



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA
DE MÉXICO**



FACULTAD DE CIENCIAS

**“Evaluación de la calidad del suelo en parcelas agrícolas,
ganaderas y sucesionales en la costa sur de Jalisco, Méx.”**

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

BIÓLOGO

P R E S E N T A :

Daniel Alejandro Chávez Macedo

DIRECTORA DE TESIS:

Dra. Mayra Elena Gavito Pardo

2014

Ciudad Universitaria, D. F.



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



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.

Hoja de Datos del Jurado.

1. Datos del alumno.
Chávez
Macedo
Daniel Alejandro
44 32 38 44 20
Universidad Nacional Autónoma de México
Facultad de Ciencias
Biología
409027918
2. Datos del tutor.
Dra.
Mayra Elena
Gavito
Pardo
3. Datos del sinodal 1
Dr.
Francisco Javier
Álvarez
Sánchez
4. Datos del sinodal 2
Dra.
Christina Désirée
Siebe
Grabach
5. Datos del sinodal 3
Dra.
Amada Laura
Reyes
Ortigoza
6. Datos de sinodal 4
Dra.
María Guadalupe
Barajas
Guzmán
7. Datos del trabajo escrito.
Evaluación de la calidad del suelo en parcelas agrícolas, ganaderas y sucesionales en la costa sur de Jalisco, Méx.
63 pp.
2014

Para ti todo mi esfuerzo y dedicación en este trabajo y mi carrera, mi amada *familia* que has estado ahí para verme crecer en cuerpo y mente, apoyarme en mis decisiones y estar incondicionalmente.

A ti que mostraste interés en este proyecto y lo hiciste tuyo en el laboratorio.

No tengo palabras para expresar lo mucho que los amo.

Agradecimientos.

Esta tesis fue realizada gracias al financiamiento otorgado por el Programa de Apoyo a Proyectos de Investigación e Innovación Tecnológica (PAPIIT) de la Universidad Nacional Autónoma de México, a través del proyecto IN224010 “Efecto de la comunidad vegetal en las funciones ecosistémicas del suelo”; de igual modo por el proyecto SEP-CONACyT/2009-129740 “Sucesión secundaria en bosques tropicales: recuperando biodiversidad, funciones y servicios del ecosistema”.

Se agradece el apoyo técnico de Ana Lidia Sandoval Pérez, Cruz Teresa Arredondo, Maribel Nava Mendoza; la asesoría estadística de Karla Juárez Contreras y María Guadalupe Barajas Guzmán; el apoyo logístico de la Estación de Biología Chamela; y a los dueños de las parcelas, sin cuya autorización no hubiera sido posible efectuar el muestreo.

Agradecimientos personales.

Al equipo de Microbiología de suelos y Rigo, por todo el apoyo que me dieron durante el muestreo. A Mayra que además asesorarme, me ayudó a procesar mis muestras.

A Adela y Violeta, que me ayudaron a preparar el material para el muestreo y procesar muestras respectivamente, ambas en tiempos críticos. A Ramsés, que me apoyó con la edición de algunas imágenes.

A la gen 2008, con quien comenzó mi trayectoria universitaria y me enseñó y sigue enseñando la belleza en las diferentes formas de pensar, entender y divertirse.

A la generación 2010, la comunidad en general, al amor; y la banda consciente, que me acompañaron en la Facultad de Ciencias y sembraron en mi la semilla crítica.

A Dianita, H. ExCosnejera estudiantil de Biología, sin cuya presencia mi carrera en la Facultad no habría sido plena. Fuiste el espíritu y corazón guerrero que me enseñó a luchar y no parar en la injusticia.

A la hermandad y aventura que me dieron Freddy y Martini desde el inicio de la carrera, al 301 que unió a Hidalgo, Michoacán y Oaxaca, y los hizo uno.

Índice

RESUMEN.....	1
ABSTRACT.....	2
1 Introducción	4
1.1 El papel del suelo en el ecosistema.....	4
1.2 El cambio de uso de suelo.....	4
1.3 El cambio de uso de suelo en el municipio de La Huerta en la costa de Jalisco.....	5
1.4 Usos de suelo y coberturas predominantes.....	5
1.5 Evaluación de la degradación de los suelos.....	10
1.6 La calidad del suelo.....	10
2 Justificación.....	13
3 Objetivo general	13
4 Hipótesis.....	14
5 Método	15
5.1 Zona de estudio.....	16
5.2 Diseño de muestreo.....	18
5.3 Análisis en laboratorio	26
5.4 Análisis estadístico.....	27
6 Resultados	29
6.1 Influencia de la zona en las variables de estudio.....	29
6.2 Influencia de la cobertura en las variables de estudio.....	29
6.3 Integración de variables y sitios al concepto de calidad del suelo	39
7 Discusión.....	43
8. Conclusiones	48
9. Literatura citada	50

RESUMEN

El presente trabajo tuvo por objetivo conocer y analizar el impacto en las propiedades edáficas por el manejo agrícola y pecuario en un ecosistema de Bosque Tropical Seco en la costa de Jalisco, México. Dadas las características enmarcadas en cada cobertura, se esperó encontrar el gradiente de menor a mayor calidad del suelo: sitios ganaderos < agrícolas < sucesionales < bosque primario. Se seleccionaron cuatro zonas semejantes en historia de uso y factores ambientales dentro de la región, con al menos tres de las cuatro coberturas de suelo a evaluar: agrícola, ganadera y sucesional (acahual); la cuarta cobertura fue el Bosque Tropical Seco conservado, empleado como referencia de la calidad natural del suelo en ausencia de manejo. Para cada cobertura se definió una parcela de 900 m², donde se tomaron nueve muestras agrupadas en tres submuestras compuestas. En cada muestra compuesta se evaluaron los atributos de productividad, estabilidad y resiliencia: porcentaje de humedad, pH, amonio y nitrato disponibles, nitrógeno disponible total, el cociente entre el amonio y nitrato disponible, concentración de ortofosfatos y la actividad enzimática de la fosfatasa ácida. La densidad aparente y los agregados estables en agua se evaluaron a partir de tres muestras intactas independientes. La textura se determinó en una sola muestra compuesta de cada sitio.

Las diferencias entre las coberturas de suelo se evaluaron a través de análisis estadístico univariado, bivariado y multivariado. El nivel de calidad del suelo, se infirió en función de la magnitud de la variable dado su comportamiento, de su integración y la similitud que existiera con el bosque primario. Se encontró una mayor cantidad de agregados estables >1mm y agregados de 0.25-1 mm en el bosque primario que en el uso agrícola, probablemente asociados a la pérdida de partículas finas agregables, entrada de materia orgánica, el laboreo que fragmenta los agregados y la compactación por el pisoteo del ganado. La actividad enzimática fosfatasa fue menor en las coberturas agrícola y ganadera que en el acahual y el bosque primario, dada una probable inhibición por producto en los sitios agrícolas, altamente fertilizados; y la pérdida de la estructura del suelo. La disponibilidad de nitrato fue mayor que la de amonio en las parcelas agrícolas y acahuales, mientras que en los sitios con ganadería o bosque primario la proporción fue opuesta, probablemente asociado a la fertilización en parcelas agrícolas, excretas en ganaderas y la sucesión. El mayor número de correlaciones significativamente positivas se encontró entre el contenido de humedad y los agregados de 0.25-1 mm, el porcentaje de arcillas, el pH, el nitrato y el amonio. Los agregados >1mm y 0.25-1 mm se relacionaron positivamente entre sí, al igual que la fracción de agregados >1 mm con la fosfatasa ácida y el amonio. El amonio, el porcentaje de arcillas y el nitrato también se relacionaron positivamente con los agregados de 0.25-1 mm. Las arcillas y el fósforo disponible aumentaron con el pH y la actividad enzimática con el amonio. Las únicas correlaciones significativamente negativas fueron entre el contenido de humedad y el porcentaje de arenas, entre éstas y el pH, y entre la densidad aparente y los agregados 0.25-1 mm. Los tres primeros componentes del Análisis de Componentes Principales, explicaron el 78.10% de la varianza entre sitios. En el primer componente resaltó de forma positiva el porcentaje de humedad y la fracción de agregados de 0.25-1mm. En el segundo componente los ortofosfatos y la actividad enzimática. En el tercero el porcentaje de limos. Los grupos de los sitios agrícolas y bosques primarios fueron los más homogéneos y más contrastantes entre sí en función de

las propiedades de suelo medidas. Los acahuales se agruparon en dos grupos, uno que incluía dos de los sitios de potrero con uno de selva; y en el otro grupo junto con un sitio agrícola. Esto refleja que los acahuales mostraron niveles de degradación intermedios, como estadios de transición, y también la mayor heterogeneidad entre sitios con la misma cobertura.

Estos resultados indican de manera general y contrario a lo esperado, que las parcelas con uso agrícola tuvieron la menor calidad del suelo, seguido del uso ganadero. Los sitios sucesionales fueron altamente variables dependiendo de su historia y algunos mostraron calidad del suelo parecida a la de los sitios en uso pecuario, mientras que en otros se encontraron valores incluso superiores a los del bosque conservados. Esto sugiere que la agregación, las fracciones texturales del suelo, el P disponible y la actividad fosfatasa, son buenos indicadores de la calidad del suelo en este ecosistema que reflejan los cambios de manejo agropecuario o de cobertura vegetal. Estas variables resultan, por lo tanto, importantes de monitorear para evaluar el mantenimiento de las funciones ecosistémicas del suelo bajo sistemas productivos y procesos sucesionales.

ABSTRACT

The aim of this work was to assess and analyze the impact of land management for agriculture and ranching on the edaphic properties of a Tropical Dry Forest ecosystem. Four zones with similar environmental factors and land use history, containing at least three of the four land covers to evaluate: agriculture, cattle-ranching and successional (“acahual”) were selected; the fourth land cover was primary forest, used as a reference for natural soil quality in the absence of management. A plot of 900 m², was marked at each study site and nine soil samples were taken, which were latter pooled into three composite samples. The variables which comprehend attributes such as productivity, stability and resilience, were: moisture content, pH, ammonium, nitrate, total available nitrogen, ammonium and available nitrate quotient, orthophosphates concentration, and the acid phosphatase enzymatic activity. Bulk density and sand-free water stable aggregates were measured from three intact cores taken separately from the other samples. Soil texture was determined from a single composite sample from each site.

Differences between land covers were explored through univariate, bivariate and multivariate statistic analyses. Soil quality was inferred according to the variable values, their integration and their similitude whit primary forest. More stable aggregates in both fractions in primary forest than in agricultural sites were found, probably associated to aggregate fine particles loss, organic matter depletion, and aggregates fragmentation due to tillage and trampling. Acid phosphatase enzymatic activity was lower under agriculture and pasture management than in successional and primary forest sites, probably due to product inhibition in agriculture sites, highly fertilized; and loss of soil structure. Agricultural and successional sites showed more nitrate than ammonium availability, whereas primary forests and pastures showed more ammonium availability than nitrate, possibly because of fertilization in agriculture sites, excreta and succession. There were positive significant correlations between the moisture content and 0.25-1 mm aggregates, clay, pH, nitrates and

ammonium. Both fractions of stable aggregates were correlated each other, as well as the aggregates fraction > 1mm with ammonium and acid phosphatase enzymatic activity. In the same way 0.25-1 mm aggregates were positively correlated with clay, ammonium and nitrate. Clay and orthophosphate increased with pH, and phosphatase activity with ammonium. The negative relations found were between moisture content and sand, sand and pH, and between bulk density and the 0.25-1 mm stable aggregates. The first three components of the Principal Component Analysis explained 78.10% of the variance between sites. The moisture percentage and 0.25-1mm aggregates fraction were important in the first component; in the second one, orthophosphates and phosphatase, and in the third component, silt. Agricultural and primary forest sites formed the most homogeneous groups and the most contrasting land covers based on the soil properties measured. The successional plots were placed in two groups, in one of them with two of the pasture sites, and one primary forest site, and in the other with an agricultural site. This reflects that the successional sites showed intermediate degradation, as transitional stages, as well as the greatest heterogeneity between sites with the same land cover.

These results indicated in general, and opposite to the expected, that the agricultural sites were the most degraded, followed by the pastures. Successional sites were highly management-history dependent, and while some of them showed similar values to agricultural and pasture sites, others were even higher than in the preserved forest. This suggests that particle size, aggregation, and available P and phosphatase, are good indicator variables of soil quality in this ecosystem that respond to management and vegetation changes. These variables are, therefore, important to monitor, in order to assess the maintenance of soil ecosystem functions under productive systems and successional processes.

1 Introducción

1.1 El papel del suelo en el ecosistema.

Como parte de los ecosistemas terrestres, los suelos proporcionan importantes servicios ecosistémicos, tales como: (1) el soporte y suministro de nutrimentos a las plantas (de ahí que la degradación del suelo esté considerada como el mayor problema ambiental que amenaza la producción mundial de alimentos) (PNUMA, 2000); (2) el medio donde se realiza una parte importante de los ciclos biogeoquímicos, necesarios para el reciclaje de los compuestos orgánicos (Cram *et al.*, 2007); (3) captación de agua, que permite la recarga de los acuíferos; (3) regulación, retención y amortiguamiento de contaminantes que influyen tanto en la calidad del agua, impidiéndoles llegar a las reservas (Brady y Weil, 1999) como del aire; (4) regulación de la erosión y (5) mitigación y prevención de enfermedades y plagas en las plantas y captura de bióxido de carbono (Cram *et al.*, 2007).

