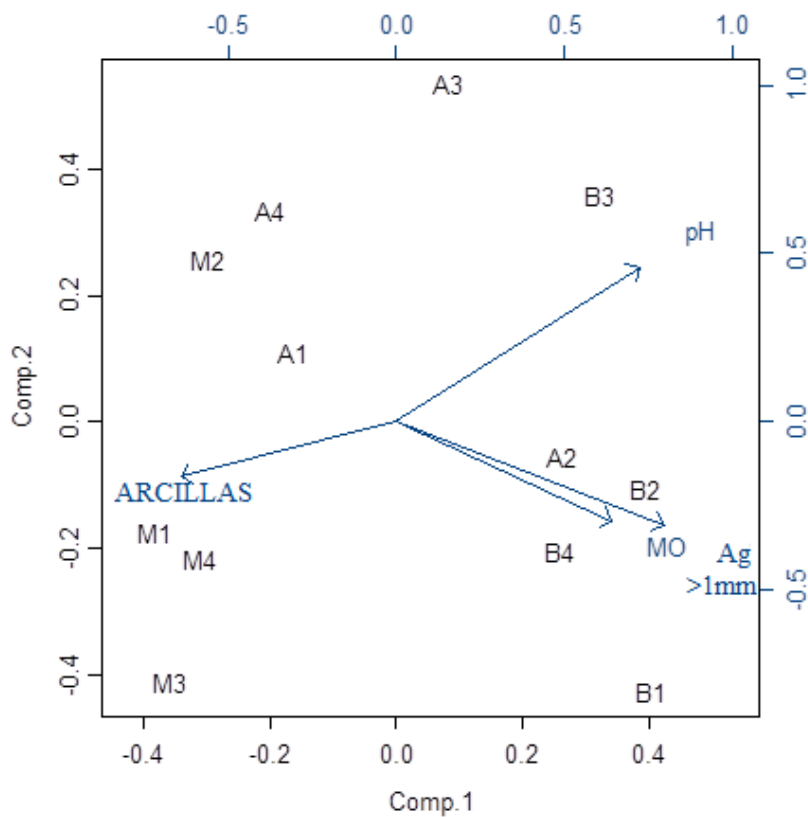


Figura 16. Análisis de Componentes Principales (ACP) simplificado. Bosque (B); Huerta de Aguacate (A); Zona Agrícola (M). El número después de la letra indica la zona donde se encontraba la parcela con esa cobertura

Cuadro 9. Cargas de las variables, porcentaje de varianza y varianza acumulada dentro de cada componente

| Variables | Comp.1 | Comp.2 | Comp.3 |
|-------------------------------|---------------|---------------|---------------|
| Varianza (%) | 72.9 | 15.4 | 7.2 |
| Varianza acumulada (%) | 72.9 | 88.4 | 95.6 |
| pH | 0.514 | 0.710 | 0.148 |
| MO | 0.456 | -0.455 | -0.650 |
| ARCILLAS | -0.456 | -0.247 | 0.341 |
| Ag >1 mm | 0.566 | -0.477 | 0.663 |

9. Discusión

Como se esperaba, el manejo agronómico ha originado algunos cambios negativos que reducen la calidad del suelo.

Los decrementos o incrementos en los valores de ciertas propiedades del suelo hicieron constar que el bosque presenta la mayor calidad del suelo. La zona agrícola quedó como la condición más opuesta al bosque y las huertas de aguacate se asociaron con condiciones similares a las zonas agrícolas, pero con valores intermedios entre maíz y bosque. Cabe mencionar que la huerta de aguacate de la zona dos se asoció cercanamente con los bosques y mantuvo valores intermedios de pH, MO, arcillas, agregados >1mm entre el bosque y el maíz.

Se encontraron diferencias significativas en nueve de las trece propiedades evaluadas. El cambio más notable se observó en algunas propiedades físicas como los agregados >1 mm, la densidad aparente y la distribución de las partículas. Estos cambios se relacionan sobre todo con el uso de maquinaria agrícola y la pérdida de cobertura vegetal en el suelo, que incrementan la erosión y la compactación. En el caso de la distribución de las partículas, es probable que haya habido cambios porque comúnmente se mezclan horizontes sub superficiales durante el arado o bien porque las partículas finas del horizonte superficial de los suelos de bosque y huerta aguacatera (en laderas) se hayan erosionado y acumulado en las partes bajas donde están las parcelas agrícolas.

En los suelos con poca intervención antrópica, correspondientes a los bosques, se presentaron valores más bajos de DA con respecto a la huerta de aguacate y zona agrícola, teniendo aun así valores más bajos (para un suelo de tipo andosol típico de la región) que los reportados para suelos de la meseta purépecha (Alcalá *et al.* 2009). Esto se debe

posiblemente a la naturaleza, las dimensiones y el arreglo de las partículas del suelo (Brady y Weyl 1999; Salamanca y Sadeghian 2005), la presencia de materiales amorfos dentro de la fracción arcilla constituida por alófono, imogolita y ferrihidrita (Alcalá *et al.* 2009) y sobre todo a un alto contenido de MO (Salamanca y Sadeghian 2005; Producción Orgánica de Aguacate 2006), que indican que hay suficiente espacio poroso (Producción Orgánica de Aguacate 2006) para que las raíces penetren en el suelo y el agua filtre adecuadamente (Bravo-Espinoza *et al.* 2012). En un estudio llevado a cabo en nueve bosques en Inglaterra, la DA estuvo estrecha e inversamente relacionada con la fracción orgánica del suelo (Federer *et al.* 1993). En el caso de los bosques en el presente estudio, se observó efectivamente una correlación alta negativa entre la DA y la MO.

La variación de la DA, también estuvo asociada con la textura que, en general, fue de franco a franco arcillo limosa. A pesar de ser el limo la fracción dominante en los suelos de tipo andosol (Fitz-Patrick 1993), en este estudio la fracción dominante fue la arena, que concuerda con lo reportado por Producción Orgánica de Aguacate (2006). La DA mostró una correlación negativa alta con las arenas y una correlación positiva alta con las arcillas, como se esperaba, mientras más bajo fue el porcentaje de arenas y más alto el de arcillas mayor fue la DA.

La densidad aparente más alta en la zona agrícola se relaciona con el efecto compactante producido por el tráfico de la maquinaria agrícola o de animales (Sandoval *et al.* 2007). Esto nos habla de una menor presencia de poros en el suelo y es que en este caso todas las parcelas agrícolas usan tractor para arar la tierra. Salamanca y colaboradores (2005), mencionan que en los suelos arcillosos pertenecientes a las zonas agrícolas, el tener una mayor DA puede llegar a ser limitante para el crecimiento de las plantas y es debido a que

algunos polisacáridos orgánicos cementantes participan en dicha agregación y la fuerza de los enlaces es mayor en estos suelos (Schroth 2003). En el caso de la huerta de aguacate, además de una mayor densidad aparente, Bravo-Espinoza *et al.* (2012) mencionan que hay una gran resistencia a la penetración que está ligada a la compactación del suelo producida por el tránsito de vehículos agrícolas motorizados comúnmente usados, adicionados al pisoteo constante de los trabajadores que se dedican a cosecharlo o durante la poda, la adición de agroquímicos, o durante la escarda.