1.2 El cambio de uso de suelo.

La transformación que sufren hoy en día los ecosistemas naturales, se refleja en el incremento de las tierras con usos agrícola y pecuario para satisfacer la demanda de una población creciente. Esto ha ocasionado por un lado, una drástica disminución de la cobertura forestal del país (Trejo y Dirzo, 2000) y por otro, por la baja productividad en algunas de ellas, el semi abandono de algunas áreas que se convierten en los llamados acahuales, donde ocurren procesos de regeneración natural que algunas veces se combinan con el pastoreo ocasional y la extracción de varas y leña (Rendón-Carmona *et al.*, 2009; Murguía-Flores, 2012). Tal es el caso del ecosistema del bosque tropical seco (BTS) de México, cuyas coberturas dominantes actualmente corresponden a parcelas para uso agrícola y de ganadería extensiva, mientras que la vegetación primaria se encuentra concentrada en las áreas protegidas (Gutiérrez, 1993; Rodríguez, 1999).

En México el BTS se distribuye en la costa del Pacífico, desde el sur de Sonora y suroeste de Chihuahua hasta Chiapas. En México, 73% de este ecosistema ha sido alterado, degradado o convertido a tierras de cultivo o pastoreo (Trejo y Dirzo, 2000), y sólo el 0.2% se encuentra bajo protección (Portillo-Quintero y Sánchez-Azofeifa, 2010).

1.3 El cambio de uso de suelo en el municipio de La Huerta en la costa de Jalisco.

La reserva de la Biósfera Chamela-Cuixmala, que se encuentra dentro del municipio, está dedicada a la investigación y conservación de la naturaleza, sin embargo en la zona de influencia existen asentamientos humanos organizados en ejidos, que en las últimas tres décadas, han clareado extensas áreas de Bosque Tropical Seco (De Ita-Martínez, 1983; Gutiérrez, 1993). No obstante, los primeros registros de transformación de los ecosistemas se remontan a 1859 (Castillo et al., 2005).

La sobreexplotación de las parcelas productivas y jóvenes, provoca la pérdida de su fertilidad e incentiva el clareo de más vegetación. En la llanura de Chamela, las áreas deforestadas corresponden del 16 al 17% del bioma. A medida que incrementa la distancia a la reserva, el número de fragmentos del BTS también lo hace, mientras que el tamaño de los mismos disminuye, a causa de las actividades productivas (Sánchez-Azofeifa et al., 2009).

Si bien la reserva de la biósfera se encuentra rodeada por un bosque casi continuo, con la tasa de 1.4% de deforestación anual (Trejo y Dirzo, 2000), la reserva podría transformarse en una isla en menos de 50 años (Sánchez-Azofeifa et al., 2009). Los lugareños y vecindados (trabajadores no locales) reconocen los servicios ambientales, como beneficios económicos por la transformación del BTC a agricultura y pastizales, fertilidad del suelo, clima fresco, sombra, y especies de plantas y animales para consumo (Castillo et al., 2005). Sin embargo, la transformación continúa porque las actividades agropecuarias son parte del sostén económico de la población y el manejo no siempre adecuado de las zonas abiertas también se mantiene por la falta de conocimiento y asesoría, para apoyar a los productores y para el establecimiento de políticas de conservación.

1.4 Usos de suelo y coberturas predominantes.

1.4.1 Agrícola.

El estado de Jalisco ha ocupado el primer lugar en superficie sembrada desde el 2008. Y el municipio de La Huerta ha aportado en los últimos 5 años, 2.7% de su superficie para fines

agrícolas, que representa en promedio el sexto lugar del estado. Se caracteriza por la producción de pastos, maíz de grano, sorgo forrajero verde y mango (SIAP, 2012).

Como resultado del mal manejo, las actividades agrícolas están asociadas a la degradación química del suelo, observándose declinación de la fertilidad y reducción del contenido de materia orgánica. Al disminuir la productividad se genera un balance negativo de nutrimentos y materia orgánica entre las salidas, representadas por los productos de las cosechas, de las quemadas, las lixiviaciones, etc.; y las entradas, entendidas como la fertilización, el estercolamiento, la conservación de los residuos de cosecha y los depósitos de sedimentos fértiles (SEMARNAT-Colpos, 2003).

Además de afectar la química del suelo, los cultivos afectan la estructura (Kremer y Li, 2003; Udawata et al., 2008; Paudel et al., 2011) reducen la actividad biológica (B glucosidasa, B glucosaminidasa, dehidrogenasa) (Paudel et al., 2011) y el contenido de C y N de la biomasa microbiana, debido a la reducción de macroagregados que proveen un importante microhábitat para dicha actividad (Dick, 1992).

En sistemas con prácticas de labranza fuertes, se ha visto un decremento en el contenido de carbono orgánico del suelo y almacenes de N (Ouyag et al., 2013), en especial después de tres años de cultivo (Jaiyeoba, 2003). En sistemas con cultivo de arroz en China, y bajo diferentes intensidades de laboreo en el mismo cultivo en India, se ha encontrado disminución de la materia orgánica y disponibilidad de N y K al compararlo con los bosques y zonas húmedas (Ouyan et al., 2013); y sistemas sin labranza, respectivamente (Das *et al.*, 2014).

La mejora en estos sistemas se relaciona con: a) un sistema sin labranza que incrementa la concentración de nutrientes (SOC y NT) (Paudel et al., 2011), materia orgánica en la superficie del suelo (Dick y Daniel, 1987) y actividad enzimática en sistemas sin labrar de los 0 a 10 cm de profundidad (Klein y Kothe, 1980; Doran, 1980; Dick, 1984), aunque también hay estudios en los que no se han reportado diferencias en el potencial de mineralización, respiración ni biomasa microbiana (Haris et al., 1983).

b) Enmiendas del suelo y rotación de cultivos, que pueden ser más importantes en el mantenimiento de la actividad (Acosta-Martínez et al., 2003) y biomasa microbiana, que la labranza de conservación (McGillet al., 1986). A su vez, se ha visto que la rotación de cultivos propicia la disminución de *Fusarium*, género asociado con enfermedades en las plantas (Martyniuk y Wagner, 1978) y de rizobacterias deletéreas (Fredrickson y Elliot, 1985) y

c) Incremento en la fertilización, que aumenta la actividad microbiana asociada a la biomasa del suelo, aunque también se ha encontrado que la aplicación de fertilizantes inorgánicos suprime la actividad de algunas enzimas que participan en los ciclos de nutrientes, como la arilsulfatasa y fosfatasa (Dick et al., 1984).

1.4.2 Ganadero.

El estado de Jalisco ha ocupado el segundo lugar desde el 2008 al 2012 y ha aportado el 10.87% del tonelaje de ganado bovino en pie promedio a nivel nacional, mientras que La Huerta ha ocupado el lugar 32, con el 1.14% del aporte del estado (SIAP, 2012). La producción pecuaria depende de la transformación de ecosistemas en pastizales, de la cría de animales en encierros, campos de cultivo, del pastoreo en ecosistemas naturales, además de la selección de variedades y la manipulación genética (Wood et al. 2005).

Hoy en día la transformación ganadera es el principal factor asociado al cambio de uso del suelo del país (SEMARNAT Y PNUD 2005). El excesivo pastoreo ha influido negativamente en las comunidades vegetales y el hábitat de la fauna silvestre. Los cálculos actuales indican que 70% de los 114 millones de hectáreas de terrenos empleados para uso agropecuario se encuentran seriamente dañadas por la propagación de malezas, pérdida de suelo, fragmentación del hábitat, pérdida de especies y la capacidad cada vez más limitada del suelo para retener agua (Anta *et al.*, 2008).

Asociados al establecimiento y manejo de potreros, se ha reportado una menor actividad enzimática de la fosfatasa ácida y al fósforo como un posible recurso limitante (Sandoval et al., 2009). En pasturas cultivadas también se ha observado un decremento en los biomarcadores de hongos totales, ácidos grasos metil ester, el ratio de hongos:bacterias,

probablemente por el bajo retorno de biomasa dado el monocultivo, sobrepastoreo y disturbio físico del suelo por maquinaria agrícola, que destruye las hifas del suelo (Meriles *et al.* 2009). Por otro lado, se ha visto que bajo sistemas intensivos silvopastoriles (tipos de sistemas agroforestales caracterizados por tener pastos, arbustos forrajeros a densidades de >10,000 plantas ha⁻¹, y árboles maderables), la abundancia de biomarcadores fungales aumenta, al igual que la biomasa fungal, alcanzando valores cercanos a suelos de bosque tropical seco (Vallejo *et al.*, 2012). Del mismo modo, para generar sistemas de pasturas, y como resultado de prácticas como la roza y quema, se ha reportado la pérdida del 62 al 80% de total de biomasa sobre el suelo, y del 63 al 75% en pasturas (Kauffman *et al.*, 2003), que a su vez parecen disminuir la estabilidad de los agregados, reduciéndola para macroagregados en un 35%; y disminución de hasta el 60% del nitrógeno inorgánico disponible (García-Oliva *et al.*, 2006).

También se ha reportado que las concentraciones de N y P cambian en función de la estacionalidad dada la acumulación de la mayoría de los nutrientes durante la temporada de secas (Campo y Maass, 1995), definiendo un estado hídrico dependiente en el ciclaje de nutrientes (Singh y Kashyap, 2004).

1.4.3 Acahual.

En México, la vegetación en estado relativamente bien conservado (vegetación primaria) actualmente es de 95.82 millones de hectáreas, mientras que la que se encuentra en diversos estados secundarios suma 42.15 millones hectáreas; el resto del país corresponde a conglomerados urbanos de diversos tamaños, zonas de agricultura, cuerpos de agua o terrenos sin vegetación aparente. La selva baja caducifolia representa sólo el 3.3% de la superficie del país en estado primario, mientras la del estado secundario es 3.9% que corresponde a 7.85 millones de hectáreas (Challenger y Soberón, 2008).

La recuperación en estos ecosistemas se asocia a una combinación de factores que incluyen su estructura relativamente simple (comparada con los bosques tropicales húmedos), cuyo tiempo necesario para alcanzar valores similares de estructura y densidad arbórea en bosques maduros es de 40 a 60 años (Leiva *et al.*, 2009); semillas dispersadas principalmente por el viento y árboles que pueden rebrotar tras un disturbio. La

acumulación de biomasa en estos ecosistemas está en función de la edad, y la precipitación anual media (Becknell *et al.*, 2012). Al respecto de la edad, estudios han mostrado que la biomasa incrementa en el tiempo, pero a una menor tasa conforme el bosque alcanza un estado estable (Brown y Lugo, 1990; Pregitzer y Euskirchen, 2004).

Los acahuales en sus fases maduras pueden funcionar como reservorio de algunas especies nativas, e incluso permitir el paso de algunos organismos al mantener la conectividad con los fragmentos de bosque maduro, amortiguando así el efecto de la fragmentación (Lovejoy *et al.*, 1983; Fahrig y Merriam, 1985; Janzen, 1986; Bierregaard *et al.*, 1992; Kellman, 1996). Sin embargo en la actualidad, mientras que los períodos de cultivo se han alargado, los de descanso se han reducido a pocos años limitando el desarrollo de vegetación secundaria leñosa y la renovación de nutrientes del suelo, perdiendo así su función en el sistema (Levy- Tacher, 2000; Ochoa-Gaona y González-Espinosa, 2000).

La vegetación secundaria derivada de la agricultura tradicional puede jugar un papel importante en la conservación de la diversidad biológica, pues su flora comprende una gran variedad de especies, que van desde las ruderales con distribución cosmopolita, hasta las de vegetación primaria. Así mismo, muchas familias tienen una gran riqueza de especies tropicales, subtropicales y de vegetación secundaria, como Asteraceae, Poaceae, Euphorbiaceae y Piperaceae. Considerando que las regiones tropicales de México están integradas por mosaicos de comunidades secundarias que reflejan diferentes grados de disturbio (Rzedowski, 1978), los acahuales se han convertido en la principal fuente de recursos para las comunidades humanas y animales (Romero, 2000).

1.4.4 La selva baja caducifolia y el ecosistema de bosque tropical seco.

Se encuentran en zonas con clima cálido y una marcada estacionalidad en la precipitación en seis meses o menos (Rzedowski y Rzeowski, 2013). La cobertura vegetal más común en los ecosistemas de bosque tropical seco es la selva baja caducifolia, que predomina en los lomeríos bajos. En las zonas de acumulación de agua de los lomeríos predomina la selva mediana subcaducifolia y en las planicies los matorrales espinosos. Se caracteriza porque casi todos los árboles (más del 95%) pierden sus hojas durante la temporada seca, pero no

todas las especies las pierden simultáneamente (Rzedowski, 1978; Bullock y Solís-Magallanes, 1995). Con el inicio de la temporada de lluvias, el retoño y la expansión foliar ocurren en casi todas las especies de árboles del dosel. Dado que se trata de vegetación caducifolia de estatura generalmente baja, el microclima del suelo de la selva está sujeto a grandes fluctuaciones estacionales de radiación solar, que va desde las sombras proyectadas por el dosel completamente cubierto de follaje durante la temporada de lluvias (equivalente a selvas medianas y altas perennifolias) hasta cerca del 50% de la radiación solar total bajo los árboles defoliados durante la temporada de sequía (Maass *et al.*, 1994).