En las huertas aguacateras los contenidos de arcillas fueron muy similares a las zonas agrícolas, y la DA es alta y el contenido de MO es más bajo que en los bosques, lo que evidencia una mayor compactación del suelo. Por lo anterior, el manejo agrícola (maíz) y las huertas aguacateras deberían considerar prácticas que aminoren la degradación del suelo, tal es el caso de la rotación de cultivo o la regulación de la capacidad de carga (Salamanca 2005).

El que los bosques presenten un alto porcentaje de arenas y de MO indica que cuentan con suelos sueltos y tienden a compactarse menos (Manual de fertilidad de los suelos 1988), por tanto, la conservación de estos sistemas sin tránsito de vehículos pesados y arado ejerce un efecto benéfico sobre el suelo y la sostenibilidad del mismo. Sería útil contemplar y buscar una reducción del tránsito y la labranza en los sitios con manejo agronómico para mantener la calidad del suelo. Los bosques presentaron mayor porcentaje de arenas y un menor porcentaje de arcillas, lo opuesto a las zonas agrícolas, presumiblemente porque existió remoción y deslizamiento de las partículas del suelo, desde la parte alta donde se ubican los bosques y las huertas a las parcelas agrícolas en la parte más baja. Si bien no

existe labranza en las huertas de aguacate, existe mucho movimiento de suelo por la colocación de abonos y la presencia de tuzas y puede haber zonas desprotegidas de cobertura vegetal directamente enraizada, que es la que da la mejor protección al suelo (García-Brulé 2015).

Las diferencias que resultaron significativas dentro de las propiedades químicas fueron el pH, la MO, los ortofosfatos y el amonio, pero estas diferencias fueron proporcionalmente pequeñas. El pH se acidificó por una unidad pero aun así no alcanzó niveles críticos de acidez que comprometieran la disponibilidad de nutrientes o la actividad microbiana.

De las variables que se encontraron estrechamente relacionadas con la textura del suelo fue el amonio (NH_4^+), que mantuvo una correlación negativa alta con las arcillas. Las zonas agrícolas se asociaron a bajos valores de amonio, porque el amonio puede ser retenido por la arcilla, ya que es de carga positiva y se une a partículas y materiales orgánicos del suelo que tienen carga negativa (Manual de fertilidad de los suelos 1988), porque puede ser capturado rápidamente por plantas y microorganismos, o porque puede ser convertido a nitrato.

Por su parte, los bosques se asociaron a altos contenidos de amonio y MO. Se ha observado que en suelos derivados de cenizas volcánicas existe una alta acumulación de materia orgánica en la capa superficial (Gallegos 1983; Téliz *et al.* 2000); para el 2003 se reportó que en una localidad de Uruapan, Michoacán, el porcentaje de materia orgánica en bosques fue alta, con aproximadamente 14 por ciento, a profundidades de 0-20 cm, (Producción Orgánica de Aguacate 2006). En las huertas de aguacate se mantuvieron valores intermedios de MO con respecto al bosque y maíz, pero altos, con poco más de siete por

ciento, con respecto a lo reportado a profundidades de 0-20 cm (Guía técnica del cultivo de aguacate 2000; Producción Orgánica de Aguacate 2006).

Retomando lo anterior, Pérez (1998) menciona que a pesar de que hay un buen porcentaje de materia orgánica, la disponibilidad de nitrógeno en estos suelos es muy baja. En los suelos agrícolas la mineralización de la materia orgánica libera nutrientes como el amonio, el cual es convertido a su forma más oxidada de nitrato que es fácilmente asimilado por las plantas. El amonio es la forma dominante durante la fase de descomposición de los abonos orgánicos, se forma en ausencia de O_2 , y es convertido a NO_3^- solamente en hábitats bien aireados. La alta variación de la cantidad de amonio en las huertas de aguacate puede ser debida a la adición de abono de res o fertilizantes como el sulfato de amonio que no está siendo absorbido en su totalidad por las plantas, sino que parece ser retenido en el suelo.

Cuando el proceso de nitrificación convierte el NH_4^+ a NO_3^- se liberan H^+ produciendo acidez en el suelo; si la planta no absorbe el amonio directamente, el NO_3^- también puede ser un factor asociado con la acidez del suelo. El manejo de los huertos influye en la disponibilidad de nitrógeno mineral y en la acidez (González *et al.* 2011). En este estudio se obtuvieron diferencias significativas en la cantidad de amonio, pero no de nitrato, el cual está siendo quizás más fácilmente lixiviado por las lluvias o el sobre riego.

Desafortunadamente solo se tuvieron datos de fósforo en su forma disponible para dos de las cuatro zonas, por lo que no se puede hacer una evaluación estadística del comportamiento de este nutriente. Sin embargo se encontró, como se esperaba, una cantidad significativamente más alta en la huerta de aguacate (a pesar de la alta variación), que en la zona agrícola y el bosque, debido quizás al manejo convencional u orgánico que

se le da. En el caso del manejo convencional suelen usarse fertilizantes como el sulfato de amonio o el DAP (Fosfato diamónico) y en el orgánico se adiciona abono de res.

Cabe señalar que el uso de fertilizantes es recurrente, puesto que, son necesarios para proveer a los cultivos con los nutrientes que están siendo extraídos por los cultivos (FAO 2002).

Otro de los factores que influye en la productividad de los suelo es la MO (Campitelli *et al.* 2010), ya que favorece la estructura del suelo. El uso agrícola a mediano y largo plazo altera la estructura del suelo (Shepherd *et al.* 2001) por contener bajos porcentajes de MO (Zagal y Córdova 2005). Wang *et al.* (2004) señalan que tras varios años de cultivo, la cantidad de MO disminuye, y cambia lentamente a través del tiempo (Zagal y Córdova 2005). El manejo agronómico influye en la dinámica de la MO, manifestándose en la disminución de la estabilidad de los agregados del suelo (Shepherd *et al.* 2001). Esto se ve reflejado en la baja cantidad de agregados $> 1\text{mm}$ que presentaron las zonas agrícolas de este estudio y la alta cantidad de agregados estables $>0.25\text{mm}<1\text{mm}$ con respecto a los bosques, producto de la compactación del suelo (Zagal y Córdova 2005). Para cualquier cultivo la forma y la estabilidad de la estructura del suelo juegan un papel importante en la aireación, el almacenamiento y el flujo de agua y nutrientes, en la penetración y el desarrollo de las raíces. En especial en el caso del aguacate no se tienen datos sobre la agregación y los cambios de estructura en suelos de origen volcánico. Sin embargo, Meza y Geissert (2003) realizaron un estudio donde demuestran que la estabilidad de los agregados es moderadamente elevada (44-80%), mientras que Neris y colaboradores (2012) mencionan que los andosoles son suelos con alto desarrollo estructural y estabilidad de los agregados, así mismo, remarcan que son vulnerables a los cambios ambientales, en particular los relacionados con modificaciones del uso de suelo.