1.5 Evaluación de la degradación de los suelos.

De acuerdo al análisis del estado de la degradación del suelo inducida por el hombre, GLASOD por sus siglas en inglés, (SEMARNAT y Colpos., 2003), 45.2% de la superficie nacional está afectada por algún grado de degradación del suelo. El principal tipo de degradación de suelo en nuestro país corresponde a la degradación química (39.7%), en particular la que se expresa por la pérdida de materia orgánica y fertilidad. Siguen en orden de magnitud la erosión hídrica (26.1%) y eólica (21.0%), expresadas en la pérdida de suelo superficial; y la degradación física (13.2%), caracterizada por la compactación del suelo. Las causantes principales de estos porcentajes, están ligadas a las actividades agrícolas (38.7%) y la deforestación (38.4%) a su vez relacionada con el desarrollo de actividades pecuarias.

El manejo inadecuado va ligado a la degradación de los suelos. Para poder discernir el nivel de degradación, y determinar si el sistema de manejo es sustentable a corto y largo plazo, se considera la calidad del suelo (Doran y Parkin, 1994).

1.6 La calidad del suelo.

La calidad del suelo es un concepto funcional que refleja los cambios en las características edáficas de puntos críticos, en los atributos de productividad (capacidad productiva sin comprometer sus propiedades físicas, químicas y biológicas), estabilidad y resiliencia (capacidad de obtención de beneficios del sistema de forma continua, para la que es

importante la capacidad de amortiguamiento de cambios ambientales, que permiten a su vez retornar a su estado original de equilibrio), y de la capacidad del suelo de proveer beneficios a la salud (produciendo alimentos sanos y nutritivos para los seres humanos y otros organismos (Arshand y Coen, 1992; Parr *et al.*, 1992; Doran y Parkin, 1994; Astier *et al.*, 2002). La selección de los indicadores que construyen la noción de calidad del suelo es compleja, en tanto que cada circunstancia ecosistémica o agroecosistémica responde a condiciones muy particulares (tipo de suelo, problemas ambientales, sistemas de manejo, escalas de tiempo y espacio, inclusive enfoques de investigación) (Astier *et al.*, 2002).

1.6.1 Indicadores de la calidad del suelo.

El indicador de acuerdo a Doran y Parkin (1994) debe integrar propiedades y procesos físicos, químicos y biológicos del suelo, ser accesible a los diferentes usuarios y aplicable en diversas condiciones de campo. También debe ser sensible a las variaciones de manejo y de clima (Astier *et al.*, 2002), para así dar información de los atributos de sustentabilidad como la productividad, estabilidad, o resiliencia, así como de los puntos críticos identificados para cada atributo. La elección de los indicadores se deriva en el momento del estudio y para cada sistema en particular (Masera *et al.*, 1999) con el objetivo de considerar los indicadores físicos, químicos y biológicos que aporten mayor información en cada contexto ecológico (Larson y Pierce, 1991; Doran y Parkin, 1994; Seybold *et al.*, 1997).

1.6.2 Antecedentes de la evaluación de la calidad del suelo.

Astier *et al.*, (2002), en un sistema de maíz cultivado con abonos verdes en Casas Blancas, Michoacán, para el atributos productividad consideraron los puntos críticos de: 1) bajo rendimiento de grano, para el cuál evaluaron el rendimiento; 2) disponibilidad de N y P, para el que consideraron nivel de P, N y mineralización; y 3) plagas de insectos rizófagos en maíz, para el que muestrearon larvas de rizósfera.

Por otro lado en un sistema silvopastoril mejorado ubicado en la zona de estudio, se consideraron para la productividad: 1) el nivel adecuado y calidad de pastos, medido con la cantidad y composición de pastos por familia y especie; y 2) el sobrepastoreo, medido por la capacidad de carga animal. En el mismo sistema, para los atributos de estabilidad y

resiliencia, los puntos críticos fueron: 1) el deterioro de las propiedades físicas del suelo, medido por compactación, tasa de infiltración y grado de encostramiento; así como 2) la elevada erosión y escorrentía, medido por el nivel de erosión, naturaleza de la escorrentía y cobertura del suelo.

En un sistema agrícola intensivo mejorado en el Batán, Edo de México, con alta densidad aparente (1.4 g cm^{-3}) atribuida al uso intensivo de energía mecánica en la preparación del suelo y al continuo uso de maquinaria durante más de 20 años; exceso de humedad en el perfil en épocas críticas para el desarrollo de algunos cultivos e inadecuada aireación radical; los puntos críticos, para la productividad fueron: 1) la disminución del rendimiento del grano, evaluado con el rendimiento del mismo; para la estabilidad y resiliencia, se consideraron: 1) el deterioro en las propiedades físicas del suelo, evaluadas con el grado de compactación del suelo, humedad, estabilidad de agregados e incidencia de *Pythium* spp. Así como 2) la disminución de la disponibilidad de micronutrientes, evaluada con el nivel de micronutrientes y la medición de C orgánico.

A su vez, Bhardwaj A. *et al.* (2010) consideraron la evaluación en la calidad del suelo en plantaciones agrícolas de 20 años con diferentes modalidades de labranza y aporte de fertilizantes y obtuvieron diferencias significativas en los tratamientos a partir de los indicadores: concentración del C en el horizonte A, pH, amonio, nitratos, Mg^2 , densidad aparente y proporción de estabilidad de agregados del suelo. Esta última variable y la concentración de C en suelo reflejaron una mayor estabilidad en el sistema.

En su análisis de discriminantes lineales, Brejda *et al.* (2000) encontraron que los mejores indicadores para evaluar la calidad del suelo a una escala regional, de entre 20 de sus propiedades, destacaron el carbono total y los agregados estables en agua. Por otro lado, Murguía-Flores (2012), encontró que en la evaluación de la calidad del suelo bajo diferentes manejos de la cobertura vegetal en Chamela, las variables de respuesta a los cambios de cobertura (tratamientos con leñosas, pastoreadas y no pastoreadas y sin leñosas) fueron la abundancia de los grupos funcionales de microorganismos, la actividad de la B-glucosidasa, invertasa, proteasa-caseína y los ortofosfatos, probablemente por el cambio en el aporte de material vegetal tras un año y medio de iniciados los tratamientos.

Considerando estos antecedentes de evaluaciones de la calidad del suelo, dentro de los parámetros que son empleados como referencia para determinar la calidad del suelo en función del manejo en el presente proyecto, se contemplaron las propiedades edáficas relacionadas con los atributos de estabilidad (agregados estables del suelo sin arenas, densidad aparente, pH y humedad) y de productividad (contenido de nitratos, amonio, el N disponible total y el cociente de amonio: nitrato, ortofosfatos y actividad biológica) en los sistemas de estudio.

2 Justificación.

El estado de las funciones y los servicios ecosistémicos del suelo que brindan las áreas con diferentes coberturas y tipos de manejo del Bosque Tropical Seco en la costa de Jalisco es prácticamente desconocido (Maass *et al.*, 2005, Castillo *et al.*, 2009). Dentro de ellos se encuentra el servicio de regulación de la calidad del suelo, que a su vez provee de otros servicios como la productividad, el control de la erosión, la regulación del clima, la circulación del agua y el almacenamiento de carbono. El conocimiento del estado de la calidad del suelo, componente central de los agroecosistemas (ecosistemas transformados para obtener productos animales, agrícolas y forestales) (Astier *et al.*, 2002), de la productividad y de la conservación de la fertilidad, se consideran un denominador común entre los elementos estratégicos para alcanzar la sustentabilidad de ecosistemas productivos (Conway, 1994). Por lo anterior y dado el manejo en la zona de estudio, se fundamenta el objetivo de este trabajo: Realizar un diagnóstico de la calidad del suelo y su funcionamiento a partir de indicadores físicos, químicos y biológicos, para identificar los impactos generados por el tipo de uso del suelo. Una segunda fase, estaría ligada a la búsqueda de las técnicas o estrategias adecuadas al tipo de suelo de la región, que detengan la degradación y en el mejor de los casos la reviertan, permitiendo encaminar el aprovechamiento del suelo hacia un sistema autosustentable.

3 Objetivo general

Evaluar el impacto en las propiedades del suelo de uso agrícola, el manejo pecuario y el semiabandono con predominancia de vegetación secundaria (acahual) de modo transversal, a través de su comparación y usando como referencia la vegetación primaria sin manejo.

3.1 Objetivos particulares

Evaluar las características físicas, químicas y biológicas del suelo bajo coberturas agrícola, ganadera, sucesional y bosque primario a profundidades de 10 cm.

Interpretar la información recopilada de manejo y los resultados analizados estadísticamente (análisis univariados, bivariados y multivariados), para evaluar integralmente la calidad del suelo e identificar las mejores variables indicadoras del impacto del manejo en las propiedades del suelo.

4 Hipótesis

Considerando 1) al acahual como una fase de sucesión secundaria con algunas características similares a la vegetación primaria, 2) a la parcela agrícola como un sitio de cultivo constante sujeto a degradación física por el uso del tractor, pero que puede ser fertilizada, y 3) al potrero como un sitio sujeto a un alto grado de compactación y poco aporte nutricional al suelo debido al pastoreo, se esperaría encontrar un gradiente de calidad de suelo en función de su cobertura, en orden ascendente: Potrero < Uso de suelo agrícola < Vegetación secundaria < Vegetación primaria

Específicamente en función de variables físicas, químicas y biológicas, se esperaría:

Variables físicas:

- *Densidad aparente*. Para las parcelas agrícolas y las de uso pecuario una densidad aparente de media a alta ($>1.2 \text{ g cm}^{-3}$), y mayor a los sitios con vegetación secundaria o primaria, asociada a la presión del tractor y del pisoteo del ganado respectivamente.
- Una densidad aparente de $0.8-1.2 \text{ g cm}^{-3}$ para la selva de acuerdo a lo reportado en la literatura, y un valor muy aproximado para el acahual dado su estado de sucesión (20 años en promedio)

- *Porcentaje de humedad.* Valores más elevados para la selva y acahual considerando una menor exposición del suelo por efecto del dosel y mayor retención por la misma cobertura.
- *Agregados estables en agua sin arenas.* Dada la actividad biológica, protección del dosel, y ausencia de manejo, se esperaría encontrar los valores más elevados en la selva y el acahual. Considerando el efecto del tractor y el pisoteo del ganado se espera encontrar los menores valores en uso agrícola y pecuario.

Variables químicas:

- *pH.* Encontrar valores entre 6.5 y 7 para la Selva Baja Caducifolia de acuerdo a lo reportado en la literatura. Valores neutros en el uso pecuario provocados por un lado, por la acidificación como resultado de la precipitación, y por otro lado, por el posible efecto alcalinizante de la quema generalizada para los sitios de estudio cada dos años.
- *Formas disponibles de nitratos, amonio y ortofosfatos.* Dada la constante fertilización en parcelas de uso agrícola y mayor actividad enzimática en el acahual y la selva, se esperaría encontrar los valores más altos para estos usos

Variable biológica:

- *Actividad enzimática de la fosfatasa ácida.* Una muy baja actividad en parcelas de uso agrícola por una alta concentración de fósforo disponible (retroalimentación negativa de la enzima). Una baja actividad en uso pecuario por un bajo aporte de P orgánico del sistema y su exposición al estrés de condiciones ambientales (insuficiente sustrato= poco P orgánico). Valores altos para el acahual y la selva dada la alta cantidad de humedad y sustrato.

5 Método

5.1 Zona de estudio.

El municipio de la Huerta se ubica en la región Costa Sur del estado de Jalisco, región hidrológica RH15 y provincia fisiográfica XII “Sierra Madre del Sur” que comprende sierras altas, el valle de la Huerta, la llanura de Chamela y otras con suelo salino e inundable. Presenta una superficie de 1,749.1 km², misma en la que se encuentran los ejidos Emiliano Zapata, San Mateo, Punta Pérula, así como la Reserva de la Biosfera Chamela-Cuixmala (RBCC). Esta última cuenta con 12, 142 ha y está localizada en la cuenca del río Cuixmala (Gomez-Pompa *et al.*, 1995). La temperatura media anual es de 24°C con variación de 4.3°C (García-Oliva *et al.*, 2002). El clima es cálido-subhúmedo, con una precipitación promedio anual de 741 mm (1983-2002) y una marcada estacionalidad, con periodos de lluvias (junio-octubre), que concentran en el 80% de la precipitación entre agosto y octubre (García-Oliva *et al.*, 2002).

Existen tres formas de relieve a nivel regional: a) la Sierra, extendida entre 2,400 a 1,000 m.s.n.m, y caracterizada por rocas ígneas intrusivas (batolito) emergidas en el Jurásico y Cretácico y constituidas por granitos, grandioritas (Shaaf, 1997), rocas calcáreas y riolitas (CONABIO, 1995). Algunas geoformas importantes son las superficies cumbrales sobre granito, las superficies cumbrales con cubierta conglomerítica sobre granito y las laderas ubicadas sobre el Cerro Maderas (Cotler *et al.*, 2002). Predominan el Lixosol háplico, Regosoles, Cambisoles, Litosoles, Faeozems (SPP, 1981), Acrisoles y Ferralsoles la vegetación consiste en selva baja caducifolia, bosques de pino-encino y bosques de encino (Cotler *et al.*, 2002); b) los Lomeríos extendidos entre 1,000 y 200 m.s.n.m., con litología de rocas extrusivas félsicas e intermedias del Terciario y rocas intrusivas félsicas del Cretácico. Predominan geoformas como laderas convexas sobre tobas y superficies cumbrales sobre tobas (Cotler *et al.*, 2002). Los órdenes de suelo dominantes son Regosoles, Faeozems, Cambisoles, Rendzinas y Litosoles (SPP, 1981), texturas franco arcillo arenosas, una vegetación dominante de selva baja caducifolia y media subcaducifolia (Cotler *et al.*, 2002) y; c) la zona Costerta que va desde los 200 m.s.n.m. hasta el nivel del mar, donde se presenta acreción sedimentaria por una dinámica fluvial intermitente y rocas extrusivas ácidas del Terciario y por conglomerados del Cuaternario.