Shoji y colaboradores (1993) mencionan que los horizontes superficiales (horizontes A 0-20 cm) de los andosoles forestales tienen comúnmente una estructura granular de desarrollo moderado a fuerte. La materia orgánica y otros agentes de unión estabilizan el arreglo que existe entre los espacios porosos y las partículas sólidas (Tisdal y Oades 1982).

A pesar de no haber mostrado diferencias significativas ($p < 0.05$) entre las diferentes coberturas, la biomasa (C_{BM} y N_{BM}) mostró una tendencia descendente en el siguiente orden: bosque, huerta aguacatera y zona agrícola (milpa). Lo anterior se puede deber a que las poblaciones microbianas y su actividad son mayores en suelos no labrados que en suelos con agricultura (Smith y Conen 2004). Asimismo, las dos variables biológicas fueron importantes en la separación de los grupos en el análisis multivariado. En general, la biomasa microbiana (C_{BM} y N_{BM}) es afectada negativamente por la conversión de suelos de bosque a tierras de cultivo (Cruz *et al.* 2012).

Alvear y colaboradores (2007) plantean que en bosques, la biomasa (C_{BM} y N_{BM}) desarrolla, además, un importante rol en el mantenimiento de la estabilidad de los agregados asociada a la relación mutualista entre los árboles y hongos micorrízicos.

10. Conclusiones

Las zonas agrícolas fueron las de menor calidad edáfica y las más afectadas por el manejo. Las huertas de aguacate presentaron en su mayoría valores intermedios de cada variable con respecto al bosque y al maíz.

Las variables con diferencias significativas ante los efectos del cambio de uso de suelo o del manejo fueron la densidad aparente, los agregados estables en agua >1mm, la textura, amonio, ortofosfatos, el pH y la MO.

Las variables afectadas por la continua compactación del suelo (maquinaria pesada, etc.), como la DA y los agregados estables en agua, la adición de productos químicos, pH, el N y P disponibles, así como el empobrecimiento del suelo por la remoción de MO, mostraron diferencias proporcionalmente pequeñas. Esto puede deberse a que el manejo agronómico no es de alto impacto o bien, que los suelos son resilientes.

El resultado general de este trabajo sugiere que, a pesar de que hay una reducción de la calidad del suelo, ésta no es alarmante como se ha reportado en otras zonas (Sustaita *et al.* 2000; Sánchez 2007; Muñoz *et al.* 2009; Navarrete 2011; Iniestra 2013, Escalante 2014).

Los componentes principales permitieron definir que el C de la biomasa microbiana, agregados y pH fueron los indicadores potenciales para definir la calidad de los suelos estudiados.

Desafortunadamente, en México no existen estudios del efecto de cambio de uso de suelo bosque - aguacate - maíz para compararlos en este estudio. Otros estudios realizados en regiones con vegetación y clima más secos, han mostrado igualmente cambios pequeños en

la calidad del suelo que se asocian a que el manejo es de bajos insumos y poco impacto (Sandoval-Pérez *et al.* 2009; Chávez-Macedo 2014).

La identificación de estos indicadores permitirá comunicar a los propietarios de las parcelas y a los responsables políticos los aspectos a monitorear y atender, y de este modo diseñar e implementar políticas para la conservación del suelo (Barrios 2007; Cram *et al.* 2015), mejorar su calidad y revertir sus procesos de degradación. Monitorear los cambios en el tiempo de las diferentes propiedades del suelo empleadas como indicadores de calidad de suelo, podría determinar si un sistema de manejo está en una situación de estabilidad, mejora o degradación (Shukla *et al.* 2006).

Por la gran importancia que representa el suelo para la vida del hombre y de todos los seres vivos, este recurso se debe manejar conservando en lo posible su calidad y aminorando los efectos negativos del manejo.

Recomendaciones

El presente estudio muestra la necesidad de tomar en cuenta un número más elevado de muestras por tipo de cobertura para cada variable en estudios posteriores y de esta manera contar con más claridad en los resultados.

Se propone estudiar la intensidad y los detalles del manejo con mayor profundidad para poder relacionarlos más directamente con los cambios del suelo.

11. Literatura citada

- Alcalá M., Hidalgo C y M Gutiérrez. 2009. Mineralogía y retención de fosfatos en andisoles. *Terra Latinoamericana* 27: 275-286.
- Alvarado A y W Forsythe. 2005. Variación de la densidad aparente en órdenes de suelos de Costa Rica. *Agronomía Costarricense* 29:85-94.
- Alvear M., Reyes F., Morales A., Arriagada C y M Reyes. 2007. Actividad biológica y agregados estables al agua en dos tipos de formaciones vegetales de un bosque templado del Centro- Sur de Chile con perturbación antrópica. *Ecología Austral* 17: 113-122.
- Angers D., Bullock M y G Mehuys. 2008. Aggregate stability to water. En: Carter M. R y E. G Gregorich (Eds.) *Soil Sampling and Methods os Analysis*. 2a ed. CRC Press, Boca Raton, F.L. 881pp.
- Aravena C., Diez M.C., Gallardo F., Mora M.L y C Valentín. 2007. Utilización de lodo de la industria de celulosa y su efecto sobre las propiedades físico-químicas en suelos volcánicos degradados. *Ciencia del Suelo y Nutrición Vegetal*.
- Arnold R. W., Szaboles I y V.O Targulian. 1990. Global Soil Change. Report and International Institute for Applied System Analysis. International Society of Soil Science, UNEP. Laxemburg, Austria 110p.
- Arshad M.A y G.M Coen. 1992. Characterization of soil quality: physical and chemical criteria. *American Journal of Alternative Agriculture* 7:25-31.
- Astier M., Maass M y J Etchevers. 2002. Derivación de indicadores de calidad de suelo en el contexto de la agricultura sustentable. *Agrociencia* 36: 605-620.

- Ayala D y H Guerrero. 2009. Análisis comparativo de prácticas agrícolas sustentables en comunidades campesinas e indígenas de la Meseta Purépecha, México. *Revista Iberoamericana de Economía Ecológica* 13: 29-39.
- Bautista A., Etchevers J., F. del Castillo R y C Gutiérrez. 2004. La calidad del suelo y sus indicadores. *Ecosistemas* 13: 1-11.
- Barrios, E. 2007. Soil biota, ecosystem services and land productivity. *Ecological Economics* 64: 269-285.
- Bates R. G. 1983. Determination of pH-theory and practice. 2a ed. New York, John Wiley 479pp.
- Bocco G., Mendoza M y O Masera. 2001. La dinámica del cambio del uso del suelo en Michoacán. Una propuesta metodológica para el estudio de los procesos de deforestación. *Boletín del Instituto de Geografía, UNAM*. 44: 18-38.
- Boix-Fayos C., Calvos-Cases A., Imeson A.C y M.D Soriano. 2001. Influence of soil properties on the aggregation of some Mediterranean soils and the use of aggregate size and stability as land degradation indicators. *Catena* 44: 47-67.
- Bolinder M.A., Angers D.A, Gregorich E.G y M.R Carter. 1999. The response of soil quality indicators to conservation management. *Canadian. Journal Soil Science*. 79: 37-45.
- Bouyoucos G.J. 1962. Hydrometer method improved for making particle size analysis of soils. *Agronomy Journal*. 54:464-465pp.
- Brady N. C y R.R Weil. 1999. The nature and properties of soils, 12a. edición. Prentice-Hall. New Jersey. 881pp.
- Brady N. C y R.R Weil. 2008. The nature and properties of soils. 14a. ed Prentice-Hall. New Jersey. 965pp.
- Bravo M., Sánchez J., Vidales J.A., Sáenz J.T., Chávez J.G., Madrigal S., Muñoz H., Tapia L.M., Orozco G., Alcántar J.J., Vidales I y E Venegas. 2009. Impactos ambientales y socioeconómicos del cambio de uso del suelo forestal a huertos de aguacate en Michoacán. Publicación Especial N° 2. INIFAP-CIRPAC. Uruapan, Michoacán. 88p.