En la planicie costera, se han desarrollado suelos de tipo Vertisol y Solonchank (Cotler *et al.*, 2002).

La reserva está diseñada para proteger entre otros a la selva caducifolia del occidente de México (CONABIO, 1995), caracterizada por la alta densidad de plantas en el sotobosque y dosel, y porque la mayoría de las plantas (95%) pierde las hojas durante la época de secas (Rzedowski, 1978). Algunas especies dominantes son el iguanero (*Caesalpinia eriostachys*), cuachalalate (*Amphypterigium adstringens*), cascalote (*Crescentia alata*) y nopal (*Opuntia excelsa*) (CONABIO, 1995). La reserva está dedicada a la investigación y conservación de la naturaleza, pero en la zona de influencia es posible encontrar extensas áreas dedicadas a agricultura de temporal y de riego, agricultura comercial, maíz de subsistencia, ganadería extensiva, pesca artesanal y de cooperativas, caza de tortuga en playas cercanas, caza de venados, jabalíes, iguanas y armadillos y actividades forestales que implican la extracción de maderas preciosas (Noguera, 1994).

Entre las actividades que se desarrollan en las parcelas agropecuarias están: clareo, remoción de vegetación (roza-tumba) y uso de fuego para la quema del material remanente, que puede llevarse a cabo de forma continua e intermitente (Murguía-Flores, 2012). También hay incorporación de nutrientes para los cultivos de maíz, sorgo y frijol (De Ita, 1986), introducción de especies de pasto no nativo empleado para la producción de ganado (Castillo *et al.*, 2005) tal como pasto guinea (*Panicum maximum* Jacq.), buffel (*Cenchrus ciliaris* L.) (Maass *et al.*, 2002) y estrella de África (*Cynodon nlemufensis*); agricultura de temporal, riego y comercial y maíz de subsistencia. En el uso ganadero, al comenzar la temporada seca se introduce ganado vacuno, mismo que se desplaza por todas las parcelas durante el año (Maass *et al.*, 2002). En esta región de ganadería extensiva, el ganado no se mantiene disperso, sino en grupos de 10-20 vacas y pasa temporadas de unos días o una semana en un potrero y después en otros, para regresar al mismo potrero semanas después cuando el crecimiento vegetal se ha recuperado.

En la costa sur de Jalisco, es común ver tres tipos de manejo de los sitios de pastoreo. Por un lado algunos propietarios mantienen ganado constantemente en las parcelas y realizan con frecuencia resiembras de pasto, chaponeos (corte de vegetación), aplicaciones

de herbicida y quemas, para detener la propagación de hierbas y plantas leñosas que desplazan a los pastos. Otros, al ir perdiendo productividad, mantienen los terrenos en un estado de semiabandono con introducciones irregulares de ganado, labores mínimas de chaponeo y quemas que cada cierto número de años clarean las parcelas para evitar que se enmonten (la vegetación nativa crezca demasiado) y se pierda por completo el pasto. Un tercer grupo de propietarios realmente abandona por completo las parcelas y puede no utilizarlas o utilizarlas esporádicamente para alimentar el ganado o para extraer varas o leña. Estos escenarios ocasionan interrupciones diferenciales en la regeneración natural de la vegetación en los sitios en semibandono o abandono (Murguía-Flores, 2012).

5.2 Diseño de muestreo.

El muestreo de suelos se realizó del 13 al 22 de julio de 2012 en cuatro zonas de ejidos. Cada zona anidó 3 sitios correspondientes a una cobertura diferente (agrícola, ganadera y sucesional). La vegetación primaria se consideró como la referencia y no siendo posible encontrar vegetación que se pudiera considerar primaria y sin manejo con más certeza, se tomaron muestras en 4 sitios de bosque primario al interior de la Reserva de la Biosfera Chamela Cuixmala (RBCC). Cada sitio se asoció al azar a cada zona en los ejidos. La identificación de las zonas y los sitios potenciales se realizó primero observando las coberturas a partir del software Google Earth. Se eligieron las zonas de los ejidos en Punta Pérula, Emiliano Zapata, San Mateo y Los Ranchitos, por ser lugares que contienen parcelas de acahual, de uso agrícola y pecuario y por encontrarse en los alrededores de la reserva. Para la selección de los sitios en cada zona, se elaboraron entrevistas con los propietarios considerando el tiempo de uso agrícola y ganadero; y tiempo de abandono en el caso del acahual, así como información concerniente al manejo de la parcela, i.e., para el uso agrícola: tipos de cultivos, uso y cantidad de fertilizantes y herbicidas empleados, así como el uso de tractor; para el uso ganadero: cabezas de ganado/ha, uso y cantidad de herbicidas y fertilizantes; y para ambos, prácticas adicionales (Imagen 1).

Se buscó reducir otras fuentes de variación, pero la heterogeneidad de los suelos, el microclima (inclusive dentro de la misma reserva) y las historias de manejo hacen imposible el contar con un grupo de parcelas que únicamente difieran en su cobertura vegetal. Estas diferencias adicionales deben ser tomadas en cuenta para los análisis y las interpretaciones.



Imagen 1. Zonas muestreadas en el Mpio. De La Huerta, Jalisco, Méx..

La información concerniente a cada uno de los sitios se resume en la tabla 1.

Tabla 1. Sitios de muestreo y características de las coberturas (agrícola, potrero y acahual), ND (no documentado).

Cobertura vegetal	Características	Zona 1: Punta Pérula (imagen 3)	Zona 2: Zapata (imagen 4 y 5)	Zona 3: San Mateo (imagen 6)	Zona 4: Ranchitos (imagen 7)
Potrero	Tiempo de uso (años)	27	16	35	40
	Extensión (ha)	7	9	0.5	16
	Uso anterior	Acahual	Acahual	Selva	ND
	Tipo de pasto	Estrella de África	Guinea	Buffel y Guinea	Guinea

	Ganado/ ha	4	3	2	4
	Resiembra	No	Si	No	Si
	Herbicida (ton/ha año ⁻¹)	0.001	0.001	Si	No
	Fertilizantes	No	No	No	No
	Prácticas adicionales	Quema c/2 años	Quema c/2 años	No	Quemas c/2 años
Agrícola	Tiempo de uso (años)	20	16.5	10	40
	Extensión (ha)	8.5	4	27	4
	Uso anterior	ND	Acahual	ND	ND
	Tipo de cultivo	jitomate, chile, ajonjolí, maíz y tomate	sorgo y maíz	sorgo, maíz y chile	tomate y maíz
	Riego	riego y temporal	Riego	Riego	riego y temporal
	Herbicida (ton/ha año ⁻¹)	No	0.001; 0.00025	No	No
	Fertilizante (ton/ha año ⁻¹)	0.5221	1.17	0.936	No
	Arado de tierra	Tractor	Tractor	Tractor	Tractor
	Prácticas adicionales	No	No	Incorporación de desechos	No
Acahual	Tiempo de abandono (años)	ND	8.5	30	18

Los sitios muestreados en la RBCC fueron en los senderos Tejón 1 (150 m) y 2 (2800 m), Búho (100 m) y Calandria (800 m) (Imagen2).

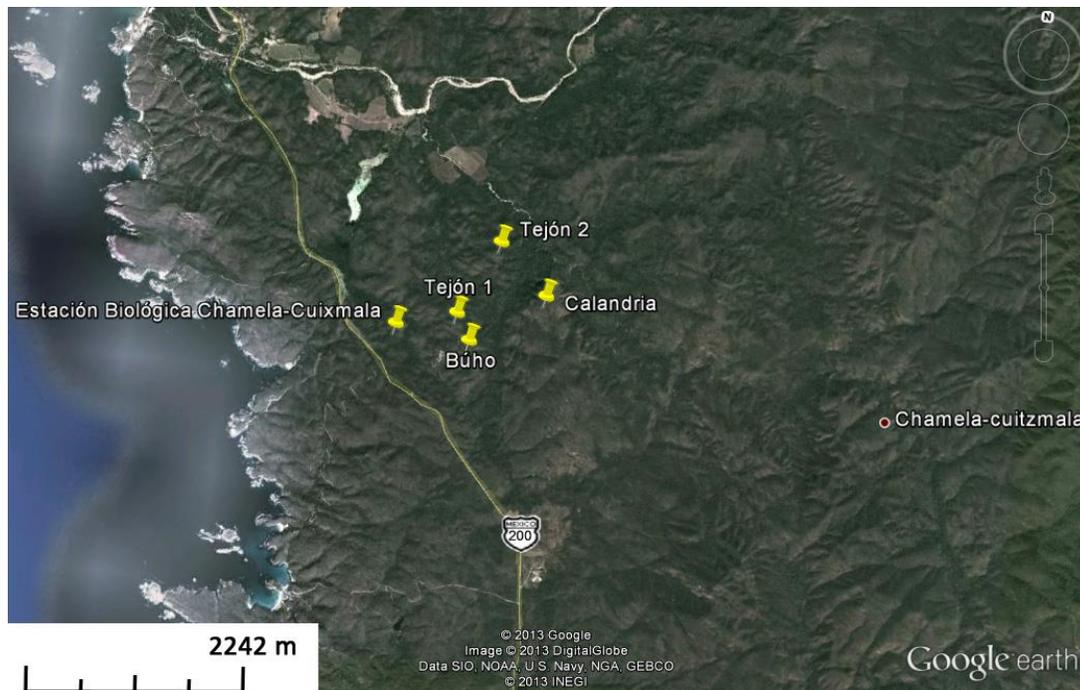


Imagen 2. Ubicación de los senderos en donde se muestreó la selva de la RBCC. Tejón 1 y 2, Búho y Calandria.

Las coordenadas de cada uno de los sitios muestreados se observa en la tabla 2.

Tabla 2. Coordenadas de todos los sitios muestreados en la Huerta, Jalisco, Méx.

Zona	Sitio	Latitud	Longitud
Punta Pérula	Agrícola	19°36'18.01"N	105° 7'35.00"O
	Potrero	19°36'12.59"N	105° 7'34.94"O
	Acahual	19°36'14.29"N	105° 7'37.48"O
Zapata	Agrícola	19°22'57.42"N	104°57'0.82"O
	Potrero	19°23'0.62"N	104°56'54.86"O
	Acahual	19°23'2.23"N	104°56'56.17"O
San Mateo	Agrícola	19°35'9.10"N	105° 5'32.20"O
	Potrero Estanque	19°33'48.30"N	105° 4'49.70"O
	Acahual	19°35'22.10"N	105° 5'17.80"O
Ranchitos	Agrícola	19°35'16.90"N	104°59'13.80"O
	Potrero	19°35'17.40"N	104°59'16.00"O
	Acahual Ranchitos de 8-12	19°35'32.60"N	105° 0'31.80"O
Tejón 2	Selva	19°30'33.90"N	105° 2'22.30"O
Tejón 1	Selva	19°30'6.10"N	105° 2'36.60"O
Búho	Selva	19°29'56.30"N	105° 2'30.80"O
Calandria	Selva	19°30'15.20"N	105° 2'2.60"O

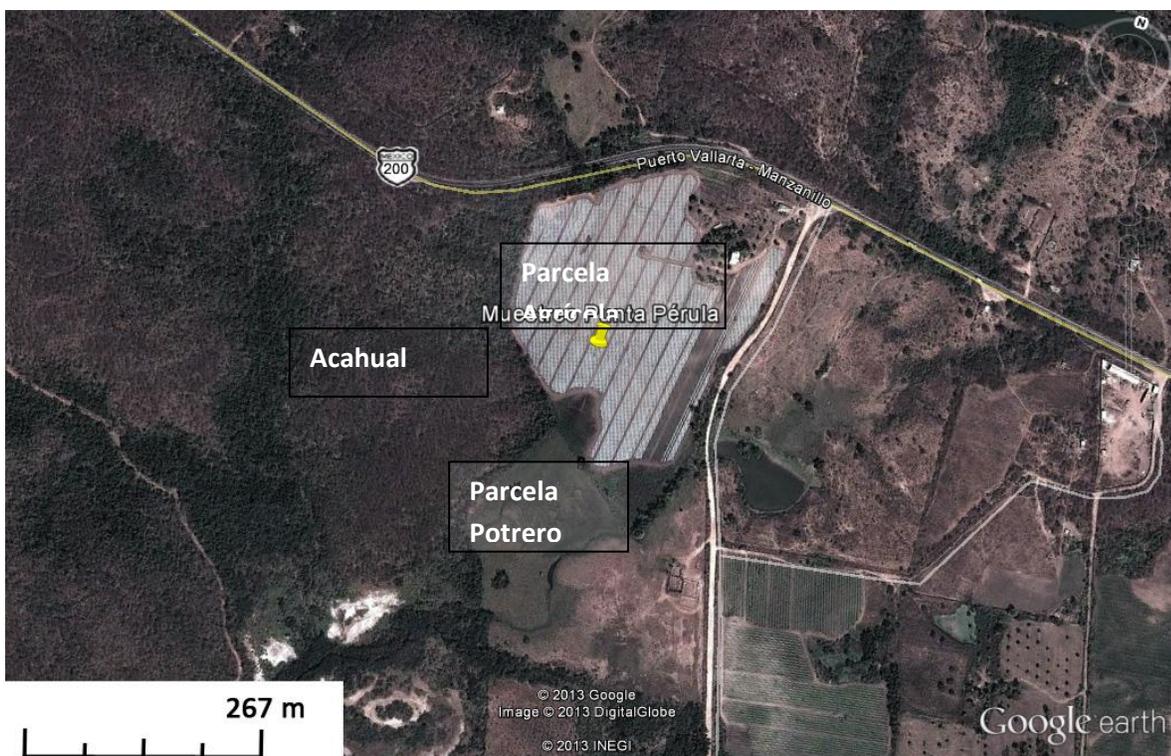


Imagen 3. Coberturas de suelo muestreadas en la zona 1 “Punta Pérula” Mpio. de la Huerta, Jalisco, Méx.

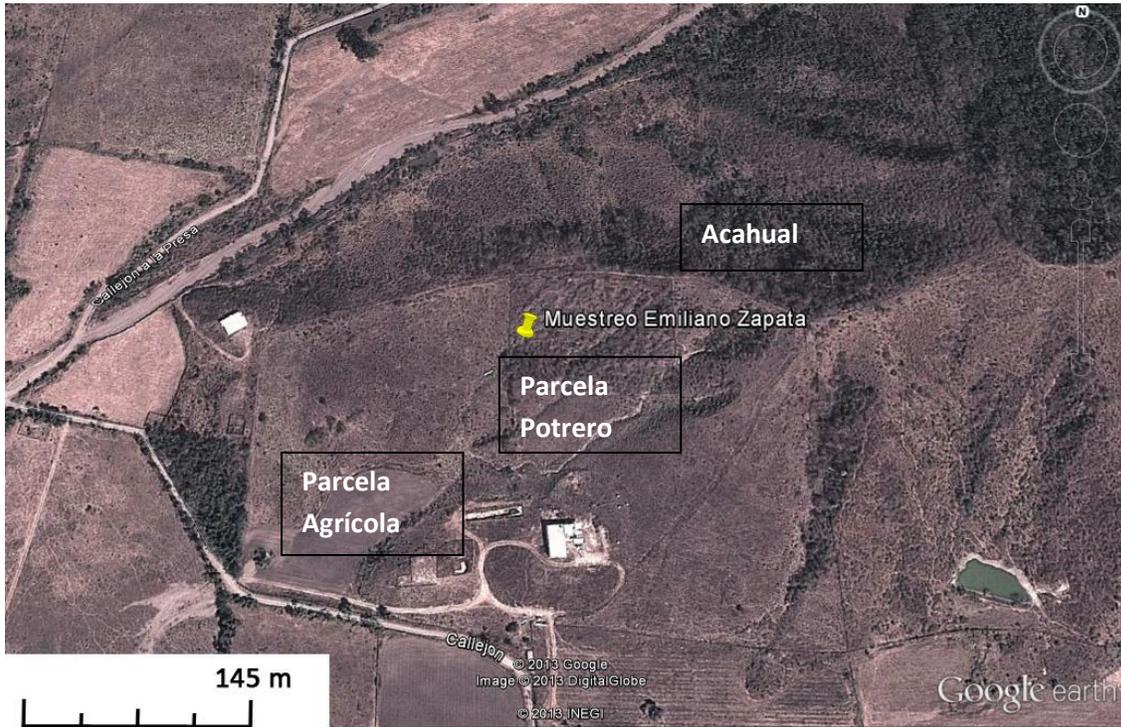


Imagen 4. Coberturas de suelo muestreadas en la zona 2 “Emiliano Zapata” Mpio. de la Huerta, Jalisco, Méx.



Imagen 5. Se observa la zona 2 “Emiliano Zapata” con diferentes coberturas.

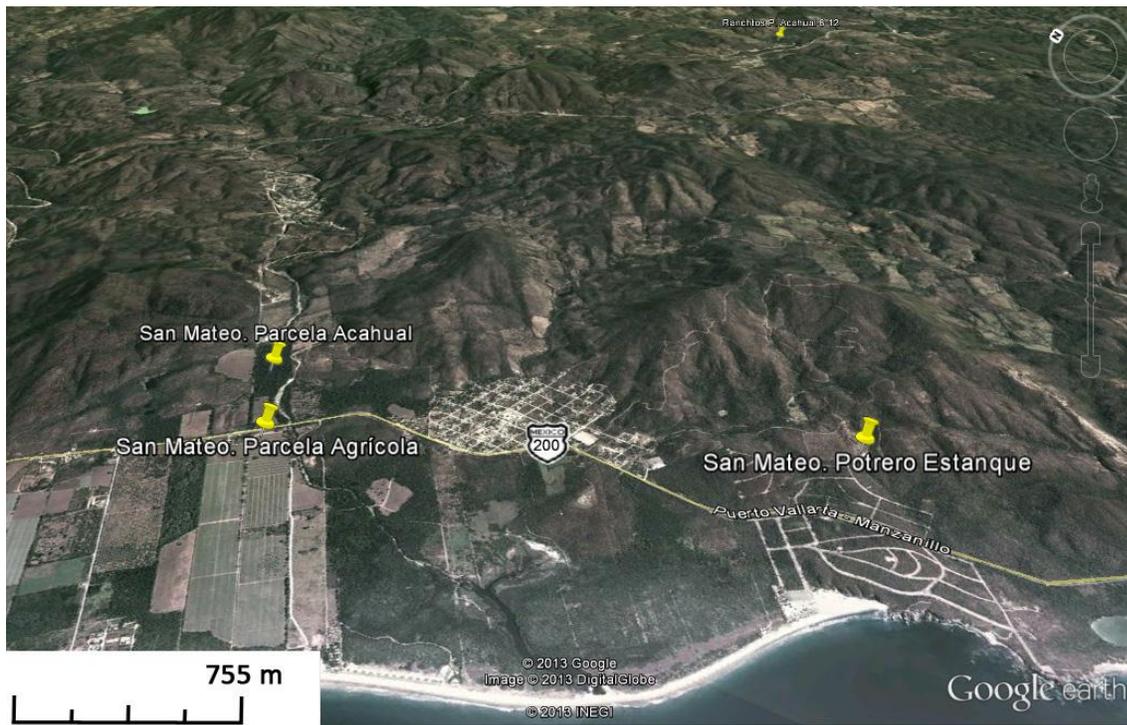


Imagen 6. Coberturas de suelo muestreadas en la zona zona 3 “San Mateo” Mpio. de la Huerta, Jalisco, Méx. (potrero ubicado a 2.8 km de distancia de las otras dos parcelas).



Imagen 7. Coberturas de suelo muestreadas en la zona 4 “Ranchitos” Mpio. de la Huerta, Jalisco, Méx. (acahual “Ranchitos 8-12” ubicado de 2.29 km de distancia de las otras dos parcelas).

En cada sitio se trazó una parcela de 30 x 30 m (900 m², que fue la superficie de la parcela más pequeña dentro de los sitios elegidos). Para obtener las muestras compuestas, cada parcela se dividió en 9 cuadros (Imagen 8), de los que se obtuvieron 3 submuestras compuestas a partir de 3 muestras simples (secciones 1-2-3, 4-5-6, 7-8-9), con un nucleador a 10 cm de profundidad. Del mismo modo se obtuvieron únicamente 3 muestras simples independientes (para reducir el tiempo de muestreo y de procesamiento posterior), tanto para densidad aparente como agregados tomadas de forma pareada en un punto dentro de cada bloque de la parcela (puntos 3, 5 y 7). Estas muestras se tomaron de manera independiente para conservarlas como núcleos intactos y se almacenaron en botes de plástico rígidos. La elección de los puntos de muestreo al interior de cada parcela se hizo a partir de un modelo de número aleatorios en Excel a modo de coordenadas con la selección de un punto aleatorio en el eje x y uno en el eje y para cada cuadro. Los puntos muestreados se mantuvieron en todas las parcelas (Figura 1, Tablas 3 y 4).

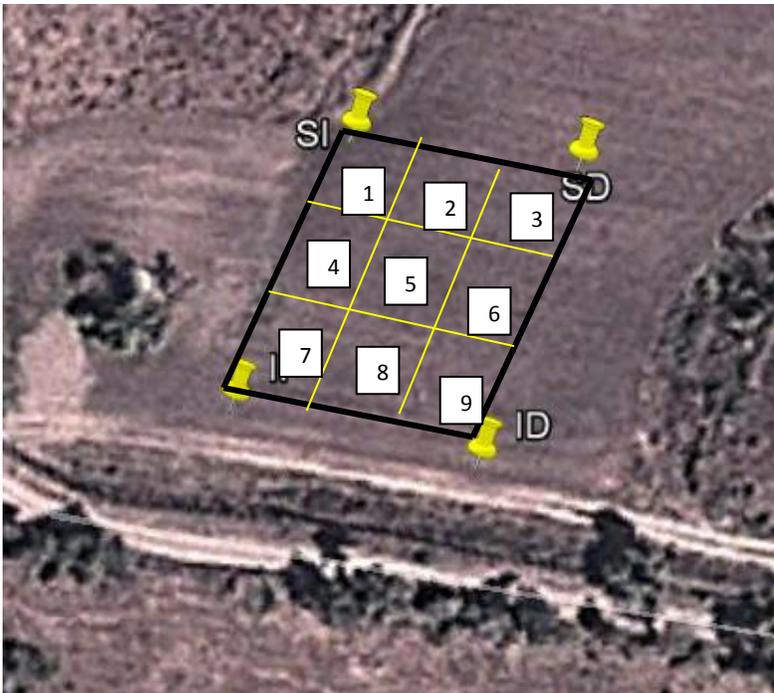


Imagen 8. Parcela agrícola del sitio 2: Emiliano Zapata. Delimitada en sus cuatro esquinas y esquematizada en la cuadrícula.

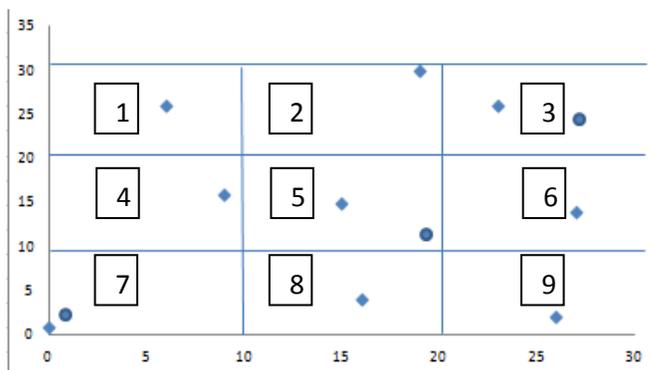


Figura 1. Representación de los puntos de muestreo para todas las parcelas. El esquema representa la superficie de 900 m². En rombos se aprecian los sitios de muestreos simples y en círculos los correspondientes al muestreo de densidad aparente y agregados estables en agua sin arenas. Los sitios de los cuadros 1-2-3 conformaron una muestra compuesta; al igual que los 4-5-6 y 7-8-9.

Tabla 3. Coordenadas empleadas de las muestras simples.

Cuadrante	X	Y
1	6	26
2	19	30
3	23	26
4	9	16
5	15	15
6	27	14
7	0	1
8	16	4
9	26	2

Tabla 4. Coordenadas empleadas de las muestras pareadas de densidad aparente y agregados estables en agua sin arenas.

Cuadrante	X	Y
3	27	23

5	19	11
7	1	2

5.3 Análisis en laboratorio

5.3.1 Análisis físicos

a) Textura

La evaluación del contenido de partículas se realizó con el método Bouyoucos (Bouyoucos, 1962) en una sola muestra compuesta de cada sitio, porque en éstos no se mostraban cambios orogénicos importantes que reflejaran una lectura distinta.

b) Agregados estables en agua sin arenas.

Las fracciones de agregados estables del suelo se evaluaron con el método de tamizado en agua, del que se obtuvieron las fracciones 0.25-1mm y >1mm, a partir de 10 g de suelo lavados en agua con mallas de 1 mm y 250 micras, secados y pesados (Angers *et al.*, 2008). Posteriormente se hizo la corrección del contenido de arenas disolviendo los agregados en sosa, tamizando nuevamente y secando y pesando el residuo que quedó en las mallas (Hallet *et al.* 2009).

c) Humedad.

El porcentaje de humedad se calculó a partir de las tres muestras compuestas de campo de cada sitio, guardadas en bolsas selladas hasta su procesamiento por el método gravimétrico (Norma ASTM D2216).

d) Densidad aparente.

La densidad aparente (D.A.) se determinó a partir de las tres muestras simples tomadas con un nucleador de acero de 2.15 cm de radio a 10 cm de profundidad del suelo. Estas muestras también se mantuvieron selladas hasta su procesamiento, se pesaron en fresco y en seco para calcular el peso de suelo seco por unidad de volumen.

5.3.2 Análisis químicos.

a) pH

Las determinaciones se hicieron para las tres muestras compuestas de cada sitio. Se midió el pH utilizando el método del potenciómetro (Bates, 1973; Willard *et al.*, 1974) diluyendo el material 1:5 con agua destilada y agitando 30 min previo a la medición.

b) Formas disponibles de nitrato y amonio.