- Bravo-Espinosa M., Mendoza M.E., Carlón T., Medina L., Sáenz-Reyes J.T y R Páez. 2012. Effects of converting forest to avocado orchards on topsoil properties in the trans-mexican volcanic system, Mexico. *Land Degradation and Development*.
- Brookes P., Landman A., Pruden G y D Jenkinson. 1985. Chloroform fumigation and the release of soil nitrogen: a rapid direct extraction method to measure microbial biomass nitrogen in soil. *Soil Biology and Biochemistry* 17: 837-842.
- Campitelli P., Aoki A., Gudelj O., Rubenacker A y R Sereno. 2010. Selección de indicadores de calidad de suelo para determinar los efectos del uso y prácticas agrícolas en un área piloto de la región central de Córdoba. *Ciencia del Suelo* 28: 223-231.
- Cerda A. 1998. Soil aggregate stability under different Mediterranean vegetation types. *Catena* 32:73-86.
- Chávez-León G., Tapia L.M., Bravo M., Sáenz J., Muñoz H., Vidales I., Larios A., Rentería J., Villaseñor F., Sánchez J., Alcántar J.J y M Mendoza. 2012. Impacto del cambio de uso de suelo forestal a huertos de aguacate. INIFAP. Uruapan, Michoacán. 102 p.
- Chávez-Macedo D.A. 2014. Evaluación de la calidad del suelo en parcelas agrícolas, ganaderas y sucesionales en la costa sur de Jalisco, Méx. (Tesis de Licenciatura en Biología). Facultad de Ciencias, UNAM. 61 p.
- (COFOM) Comisión Forestal del Estado de Michoacán. 2001. Atlas Forestal del Estado de Michoacán. Morelia, Mich. México. 97 p.
- Cram S., Sommer I., Fernández P., Galicia L., Ríos C e I Barois. 2015. Soil natural capital modification through land use and cover change in a tropical forest landscape: implications for management. *Journal of Tropical Forest Science* 27: 189–201.
- Cruz A., Cruz E., Aguilera L.I., Norman H.T., Franco S., Nava G., Dendooven L y B.G Reyes. 2012. La biomasa microbiana en suelos de montaña con diferentes usos: un estudio de laboratorio. *Tierra Latinoamericana* 30:221-228.

- Doran J.W y B.T Parkin. 1994. Defining Soil Quality for a Sustainable Environment. *Soil Science Society of America*. Special Publication 35. Madison, Wisconsin, USA.
- Doran J.W., Coleman D.C., Bezdicsek D.C y B.A Stewart (eds). 1994. Defining and Assessing Soil Quality for Sustainable Environment. *Soil Science Society of America*. Special Publication 49. Madison, Wisconsin, USA. 410p.
- Escalante I.B. 2014. Evaluación del impacto del uso del terreno sobre el nivel de degradación física de un suelo aluvial en una zona semiárida. (Tesis de Licenciatura) Facultad de Estudios Superiores Iztacala, UNAM. 39 p.
- (FAO) Food and Agriculture Organization of the United Nations. 2002. Los fertilizantes y su uso. Asociación Internacional de la Industria de los Fertilizantes.
- Federer C.A., Turcotte D.E y C. T Smith. 1993. The organic fraction–bulk density relationship and the expression of nutrient content in forest soils. *Canadian Journal of Forest Research*, 23(6): 1026-1032.
- Fernández C y R Mendoza. 2008. Evaluación del fósforo disponible mediante tres métodos en distintos suelos y manejos productivos. *Ciencia del Suelo* 26: 13-27.
- Ferrari J.L., García F. O y H.E Echeverría. 1997. Evolución del Carbono y Nitrógeno de la biomasa microbiana durante el desarrollo del cultivo de trigo. *Ciencia del suelo* 15:64-70.
- Ferreras L., Toresani S, Bonel B, Fernández E, Bacigaluppo S, Faggioli V y C Beltrán. 2009. Parámetros químicos y biológicos como indicadores de calidad del suelo en diferentes manejos. *CI Suelo* 27: 103-144.
- Figueroa-Jáuregui M.L., Ibáñez-Castillo L. A., Arteaga-Ramírez R., Arellano-Monterrosas J. L y M Vázquez-Peña. 2011. Land use change in San Cristóbal de las Casas watershed, México. *Agrociencia* 45: 531- 544.
- Fitz-Patrick E. A. 1993. Suelos. Su formación, clasificación y distribución. Ed CECSA, México, D.F.

- Gallegos, E. R. 1983. Algunos aspectos del aguacate y su producción en Michoacán. Gaceta. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México. 317 p.
- García E. J. 2008. El proceso de expansión urbana y su impacto en el uso de suelo y vegetación del municipio de Juárez, Chihuahua (Tesis de maestría). México, 155 p.
- Gracia-Brulé J. A. 2015 Evaluación de prácticas de manejo de la cobertura vegetal para reducir la pérdida de suelo en huertas de aguacate (*Persea americana*). (Tesis de Licenciatura en Biología). Facultad de Ciencias, UNAM. 81 p.
- Gavito M.E., Astier M., Martínez J., Ayala R., Ramírez E y T Ortiz. 2011. Evaluación del impacto ecológico del cultivo de aguacate a nivel regional y de parcela en el Estado de Michoacán: validación de indicadores ambientales en los principales tipos de producción. Informe Final Etapa 1. CIEco, UNAM. 85 p.
- Geist H. J y E. F. Lambin. 2001. ¿What drives tropical deforestation? A meta-analysis of proximate and underlying causes of deforestation based on sub-national case study evidence, Louvain-la-Neuve, LUCC International Project Office: 116, Belgium.
- Ginés I e I Mariscal-Sancho. 2002. Incidencia de los fertilizantes sobre el pH del suelo. Fertiberia S.A.
- González S. L., Trinidad A, Sánchez P., Galvis A y J. A Santizo. 2011. Mineral nitrogen in avocado orchards cv. Hass under integrated and organic, management in Michoacán state. *Ciencias Agrícolas Informa 20*: 26-34.
- Gregorich E.G., Carter M.R, Angers D.A, Monreal C.M y B.H Ellert. 1994. Towards an minimum data set to asses soil organic matter quality in agricultural soils. *Canadian J. of Soil Science 74*: 367-386.
- Guía Técnica del Cultivo del Aguacate. 2000. Programa nacional de frutas de El Salvador. IICA. 67p.
- Gutiérrez-Contreras M., Lara-Chávez Ma. B., Guillén-Andrade H y A. T Chávez-Bárceñas. 2010. Agroecología de la franja aguacatera en Michoacán, México. *Interciencia 35(9)*: 647 – 653.