Para la determinación de las formas disponibles de nitrato y amonio se realizó su extracción agitando en KCl 2M, se filtró (Robertson *et al.*, 1999) y se congeló hasta su lectura en un autoanalizador Bran-Luebbe (método No. 696-82W; Technicon Industrial System, 1997).

c) Ortofosfatos.

La determinación de ortofosfatos se realizó con solución extractora de Mehlich III (Mehlich, 1984), se filtró y congeló hasta su lectura en el mismo autoanalizador empleado para nitrato y amonio.

5.3.3 Análisis biológico

a) Fosfomonoesterasa ácida

Se determinó por duplicado la reacción enzimática de fosfatasa ácida por colorimetría en las tres muestras compuestas de cada sitio, usando los blancos de suelo y blancos analíticos para hacer las correcciones pertinentes. La actividad de la enzima se determinó a partir de la producción de paranitrofenol (determinado por colorimetría a concentraciones conocidas) evidenciando el carácter catalítico de la enzima presente en el suelo sobre el sustrato artificial paranitrofenil fosfato (Tabatabai y Bremner, 1969).

5.4 Análisis estadístico.

Para buscar diferencias en la calidad del suelo en función de las coberturas, se exploró si las zonas donde se ubicaron los sitios de muestreo, ya se diferenciaban entre sí. Las zonas elegidas (Punta Pérula, Emiliano Zapata, San Mateo y Los Ranchitos) eran un factor fijo dentro del que se encontraban anidadas las tres coberturas de suelo, por lo que se determinó la homocedasticidad de las variables para cada zona, para después realizar un análisis de estadística paramétrica (ANOVA de una vía). La inclusión al azar de los sitios

de selva en cada zona fue el segundo factor a considerar. Para evitar el enmascaramiento por dicha inclusión, se realizó el mismo análisis sin incluir a los sitios de selva.

El análisis estadístico de todas las variables en función de la cobertura vegetal, se hizo de la misma forma que para las zonas (ANOVA de una vía examinando el factor cobertura e incluyendo los sitios de selva asociados al azar a las cuatro zonas).

Para verificar si existían correlaciones entre todas las variables se efectuó una correlación de Pearson. Se dio por sentado que no todas las correlaciones tendrían sentido ecológico aun cuando resultaran significativas (como las presentes entre las partículas del suelo que siempre están relacionadas por ser porcentajes calculados a partir de la misma determinación y en la misma muestra). En este análisis se emplearon los 16 valores únicos obtenidos para cada variable (4 valores agrícolas, ganaderos, de acahual y bosque tropical seco, ya que la unidad experimental es el sitio), en el caso de textura era el resultado de una sola determinación y en el resto de las variables era el promedio de las tres determinaciones de cada sitio.

Finalmente, a partir de los 16 valores de cada variable, se elaboraron análisis multivariados. El de Componentes Principales, para identificar si había algunas variables que describieran en gran medida la variación encontrada en sitios y coberturas de suelo y examinar la ubicación de los sitios en función del conjunto de variables. La determinación de las variables de peso en cada componente, se realizó considerando al menos un valor de 0.4 o muy cercano, que refiriera una correlación del 16% entre la variable y su componente (Stevens, 1986). Se usó el método *K-means* para identificar el agrupamiento de los sitios en función de distancias euclidianas, en cuatro grupos considerando las cuatro coberturas iniciales y en cinco grupos, dada la separación evidente de uno de los sitios de los cuatro grupos.

Estos tres tipos de análisis se usaron con el fin de complementar la selección de los mejores indicadores de cambio por la cobertura del suelo. Los análisis univariados y bivariados se realizaron en STATISTICA 8 (StatSoft), y los multivariados en RStudio (R Core Team, 2013. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation

for statistica Computing, Vienna, Austria. Versión R:0.98.507. Paquetes rJava, xlsjars y reshape).

6 Resultados

6.1 Influencia de la zona en las variables de estudio.

Los análisis estadísticos para evaluar si había diferencias significativas entre las zonas, que fueran intrínsecas a ellas e independientemente de las coberturas, así como para evaluar la inclusión aleatoria de los sitios de selva en cada zona, no mostraron diferencias significativas. Por lo tanto se consideró adecuado el uso de un modelo simple de una sola vía con los sitios de bosque primario asociados al azar a las zonas de muestreo.

6.2 Influencia de la cobertura en las variables de estudio.

Los análisis estadísticos para evaluar diferencias significativas entre coberturas realizados con las variables individuales, mostraron diferencias significativas en las dos fracciones de agregados, su porcentaje total, el cociente de $\text{NH}_4^+:\text{NO}_3^-$ y la actividad enzimática de la fosfatasa ácida (Tabla 5 y 6).

Tabla 5. Valores de F y p de los ANOVAs de una vía de las variables en función de las coberturas de suelo. *Diferencias significativas.

Variable	Parámetro	F	p	Post-hoc (Tukey)
Física	%Humedad	1.6185	0.237020	
	D.A. (g cm^{-3})	1.965	0.173082	
	Agregados $>1 \text{ mm g}^{-1}$	6.10842	0.009147	Agr dif. a selva*
	Agregados $0.25-1 \text{ mm g}^{-1}$	4.99344	0.017841	Agr dif. a selva*
	Agr. Totales (%)	4.9318	0.018552	Agr dif a aca-selva*
	Arenas (%)	1.1727	0.360819	
	Limos (%)	0.9068	0.466486	
	Arcillas (%)	0.55700	0.653338	
Química	pH	0.469	0.709384	
	Ortofosfatos (ug g^{-1})	1.52045	0.259592	
	Nitrato (mg g^{-1})	2.59806	0.100618	
	Amonio (mg g^{-1})	3.20735	0.061926	

	N disponible total (mg g ⁻¹)	2.57174	0.102831	
	NH ₄ ⁺ :NO ₃ ⁻	15.3081	0.000210	Agr dif. a selva-potrero; aca dif. a potrero*
Biológica	Fosfatasa ácida (ug PNF g ⁻¹)	21.0437	0.000045	Agr-gan dif. a aca-selva*

Tabla 6. Valores de F y p de los ANOVAs de una vía de las variables con diferencias significativas en el análisis en función de las coberturas de suelo.

Variable	Parámetro	F	p	Post-hoc (Tukey)
Física	Agregados >1 mm g ⁻¹	6.10842	0.009147	Agr dif. a selva.
	Agregados 0.25-1 mm g ⁻¹	4.99344	0.017841	Agr dif. a selva.
	Agr. Totales (%)	4.9318	0.018552	Agr dif a aca-selva.
Química	NH ₄ ⁺ :NO ₃ ⁻	15.3081	0.00021	Agr dif. a selva-potrero; aca dif. a potrero.
Biológica	Fosfatasa ácida (ug PNF g ⁻¹)	21.0437	0.000045	Agr-gan dif. a aca-selva.

Indicadores físicos.

Textura.

Las texturas obtenidas fueron franco-arenosas en su mayoría, salvo los sitios agrícola y acahual de San Mateo (suelo franco), el acahual de Los Ranchitos (franco-arcilloso) y el sitio de selva Calandria (franco-areno-arcilloso) (Tabla 7). En el análisis estadístico de las clases texturales entre coberturas, no hubo diferencias significativas.

Tabla 7. Fracciones texturales y clase textural para cada zona.

Zona	Cobertura	%Arena	%Limo	%Arcilla	Clase textural
Punta Pérula	Agrícola	70	17.5	12.5	Franco-arenoso
	Potrero	62.5	20	17.5	Franco-arenoso
	Acahual	60	27.5	12.5	Franco-arenoso
Emiliano Zapata	Agrícola	70	17.5	12.5	Franco-arenoso
	Potrero	62.5	27.5	10	Franco-arenoso
	Acahual	62.5	27.5	10	Franco-arenoso
San Mateo	Agrícola	37.5	40	22.5	Franco
	Potrero	62.5	25	12.5	Franco-arenoso

	Acahual	45	37.5	17.5	Franco
Los Ranchitos	Agrícola	70	22.5	7.5	Franco-arenoso
	Potrero	72.5	20	7.5	Franco-arenoso
	Acahual	40	30	30	Franco-arcilloso
Tejón 2	Selva	60	25	15	Franco-arenoso
Tejón 1	Selva	55	35	10	Franco-arenoso
Búho	Selva	65	25	10	Franco-arenoso
Calandra	Selva	60	20	20	Franco-areno-arcilloso

Humedad.

Aun cuando no se encontraron diferencias significativas en el contenido de humedad entre las coberturas, se observa una tendencia de mayor humedad en el acahual y la selva (Fig. 2).

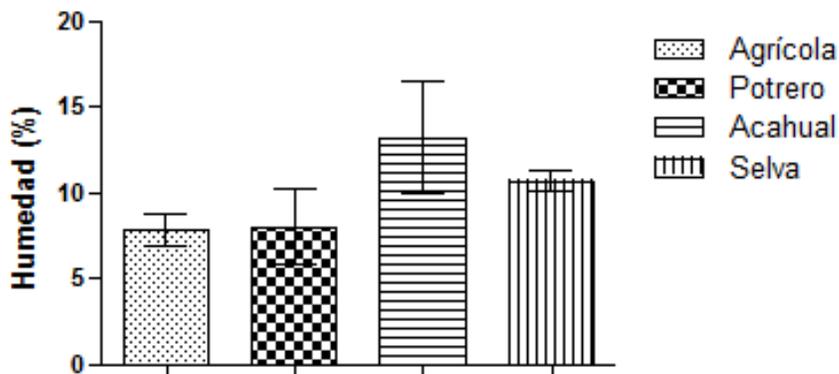


Figura 2. Promedios (\pm E.E., n=4) del porcentaje de humedad para cada cobertura.

Densidad aparente.

No se encontraron diferencias significativas a pesar de haber una tendencia consistente de reducción, que en este caso implica una menor compactación y por lo tanto una mejoría, del uso agrícola a la vegetación primaria. (Fig.3).

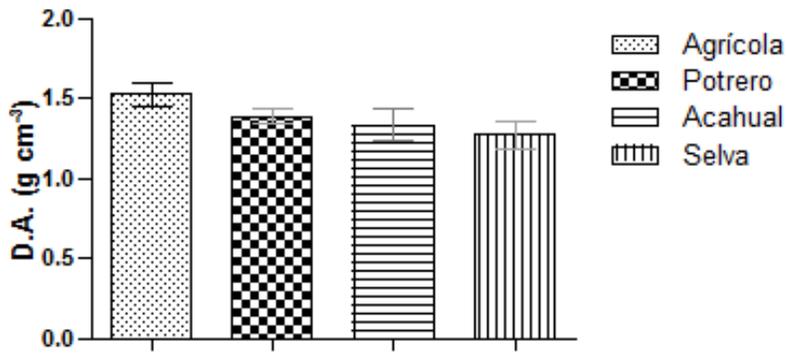


Figura 3. Promedios (\pm E.E., n=4) de la densidad aparente para cada cobertura.

Agregados estables sin arenas.

Se presentaron diferencias significativas entre las coberturas para ambas fracciones de agregados estables (Tabla 5). Para los valores correspondientes a los agregados >1mm, se observa un muy claro gradiente en relación con el uso, aunque los únicos que se distinguen significativamente son el uso agrícola y la selva (Fig. 4).

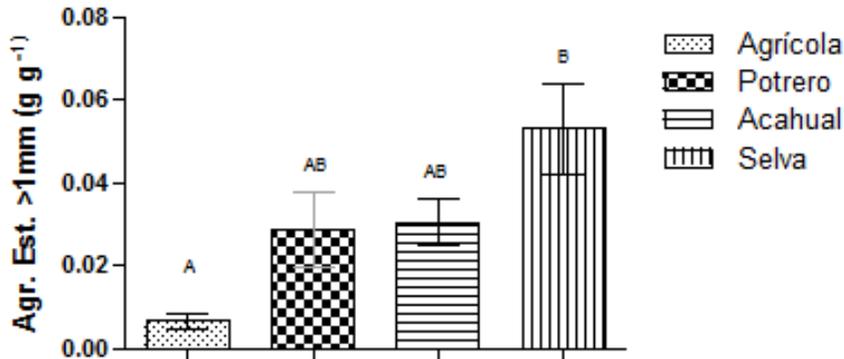


Figura 4. Promedios (\pm E.E., n=4) de la fracción de agregados >1 mm para cada cobertura.

Con relación a los agregados estables 0.25-1mm hay una tendencia similar a la de la fracción de agregados de mayor tamaño (Fig. 5).

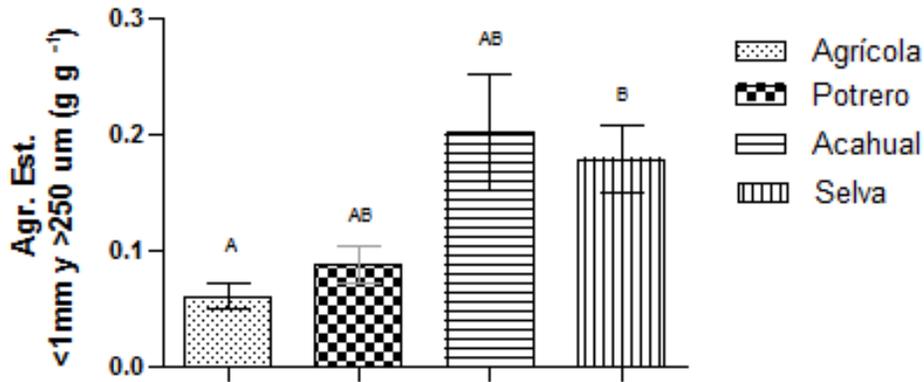


Figura 5. Promedios (\pm E.E., n=4) de la fracción de agregados estables 0.25-1 mm para cada cobertura.