- Hallet P., D. Feeney, A. Bengough, M. Rillig, C. Scrimgeour, I. Young. 2009. Disentangling the impact of AM fungi versus roots on soil structure and water transport. *Plant and Soil*. 314: 183-196 pp.
- Ibarra D., Ruiz J. A, Flores J. G y E González. 2007. Distribución espacial del contenido de materia orgánica de los suelos agrícolas de Zapopan, Jalisco. *TERRA Latinoamericana* 25: 187-194
- Ibarra D., Ruiz J. A, González D. R, Flores J. G y G Díaz. 2009. pH spatial distribution in agricultural soils of Zapopan, Jalisco, México. *Agricultura Técnica en México* 35 (3): 267-276.
- (INAFED) Instituto para el Federalismo y el Desarrollo Municipal. 2010. Enciclopedia de los Municipios y Delegaciones de México, Estado de Michoacán de Ocampo.
- Ingaramo O.E, Paz A y M Dugo. 2003. Evaluación de la densidad aparente en diferentes sistemas de laboreos de suelo, en el NO de la Península Ibérica. Universidad Nacional del Nordeste, Argentina.
- (INEGI) Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática. 1997. Carta edafológica, 1:1 000 000. Aguascalientes, Ags., México.
- (INEGI) Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática. 2010. Anuario de estadísticas por entidad federativa 2010. México, 594 p.
- Janssen B.H. 1996. Nitrogen mineralization in relation to C:N ratio and decomposability of organic material. *Plant and Soil*. 181:39-45.
- Joergensen R.G. 1996. The fumigation-extraction method to estimate soil microbial biomass: calibration of KEC Value. *Soil Biology Biochemistry* 28: 25-31.
- Joergensen R.G y T Mueller. 1996. The fumigation-extraction method to estimate soil microbial biomass: calibration of the k_{EN} -factor. *Soil Biology Biochemistry* 28: 33-37.
- Julca-Otiniano A, Meneses-Florian L, Blas-Sevillano R y S Bello-Amez. 2006. La materia orgánica, importancia y experiencias de su uso en la agricultura. *IDESIA* 24: 49-61.

- Karlen D.L, Mausbach M.J, Doran J.W, Cline R.G, Harris R.F y G.E Schuman. 1997. Soil quality: a concept, definition and framework for evaluation. *Soil Science Society of America Journal* 61, 4-10.
- Kroetsch D y C Wang. 2007. Particle size distribution. In: Carter, M.R.,Gregorich, E.G. (Eds.), *Soil Sampling and Methods of Analysis*, second ed. CRCPress, Boca Raton, FL, pp. 713-726.
- Lambin E.F, Turner B.L., Geist H. J., Agbola S.B., Angelsen A., Bruce J.W., Coomes O.T., Dirzo R., Fischerh G., Folke C., George P.S., Homewood K., Imbernon J., Leemans R., Li X., Moran E.F., Mortimore M., Ramakrishnan P.S., Richards J.F., Skånes H., Steffen W., Stone G.D., Svedin U., Veldkamp T.A., Vogel C y Jianchu Xu. 2001. The causes of land-use and land-cover change: moving beyond the myths. *Global Environmental Change* 11: 261–269.
- Larson W.E y F.J Pierce. 1991. Conservation and Enhancement of soil quality. In: *Evaluation for sustainable land management in the developing world*. Vol. 2. IBSRAM Proc 12(2). International Board for Soil Resources and Management. Bangkok, Thailand.
- Luters A y J Salazar. 2000. Soil quality test kit guide. USDA. Argentina, 88 p.
- Manual de fertilidad de los suelos. 1988. The Potash and Phosphate Institute. E.U.A. 85p
- Mas J.F., Velázquez A y S Couturier. 2009. La evaluación de los cambios de cobertura/uso del suelo en la República Mexicana. *Investigación ambiental* 1: 23-39.
- Medina L., Bravo M., Prat C., Martínez M., Ojeda E y B Serrato. 2008. Pérdida de suelo, agua y nutrientes en un acrisol bajo diferentes sistemas agrícolas en Michoacán, México. *Agricultura Técnica en México* 34: 201-211.
- Mehlich A.1984. Mehlich N°3 extractant: a modification of Mehlich N°2 extractant. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*. 15:1409-1416pp.
- Meyer, W. B. y B. L. Turner. 1992. Human population growth and global land-use/cover change. *Annual Review of Ecology and Systematics* 23: 39-61.

- Meza P y D Geissert. 2003. Estructura, agregación y porosidad en suelos forestales y cultivados de origen volcánico del Cofre de Perote, Veracruz, México. *Foresta Veracruzana* 5(2):57-60.
- Montiel-Aguirre G., Krishnamurthy L; Vázquez-Alarcón A y M Uribe-Gómez. 2008. Opciones agroforestales para productores de aguacate. *Terra Latinoamericana* 26(1): 85-90.
- Morales L.M y G Cuevas. 2011. Inventarios 1974 – 2007, y evaluación del impacto ambiental regional del cultivo del aguacate en el estado de Michoacán. Informe Final. *Centro de Investigaciones en Geografía Ambiental*, UNAM. Morelia, MICH. 138 pp.
- Muñoz D., López G.F., Hernández M.M., Soler A.A., Castillo L.M y A.I Hernández. 2009. Impacto de la pérdida de la vegetación sobre las propiedades de un suelo aluvial. *Terra Latinoamericana* 27: 237-246.
- Muñoz D., Ferreira M., Escalante I y J López. 2013. Relación entre la cobertura del terreno y la degradación física y biológica de un suelo aluvial en una región semiárida. *Terra Latinoamericana* 31: 201-210.
- Nannipieri P. 1994. The potential use of soil enzymes as indicators of productivity, sustainability and pollution. *In: Pankhurst, CE; BM Doube; VVSR Gupta y PR Grace (eds.). Soil Biota: Management in Sustainable Farming Systems.* CSIRO, Australia, pp. 238-244.
- Navarrete A. 2011. Análisis comparativo de la calidad de suelos agrícolas y suelos protegidos por vegetación natural en una zona semiárida. (Tesis de Maestría) Instituto de Ecología, UNAM. 75 p.
- Neris, J., Jiménez C., Fuentes J., Morillas G y M Tejedor. 2012. Vegetation and land-use effects on soil properties and water infiltration of Andisols in Tenerife (Canary Islands, Spain). *Catena* 98:55–62.
- Oldeman L.R. 1988. Global Assessment of Soil Degradation (GLASOD): Guidelines for general assessment of the status human-induced soil degradation. ISRIC. Wageningen, The Netherlands. 12 p.
- Ortiz-Villanueva B., C.A. Ortiz-Solorio. 1990. Edafología. Propiedades físicas del suelo. Séptima edición. Editorial: Universidad Autónoma Chapingo. 393 pp.

- Pérez I.O. 1998. Fertilización de macro y micronutrientes en un andosol de la sierra tarasca, Michoacán. Tesis de Maestría. Colegio de Posgraduados. Montecillo, Texcoco, México.
- Pineda N. B., Bosque J., Gómez M y W Plata. 2009. Análisis de cambio del uso del suelo en el Estado de México mediante sistemas de información geográfica y técnicas de regresión multivariantes. Una aproximación a los procesos de deforestación. *Investigaciones Geográficas* 69: 33-52
- Producción Orgánica de Aguacate. 2006. Fundación PRODUCE Michoacán, México. 83 pp.
- Pulido-Moncada M., Flores B, Rondón T, Hernández-Hernández R y Lozano Z. 2010. Cambios en fracciones dinámicas de la materia orgánica de dos suelos, Inceptisol y Ultisol, por el uso con cultivo de cítricas. *Bioagro* 22:201-210.
- Quiroga A y D Funaro. 2004. Materia orgánica. Factores que condicionan su utilización como indicador de calidad en Molisoles, de las Regiones Semiárida y Subhúmeda Pampeana. XIX Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. Actas 476pp.
- Robertson P.G., D.C. Coleman, C.S. Bledsoe, P. Sollins. 1999. Standard soil methods for long-term ecological research (*LTER*). Oxford University Press. 457 pp.
- Rojas S. 2009. Impacto del cultivo de variedades mejoradas de maíz en México: análisis de un caso particular en Michoacán. Tesis de Licenciatura, Facultad de Biología, Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, Morelia, Michoacán.
- Rzedowski J. 2006. Vegetación de México. 1ra. Edición digital, Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, México, 504pp.
- Sáenz-Reyes J. T., Jiménez-Ochoa J., Gallardo-Valdés M., Villaseñor-Ramírez F. J y M Bravo-Espinosa. 2007. Sistemas agroforestales: una alternativa para la reconversión de suelos forestales en cuencas hidrológicas. (INE) Instituto Nacional de Ecología. México.
- (SAGARPA, SIAP). 2011 Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación, Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera.

- Salamanca A y S Sadeghian. 2005. La densidad aparente y su relación con otras propiedades en suelos de la zona cafetera colombiana. *Cenicafé* 56(4): 381-397.
- Sánchez R.C. 2007. Análisis comparativo de la calidad de suelos agrícolas y suelos protegidos por vegetación natural en una zona semiárida. (Tesis de Licenciatura) Facultad de Estudios Superiores Iztacala, UNAM. 61 p.
- Sandoval-Pérez A.L., Gavito M., García-Oliva F y V.J Jaramillo. 2009. Carbon, nitrogen, phosphorus and enzymatic activity under different land uses in a tropical, dry ecosystem. *Soil Use and Management*. 25: 419-426.
- Sandoval M., Castillo C., Zagal E., Stolpe N y P Undurraga. 2007. Hydraulic parameters determined in Andisol under different crop rotations after ten years. *Revista de la Ciencia del Suelo y Nutrición Vegetal* 7:32-45.
- Schroth G. 2003. Measuring the role of soil organic matter in aggregate stability. En: Trees, crops and soil fertility. Concepts and research methods. Wallingford, CABI Publishing, p.204-207.
- Shepherd T.G., Saggar S., Newman R.H., Ross C.W. y J. L. Dando. 2001. Tillage-induced changes to soil structure and organic carbon fractions in New Zealand soils. *Australian Journal of Soil Research* 39:465-489.
- Shoji S., Nanzyo M y R. Dahlgren. 1993. Volcanic ash soils: genesis, properties and utilization. *Developments in Soil Science* 21. Elsevier. Amsterdam, The Netherlands.
- Shukla, MK; R Lal & M Ebinger. 2006. Determining soil quality indicators by factor analysis. *Soil and Tillage Research* 87: 194-204.
- Smith K. A y F Conen. 2004. Impacts of land management on fluxes of trace greenhouse gases. *Soil Use Manage* 20: 255-263.
- (SQI) Soil Quality Institute. 1996. Indicators for Soil Quality Evaluation. USDA Natural Resources Conservation Service. Prepared by de National Soil Survey Center in cooperation with The Soil Quality Institute, NRCS, USDA and the National Soil Tillage Laboratory, Agricultural Research Service. USA.
- Stat Soft Inc. 2000. STATISTICA. Data Analysis Software System. Version 6.0. www.statsoft.com

- Stat Soft Inc. 2007. STATISTICA. Data Analysis Software System. Version 8.0.
www.statsoft.com
- Stevens, J. 1986. Applied multivariate statistics for the social sciences (2nd ed.).
Hillsdale, NJ: Erlbaum.
- Stork N. E y P Eggleton. 1992. Invertebrates and determinants and indicators of soil
quality. *American Journal of Alternative Agriculture* 7:38-47.
- Sustaita R.F., Ordaz Ch. V., Ortiz S.C y G.F León. 2000. Cambios en las
propiedades físicas de dos suelos de una región semiárida debidos al uso
agrícola. *Agriociencia* 34:4. México.
- Tan K.H. 2005. Soil sampling, preparation, and analysis. Taylor & Francis. 2a
edición. 623pp.
- Téliz, D. 2000. El aguacate y su manejo integrado. Mundi Prensa. México, D.F. 219
p.
- Tisdall J.M y J.M Oades. 1982. Organic matter and water-stable aggregates in soils.
Journal of Soil Science 33:141-16.
- Toniutti M.A., Fornasero L.V, Tenorio D y J Mollo. 1999. Evaluación de la
biomasa microbiana en el proceso de recuperación de suelos. *Revista FAVE*
13:5-11.
- USDA. 1993. Diagnóstico y rehabilitación de suelos salinos y sódicos. Laboratorio
de salinidad de EUA. Limusa, 7ª reimpresión. 125pp.
- Valencia A. G. 1999. Fisiología, nutrición y fertilización del cafeto. Chinchiná,
Cenicafé-Agroinsumos del Café, 94 p.
- Vance E.D., A.C. Brookers y D.S. Jenkinson. 1987. An extraction method for
measuring soil microbial biomass C. *Soil Biology and Biochemistry* 19: 703-
707.
- Velázquez A., Mas J.F., Díaz-Gallegos J.R., Mayorga-Saucedo R., Alcántara P.C.,
Castro R., Fernández T., Bocco G., Ezcurra E y J.L Palacio. 2002. Patrones
y tasas de cambio de uso de suelo en México. *Gaceta Ecológica* 62: 21-37.
- Villaseñor L. E. (editora). 2005. La biodiversidad en Michoacán: Estudio de
Estado. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad,