En la relación de agregados totales, la cobertura agrícola se diferencia del acahual y la selva (Fig. 6)

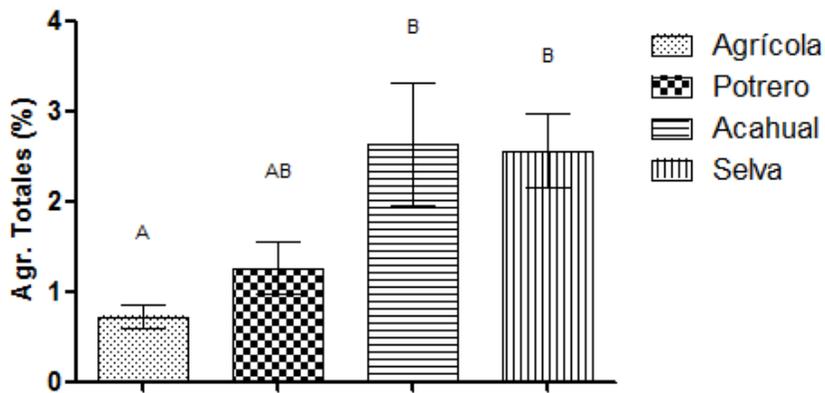


Figura 6. Promedios (\pm E.E., n=4) de los porcentajes totales de agregados estables para cada cobertura.

Indicadores químicos.

pH.

No se encontraron diferencias significativas entre las coberturas.

Disponibilidad de nitrógeno

Nitrato

No se encontraron diferencias significativas. Los valores más bajos se encontraron en el potrero (Fig. 7).

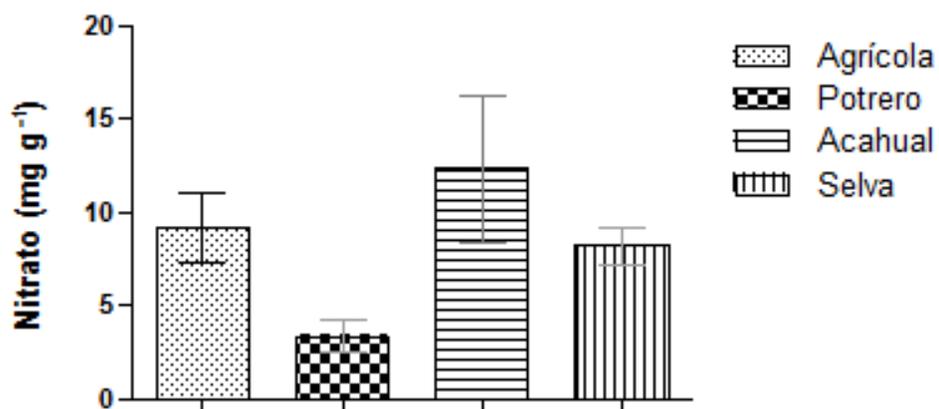


Figura 7. Promedios (\pm E.E., n=4) de los valores de nitratos para cada cobertura

Amonio

Se observa una tendencia clara de aumento de las parcelas agrícolas al potrero, el acahual y la selva (Fig. 8). Sin embargo, las diferencias no alcanzaron a ser significativas por la alta variación (Tabla 5).

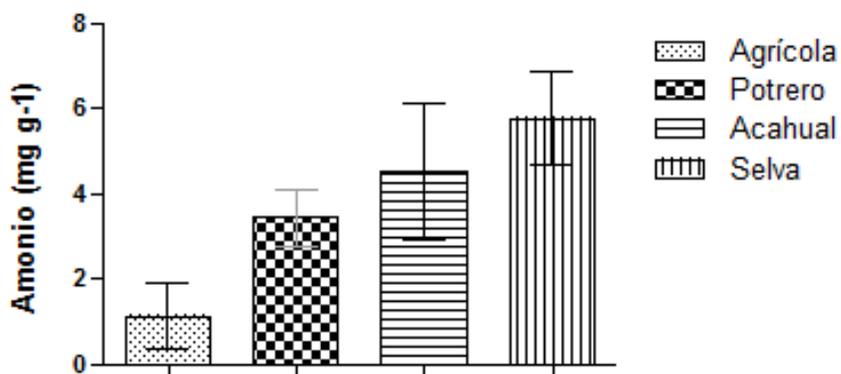


Figura 8. Promedios (\pm E.E., n=4) de los valores de amonio para cada cobertura.

Nitrógeno disponible total.

No se encontraron diferencias significativas entre las coberturas en relación al N disponible total (nitrato + amonio). Al igual que el contenido de nitratos, el valor más bajo se encuentra en el potrero (Fig. 9).

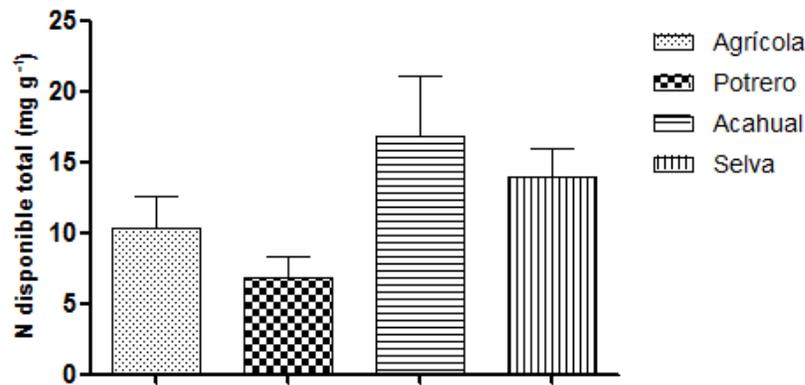


Figura 9. Promedios (\pm E.E., n=4) de los valores de N disponible total para cada cobertura.

Cociente amonio: nitrato

Se encontraron diferencias significativas en la disponibilidad relativa de la forma amonio y la forma nitrato (Tabla 5). La cobertura agrícola presentó el cociente más bajo, que indica la mayor disponibilidad relativa del nitrato sobre el amonio y se separó significativamente de los potreros y las selvas. En los sitios sucesionales y las selvas también se observa mayor disponibilidad de nitrato que de amonio pero en menor grado que en los sitios agrícolas. Los potreros mostraron la misma disponibilidad de las dos formas (Fig. 10).

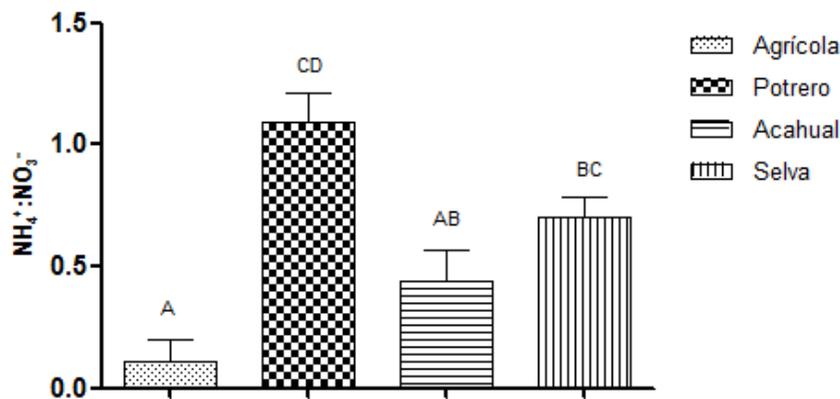


Figura 10. Promedios (\pm E.E., n=4) de los valores del cociente de $\text{NH}_4^+:\text{NO}_3^-$ total para cada cobertura.

Ortofosfatos.

Los valores más bajos se concentraron en la cobertura de selva. Los valores de las otras

coberturas fueron muy variables, por lo que no se encontraron diferencias significativas (Fig. 11).

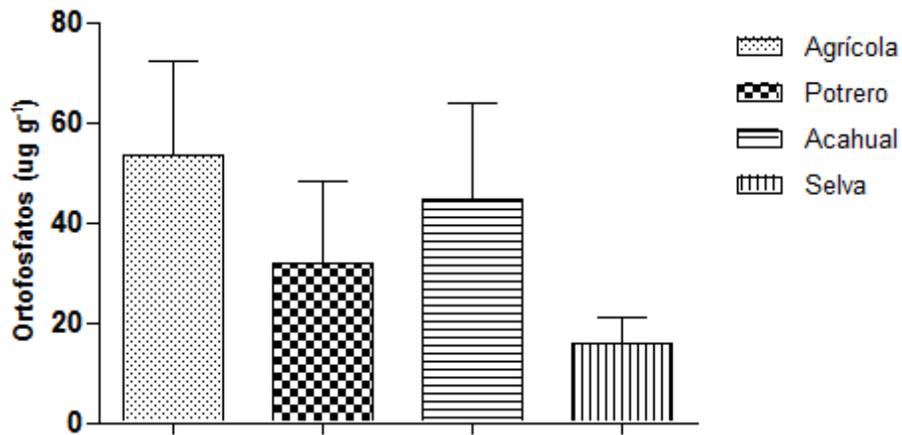


Figura 11. Promedios (\pm E.E., n=4) de los valores de ortofosfatos para cada cobertura.

Indicador biológico.

Actividad enzimática de la fosfomonoesterasa ácida.

Se encontraron diferencias significativas entre las coberturas agrícola y potrero, que presentaron valores más bajos, y entre las de acahual y selva (Fig. 12).

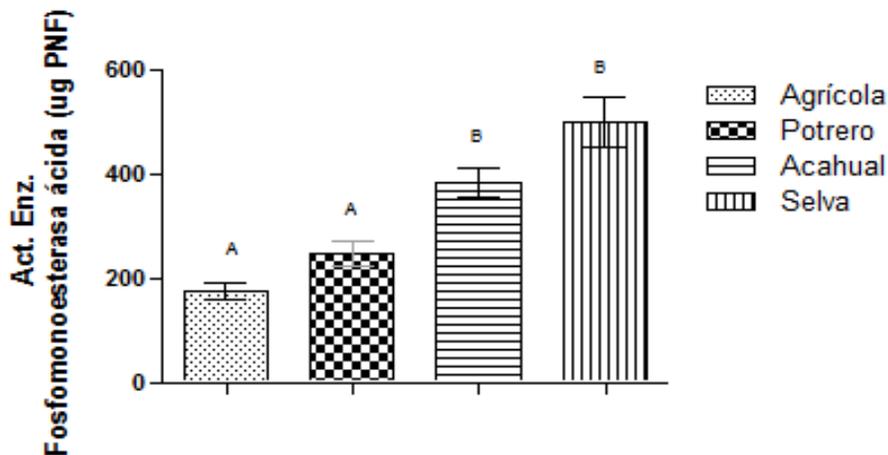


Figura 12. Promedios (\pm E.E., n=4) de los valores de actividad enzimática de fosfatasa ácida para cada cobertura.

Correlaciones de Pearson

El porcentaje de humedad mostró una correlación negativa con el contenido de arenas ($p < 0.05$) y la D.A. ($p < 0.1$), mientras que los agregados 0.25-1mm, las arcillas, el pH, el nitrato, amonio ($p < 0.05$) y agregados > 1 mm ($p < 0.1$) mostraron una correlación positiva. La densidad aparente se relacionó negativamente con el amonio ($p < 0.1$) y con la menor fracción de agregados ($p < 0.05$).

Las arenas mostraron una correlación negativa con el pH ($p < 0.05$), agregados de 0.25-1mm y ortofosfatos ($p < 0.1$). Los limos no se relacionaron de manera significativa con otras variables.

Las arcillas tuvieron una correlación positiva con el pH y los agregados de 0.25-1 mm ($p < 0.05$) y el amonio ($p < 0.1$). Las dos fracciones de agregados se correlacionaron positivamente entre sí ($p < 0.05$), con el amonio ($p < 0.05$) y la actividad fosfatasa ($p < 0.05$, $p < 0.1$). La fracción de agregados de 0.25-1 mm se relacionó positivamente con el nitrato ($p < 0.05$).

Los ortofosfatos mostraron una correlación positiva con el pH ($p < 0.05$) y negativa con las arenas y la fosfatasa ácida ($p < 0.1$). La actividad enzimática de la fosfatasa ácida se relacionó positivamente con el amonio ($p < 0.05$) y el pH ($p < 0.1$).

Las variables con más relaciones significativas positivas fueron el contenido de humedad (6), los agregados de 0.25-1 mm (5), arcillas, amonio y agregados > 1 mm (4). Las variables con más relaciones negativas fueron las arenas (6) y la densidad aparente (3).

Tabla 8. Correlaciones entre las variables físicas, químicas y biológicas. Se marcan las que fueron significativas con 95% de nivel de confianza en negritas y las significativas al 90% en cursivas.