- Secretaría de Urbanismo y Medio Ambiente, Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. México, 266pp.
- Visser S y D Parkinson. 1992. Soil biological criteria as indicators of soil quality. *Soil Microorganisms* 7:25-31.
- Wang, G., Ma H., Quian J y C Juan. 2004. Impact of land use changes on soil carbon, nitrogen and phosphorus and water pollution in arid region of northwest China. *Soil Use Manage.* 20: 32-39.
- Walkley A. y A. Black. 1934. An Examination of Degtjareff Method for Determining Soil Organic Matter and a Proposed Modification of the Chromic Acid Titration Method. *Soil Science* 37:29-37.
- Walter B. y W. Steffen. 1997. The terrestrial biosphere and global change: implications for natural and managed ecosystems. A synthesis of GCTE and related research, IGBP Science 1, Int. Geosph.-Biosph. Program., Stockholm.
- Willard H. H., Merrit L. L., Dean J. A. 1974. Instrumental methods of analysis. 5th edition Van Nostrand.
- Wischmeier W.H y D.D Smith. 1978. Predicting rainfall erosion losses. A guide to conservation planning. USDAARS Agricultural handbook No. 537. Washington DC. 58 pp.
- Wolf B y G Snyder. 2003. Sustainable soils ; the place of organic matter in sustainable soils and their productivity. New York, Food Products Press, 352p.
- Zagal E., RodríguezN., VidallI. y M. Maureira. 2003. Microbial biomass in different cropping systems determined by the ninhydrin-reactive nitrogen and ultraviolet absorbance (UV₂₈₀). *Revista de la Ciencia del Suelo y Nutrición Vegetal* 3(1):17-28.
- Zagal E y C Córdova. 2005. Soil Organic Matter Quality Indicators in a Cultivated Andisol. *Agricultura Técnica* 65:186-197.

12. Apéndice

Encuesta estructurada que se aplicó a los propietarios de las milpas y huertas de aguacate (se incluyó el bosque porque alguno de los propietarios de las huertas de aguacate lo son también de parte del bosque).

ZONA 1 ALEJANDRO PEÑA

| Preguntas | Milpa | Huerta de aguacate |
|--|---|----------------------|
| ¿Desde hace cuánto tiempo (años) trabaja su parcela? | 40 | 25 |
| ¿Sabe que había y qué se hacía antes? | Pasto/Avena | Maíz |
| ¿Qué extensión (Ha) tiene? | 1 | 10 |
| ¿Qué ha cultivado? | Avena/Maíz | Maíz |
| ¿Qué tanto cultiva? | 2100 kg | 2000 matas |
| ¿Sigue alguna rotación de cultivo? | Sí | No |
| Su cultivo ¿es de riego o de temporal? | Temporal | Temporal |
| ¿Usa fertilizantes? ¿Cuáles y qué tanto por Ha/año? | Sulfato de amonio 50 kg 2 veces al año | Abono de res, 5-6 kg |
| ¿Usa herbicidas/plaguicidas? ¿Cuáles y qué tanto por Ha/año? | No | Sí, 8-10 toneladas |
| ¿Qué utiliza para arar la tierra? | Tractor | --- |
| ¿Usa químicos para limpiar su parcela? | No | Sí |

ZONA 2 MIGUEL PEÑA

| Preguntas | Milpa | Huerta de aguacate |
|--|-----------------------------|----------------------|
| ¿Desde hace cuánto tiempo (años) trabaja su parcela? | + 50 | 25 |
| ¿Sabe que había y qué se hacía antes? | Maíz/Frijol | Maíz |
| ¿Qué extensión (Ha) tiene? | ½ ó 1 | 10 |
| ¿Qué ha cultivado? | Avena/Maíz | Maíz |
| ¿Qué tanto cultiva? | 1050 kg | 2000 matas |
| ¿Sigue alguna rotación de cultivo? | No | No |
| Su cultivo ¿es de riego o de temporal? | Temporal | Temporal |
| ¿Usa fertilizantes? ¿Cuáles y qué tanto por Ha/año? | Sulfato de amonio, 50 kg | Abono de res, 5-6 kg |
| ¿Usa herbicidas/plaguicidas? ¿Cuáles y qué tanto por Ha/año? | Sí | Sí, 8-10 toneladas |
| ¿Qué utiliza para arar la tierra? | Tractor | --- |
| ¿Usa químicos para limpiar su parcela? | No | Sí |

ZONA 3 SOCORRO GUILLÉN

| Preguntas | Milpa | Huerta de aguacate |
|--|-------------------|--|
| ¿Desde hace cuánto tiempo (años) trabaja su parcela? | 10 | 20 |
| ¿Sabe que había y qué se hacía antes? | Avena | Aguacate |
| ¿Qué extensión (Ha) tiene? | 2 a 2 ½ | 11 |
| ¿Qué ha cultivado? | Maíz | Aguacate |
| ¿Qué tanto cultiva? | | 28 toneladas por año |
| ¿Sigue alguna rotación de cultivo? | Sí | No |
| Su cultivo ¿es de riego o de temporal? | Temporal | Temporal |
| ¿Usa fertilizantes? ¿Cuáles y qué tanto por Ha/año? | Sulfato de amonio | Biofertilizantes preparados con estiércol, lixiviado de lombrices, triple 15 (N, K, P), 5 kg por árbol |
| ¿Usa herbicidas/plaguicidas? ¿Cuáles y qué tanto por Ha/año? | No | No |
| ¿Qué utiliza para arar la tierra? | Tractor | --- |
| ¿Usa químicos para limpiar su parcela? | No | No , chaponeo |

ZONA 4 MIGUEL VALENCIA

| Preguntas | Milpa | Huerta de aguacate |
|--|----------------------------|---|
| ¿Desde hace cuánto tiempo (años) trabaja su parcela? | 10 | 15 |
| ¿Sabe que había y qué se hacía antes? | Durazno/Avena/Maíz/Potrero | Aguacate |
| ¿Qué extensión (Ha) tiene? | 1 | 8 |
| ¿Qué ha cultivado? | Maíz/ Avena | Aguacate |
| ¿Qué tanto cultiva? | | |
| ¿Sigue alguna rotación de cultivo? | No | No |
| Su cultivo ¿es de riego o de temporal? | Temporal | Temporal |
| ¿Usa fertilizantes? ¿Cuáles y qué tanto por Ha/año? | Sulfato de amonio | DAP, 12 bulto de 50 kg por ha, sulfato de amonio un puño por planta |

| | | |
|--|---------|---------------|
| ¿Usa herbicidas/plaguicidas? | No | Glifosato, 57 |
| ¿Cuáles y qué tanto por Ha/año? | | bultos |
| ¿Qué utiliza para arar la tierra? | Tractor | --- |
| ¿Usa químicos para limpiar su parcela? | No | Sí |

Tabla 1. Indica el Análisis de Correlación de Pearson obtenido mediante el programa Statistica 8 (p<.05).

| Variable | DA (g/cm ³) | ARENA S (%) | LIMOS (%) | ARCILLAS (%) | AGREGADOS >1 mm (g) | AGREGADOS <1 mm >250 μ (g) | pH | MO (%) | NH ₄ ⁺ (mg/g) | NO ₃ ⁻ (mg/g) | PO ₄ ³⁻ (mg/g) | N _{BM} (mg g ⁻¹) |
|---------------------------------------|-------------------------|------------------|------------------|------------------|---------------------|----------------------------|-----------|-----------|-------------------------------------|-------------------------------------|--------------------------------------|---------------------------------------|
| DA (g/cm ³) | 1.000000 | -0.842299 | 0.780956 | 0.913153 | -0.608170 | -0.532504 | -0.627738 | -0.884092 | 0.175409 | -0.934737 | 0.543943 | 0.301709 |
| ARENAS (%) | -0.842299 | 1.000000 | -0.991671 | -0.976740 | 0.580921 | 0.165256 | 0.656700 | 0.717421 | -0.395659 | 0.934180 | -0.461298 | -0.040510 |
| LIMOS (%) | 0.780956 | -0.991671 | 1.000000 | 0.940986 | -0.601754 | -0.078581 | -0.605428 | -0.650549 | 0.482697 | -0.916002 | 0.443869 | 0.001983 |
| ARCILLAS (%) | 0.913153 | -0.976740 | 0.940986 | 1.000000 | -0.524668 | -0.303420 | -0.717677 | -0.802117 | 0.236067 | -0.929761 | 0.473188 | 0.103147 |
| AGREGADO S >1 mm (g) | -0.608170 | 0.580921 | -0.601754 | -0.524668 | 1.000000 | -0.032282 | 0.327080 | 0.298887 | -0.811109 | 0.754031 | -0.402389 | -0.123331 |
| AGREGADO S <1mm >250 μ (g) | -0.532504 | 0.165256 | -0.078581 | -0.303420 | -0.032282 | 1.000000 | 0.428616 | 0.488637 | 0.510075 | 0.337007 | 0.121360 | -0.849005 |
| pH | -0.627738 | 0.656700 | -0.605428 | -0.717677 | 0.327080 | 0.428616 | 1.000000 | 0.317275 | 0.074590 | 0.613069 | 0.205962 | -0.435691 |
| MO (%) | -0.884092 | 0.717421 | -0.650549 | -0.802117 | 0.298887 | 0.488637 | 0.317275 | 1.000000 | 0.015954 | 0.756078 | -0.737983 | -0.079960 |
| NH ₄ ⁺ (mg/g) | 0.175409 | -0.395659 | 0.482697 | 0.236067 | -0.811109 | 0.510075 | 0.074590 | 0.015954 | 1.000000 | -0.457194 | 0.369143 | -0.252776 |
| NO ₃ ⁻ (mg/g) | -0.934737 | 0.934180 | -0.916002 | -0.929761 | 0.754031 | 0.337007 | 0.613069 | 0.756078 | -0.457194 | 1.000000 | -0.497616 | -0.248657 |
| PO ₄ ³⁻ (mg/g) | 0.543943 | -0.461298 | 0.443869 | 0.473188 | -0.402389 | 0.121360 | 0.205962 | -0.737983 | 0.369143 | -0.497616 | 1.000000 | -0.468571 |
| N _{BM} (mg g ⁻¹) | 0.301709 | -0.040510 | 0.001983 | 0.103147 | -0.123331 | -0.849005 | -0.435691 | -0.079960 | -0.252776 | -0.248657 | -0.468571 | 1.000000 |

| Correlations (Spreadsheet5) | | | | | | | | | | | | | | |
|---|----------|----------|------------------|------------------|------------------|------------------|-----------|------------------|-----------|------------------|-----------|------------------|-----------|------------------|
| Marked correlations are significant at p < .05000 | | | | | | | | | | | | | | |
| N=6 (Casewise deletion of missing data) | | | | | | | | | | | | | | |
| Variable | Means | Std.Dev. | DA | ARENAS | LIMOS | ARCILLAS | >1MM | <250 | pH | MO | NITRATOS | AMONIO | ORTO | NM |
| DA | 0.62942 | 0.17384 | 1.000000 | -0.842299 | 0.780956 | 0.913153 | -0.608170 | -0.532504 | -0.627738 | -0.884092 | 0.175409 | -0.934737 | 0.543943 | 0.301709 |
| ARENAS | 30.62025 | 16.72357 | -0.842299 | 1.000000 | -0.991671 | -0.976740 | 0.580921 | 0.165256 | 0.656700 | 0.717421 | -0.395659 | 0.934180 | -0.461298 | -0.040510 |
| LIMOS | 42.30340 | 10.59552 | 0.780956 | -0.991671 | 1.000000 | 0.940986 | -0.601754 | -0.078581 | -0.605428 | -0.650549 | 0.482697 | -0.916002 | 0.443869 | 0.001983 |
| ARCILLAS | 27.07635 | 6.36434 | 0.913153 | -0.976740 | 0.940986 | 1.000000 | -0.524668 | -0.303420 | -0.717677 | -0.802117 | 0.236067 | -0.929761 | 0.473188 | 0.103147 |
| >1MM | 0.20853 | 0.14419 | -0.608170 | 0.580921 | -0.601754 | -0.524668 | 1.000000 | -0.032282 | 0.327080 | 0.298887 | -0.811109 | 0.754031 | -0.402389 | -0.123331 |
| <250 | -0.72367 | 0.12265 | -0.532504 | 0.165256 | -0.078581 | -0.303420 | -0.032282 | 1.000000 | 0.428616 | 0.488637 | 0.510075 | 0.337007 | 0.121360 | -0.849005 |
| pH | 6.48778 | 0.37068 | -0.627738 | 0.656700 | -0.605428 | -0.717677 | 0.327080 | 0.428616 | 1.000000 | 0.317275 | 0.074590 | 0.613069 | 0.205962 | -0.435691 |
| MO | 7.69647 | 1.87002 | -0.884092 | 0.717421 | -0.650549 | -0.802117 | 0.298887 | 0.488637 | 0.317275 | 1.000000 | 0.015954 | 0.756078 | -0.737983 | -0.079960 |
| NITRATOS | -2.29950 | 0.40394 | 0.175409 | -0.395659 | 0.482697 | 0.236067 | -0.811109 | 0.510075 | 0.074590 | 0.015954 | 1.000000 | -0.457194 | 0.369143 | -0.252776 |
| AMONIO | -1.14422 | 0.25113 | -0.934737 | 0.934180 | -0.916002 | -0.929761 | 0.754031 | 0.337007 | 0.613069 | 0.756078 | -0.457194 | 1.000000 | -0.497616 | -0.248657 |
| ORTO | -2.06126 | 0.48761 | 0.543943 | -0.461298 | 0.443869 | 0.473188 | -0.402389 | 0.121360 | 0.205962 | -0.737983 | 0.369143 | -0.497616 | 1.000000 | -0.468571 |
| NM | 70.97871 | 14.17041 | 0.301709 | -0.040510 | 0.001983 | 0.103147 | -0.123331 | -0.849005 | -0.435691 | -0.079960 | -0.252776 | -0.248657 | -0.468571 | 1.000000 |