Correlations (Correlaciones entre todas las variables.sta)Marked correlations are significant at $p < .05000N=16$ (Casewise deletion of missing data)												
	%H	D.A.	Agr. >1mm	Agr 0.25-1mn	arenas	limos	arcillas	pH	nitratos	amonio	ortofosfatos	act.enz.
%H	1	-0.4322	0.4848	0.8114	-0.6296	0.2682	0.7941	0.564	0.557	0.6098	0.3222	0.1722
	$p=$ ---	$p=.095$	$p=.057$	$p=.000$	$p=.009$	$p=.315$	$p=.000$	$p=.023$	$p=.025$	$p=.012$	$p=.224$	$p=.524$
D.A.	-.4322	1	-0.3792	-0.7134	0.0078	0.065	-0.0872	0.1777	-0.2686	-0.4937	0.2807	-0.276
	$p=.095$	$p=$ ---	$p=.148$	$p=.002$	$p=.977$	$p=.811$	$p=.748$	$p=.510$	$p=.314$	$p=.052$	$p=.292$	$p=.301$
Agr. >1mm	0.4848	-0.3792	1	0.6165	-0.105	-0.0257	0.2121	-0.0625	0.1416	0.7194	-0.2721	0.7364
	$p=.057$	$p=.148$	$p=$ ---	$p=.011$	$p=.699$	$p=.925$	$p=.430$	$p=.818$	$p=.601$	$p=.002$	$p=.308$	$p=.001$
Agr 0.25-1mn	0.8114	-0.7134	0.6165	1	-0.4624	0.2507	0.5225	0.09	0.6595	0.6579	0.072	0.4664
	$p=.000$	$p=.002$	$p=.011$	$p=$ ---	$p=.071$	$p=.349$	$p=.038$	$p=.740$	$p=.005$	$p=.006$	$p=.791$	$p=.069$
arenas	-0.6296	0.0078	-0.105	-0.4624	1	-0.8414	-0.7913	-0.5128	-0.3757	-0.1829	-0.4487	-0.1121
	$p=.009$	$p=.977$	$p=.699$	$p=.071$	$p=$ ---	$p=.000$	$p=.000$	$p=.042$	$p=.152$	$p=.498$	$p=.081$	$p=.679$
limos	0.2682	0.065	-0.0257	0.2507	-0.8414	1	0.3355	0.1825	0.2826	-0.1473	0.3514	0.2199
	$p=.315$	$p=.811$	$p=.925$	$p=.349$	$p=.000$	$p=$ ---	$p=.204$	$p=.499$	$p=.289$	$p=.586$	$p=.182$	$p=.413$
arcillas	0.7941	-0.0872	0.2121	0.5225	-0.7913	0.3355	1	0.6875	0.3353	0.4856	0.3846	-0.0533
	$p=.000$	$p=.748$	$p=.430$	$p=.038$	$p=.000$	$p=.204$	$p=$ ---	$p=.003$	$p=.204$	$p=.057$	$p=.141$	$p=.845$
pH	0.564	0.1777	-0.0625	0.09	-0.5128	0.1825	0.6875	1	0.1542	0.0974	0.725	-0.4725
	$p=.023$	$p=.510$	$p=.818$	$p=.740$	$p=.042$	$p=.499$	$p=.003$	$p=$ ---	$p=.569$	$p=.720$	$p=.001$	$p=.065$
nitratos	0.557	-0.2686	0.1416	0.6595	-0.3757	0.2826	0.3353	0.1542	1	0.1501	0.3737	0.1009
	$p=.025$	$p=.314$	$p=.601$	$p=.005$	$p=.152$	$p=.289$	$p=.204$	$p=.569$	$p=$ ---	$p=.579$	$p=.154$	$p=.710$
amonio	0.6098	-0.4937	0.7194	0.6579	-0.1829	-0.1473	0.4856	0.0974	0.1501	1	-0.2676	0.512
	$p=.012$	$p=.052$	$p=.002$	$p=.006$	$p=.498$	$p=.586$	$p=.057$	$p=.720$	$p=.579$	$p=$ ---	$p=.316$	$p=.043$
ortofosfatos	0.3222	0.2807	-0.2721	0.072	-0.4487	0.3514	0.3846	0.725	0.3737	-0.2676	1	-0.4366
	$p=.224$	$p=.292$	$p=.308$	$p=.791$	$p=.081$	$p=.182$	$p=.141$	$p=.001$	$p=.154$	$p=.316$	$p=$ ---	$p=.091$
act.enz.	0.1722	-0.276	0.7364	0.4664	-0.1121	0.2199	-0.0533	-0.4725	0.1009	0.512	-0.4366	1
	$p=.524$	$p=.301$	$p=.001$	$p=.069$	$p=.679$	$p=.413$	$p=.845$	$p=.065$	$p=.710$	$p=.043$	$p=.091$	$p=$ ---

6.3 Integración de variables y sitios al concepto de calidad del suelo

Análisis de Componentes Principales.

Los eigenvalores de los componentes principales, el porcentaje de varianza explicado por cada componente, su valor acumulado y los pesos o *loadings* de cada variable se observan en la tabla 9, y los *scores* de cada sitio en la tabla 10. Los tres primeros componentes explicaron el 78% de la varianza entre sitios. El primer componente explicó el 38.61% de la variación, siendo el contenido de humedad y la fracción de agregados de 0.25-1 mm, las variables consideradas de peso (Stevens, 1986). En este componente, dos de los acahuales (San Mateo y Los Ranchitos) se ubicaron en el extremo más alto, junto con la selva 1 (sitio Tejón 2); el resto de las selvas, un potrero, uno de los acahuales (ambos de Punta Pérula) y la parcela agrícola de San Mateo, se ubicaron en la parte intermedia, mientras que los demás potreros, parcelas agrícolas y el acahual restante (Emiliano Zapata) se ubicaron en el extremo más bajo (Tabla 9, Fig. 13). El *loading* negativo de las arenas y D.A., aunque no fue considerado de peso, indica que esas variables tuvieron los valores más bajos en el sitio del tejón 2 y los acahuales mencionados, y los más altos en al menos una de las dos variables, en las actividades productivas (cuyos *scores* fueron en su mayoría negativos, Tabla 10). Por otro lado, los *scores* y *loadings* positivos para los acahuales y la selva de Tejón 2, evidencian un alto contenido de agregados en la fracción de 0.25-1 mm.

El segundo componente explicó el 27.74% de la varianza y en este componente el contenido de ortofosfatos y actividad enzimática, mostraron los coeficientes de mayor magnitud. Los *scores* positivos de las selvas 1, 3 y 4 (Tejón2, Búho y Calandria) indican su muy bajo contenido en ortofosfatos y la elevada actividad enzimática, caso contrario a los sitios agrícolas de San Mateo y Emiliano Zapata.

En el tercer componente que explicó el 11.75% de la variación la variable de peso fueron los limos. En este componente, los sitios de selva tejón 1, Búho y el acahual de Punta Pérula mostraron los mayores valores para estas variables, mientras que el sitio agrícola y potrero de la misma localidad y el sitio agrícola de Emiliano Zapata, mostraron los menores valores.

Esto indica los valores más altos tanto en el componente uno como en el dos en los sitios de selva, y en el componente uno en dos de los sitios de acahual. En este sentido los de valores más bajos y ubicados de manera opuesta a la selva en el cuadrante inferior izquierdo fueron los sitios agrícolas.

Tabla 9. Eigenvalores para los tres primeros componentes, el porcentaje de varianza explicado por cada uno y el porcentaje de varianza acumulada, en las primeras tres filas. En el resto de ellas, los *loadings* de las variables en cada componente.

	Componente 1	Componente 2	Componente 3
Varianza explicada	4.634	3.329	1.410
Porcentaje de varianza explicado (%)	38.610	27.740	11.750
Porcentaje de varianza acumulada (%)	38.610	66.350	78.100
%H	0.435	-0.026	0.185
D.A.	-0.208	-0.304	-0.158
Agregados >1 mm	0.252	0.354	0.001
Agregados 0.25-1 mm	0.411	0.187	0.013
arenas	-0.349	0.248	0.337
limos	0.211	-0.212	-0.645
arcillas	0.369	-0.192	0.142
pH	0.215	-0.377	0.354
nitratos	0.292	-0.045	-0.025
amonio	0.235	0.351	0.277
Ortofosfatos	0.149	-0.432	0.092
act.enz.	0.154	0.388	-0.424

Tabla 10. Se observan los *scores* de los sitios para los dos primeros componentes.

	Componente 1	Componente 2	Componente 3
Ag1	-1.514	-0.889	1.692
Ag2	-1.951	-1.422	1.161
Ag3	0.339	-5.129	-1.380
Ag4	-2.158	0.130	0.110
P1	1.099	-1.051	2.411
P2	-1.839	0.432	-0.613
P3	-1.663	0.622	-0.461
P4	-2.576	0.219	0.783

Ac1	-0.508	0.072	-0.901
Ac2	-1.259	0.882	-1.031
Ac3	3.848	-1.275	-0.933
Ac4	4.673	-0.123	0.621
S1	2.195	2.453	0.582
S2	-0.040	0.599	-1.616
S3	0.217	2.587	-1.171
S4	1.136	1.892	0.743

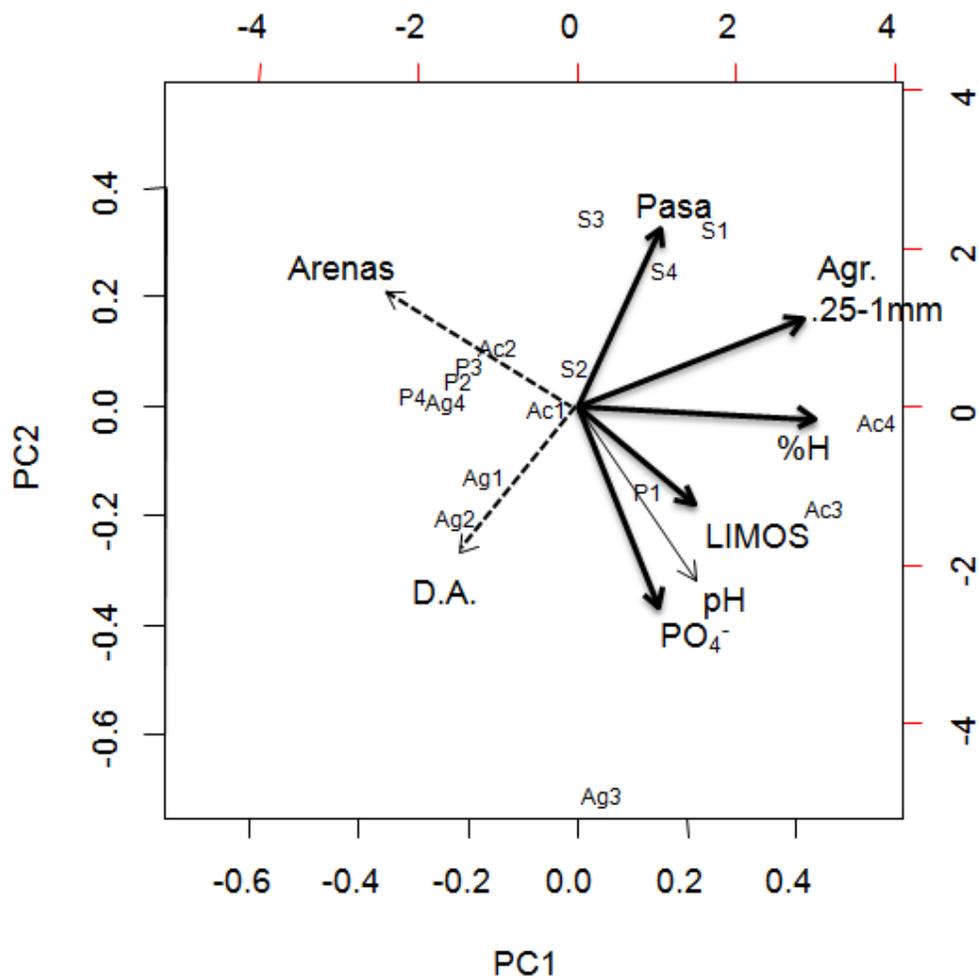


Figura 13. Representación de los vectores correspondientes a las variables de peso para el primero y segundo componentes en el ACP. En líneas continuas y gruesas se observan las variables de peso, en línea delgada el pH, cuyo valor estuvo cerca de ser considerado de peso, y en líneas punteadas las únicas variables de magnitud negativa para el primer componente. También se observan los sitios en función de los *scores*, y los componentes, donde: Ag indica uso agrícola, P uso potrero, Ac el acahual y S el tratamiento de Selva. Los números corresponden a la zona donde se ubica el sitio:

1-Punta Pérula, 2-Emiliano Zapata, 3-San Mateo, 4-Los Ranchitos. Los sitios de selva son S1-Tejón 2, S2- Tejón 1, S3-Búho y S4-Calandria.

Separación de grupos

En la figura 14 se observan los grupos considerando cuatro coberturas, que fueron las categorías iniciales del estudio (inciso a) y una propuesta de 5 grupos basada en el resultado del ACP (inciso b), ambos con el método *K-means*. Se puede apreciar que aún cuando la mayoría los sitios con la misma cobertura se encuentran cerca, hay al menos un sitio de cada cobertura que queda en otro grupo. Además, en todos los grupos se incluye al menos un sitio con actividades productivas. Los grupos correspondientes a los sitios de selva y las actividades agrícolas fueron los más homogéneos al considerar y ubicar cercanamente a 3 de los 4 sitios correspondientes a dichas coberturas. Los potreros quedaron repartidos en tres grupos y al menos tres sitios se ubicaron cercanos entre sí. Los acahuales se agruparon en dos grupos, uno que incluía dos de los sitios de potrero y uno de selva (Tejón 1) y otro grupo con el sitio Agrícola de San Mateo. Sin embargo los dos grupos quedaron bastante separados. En el análisis con 5 grupos, el sitio Agrícola de San Mateo formó un grupo independiente a los acahuales de San Mateo y Los Ranchitos con el que estaba asociado, permaneciendo los demás grupos con la misma conformación.

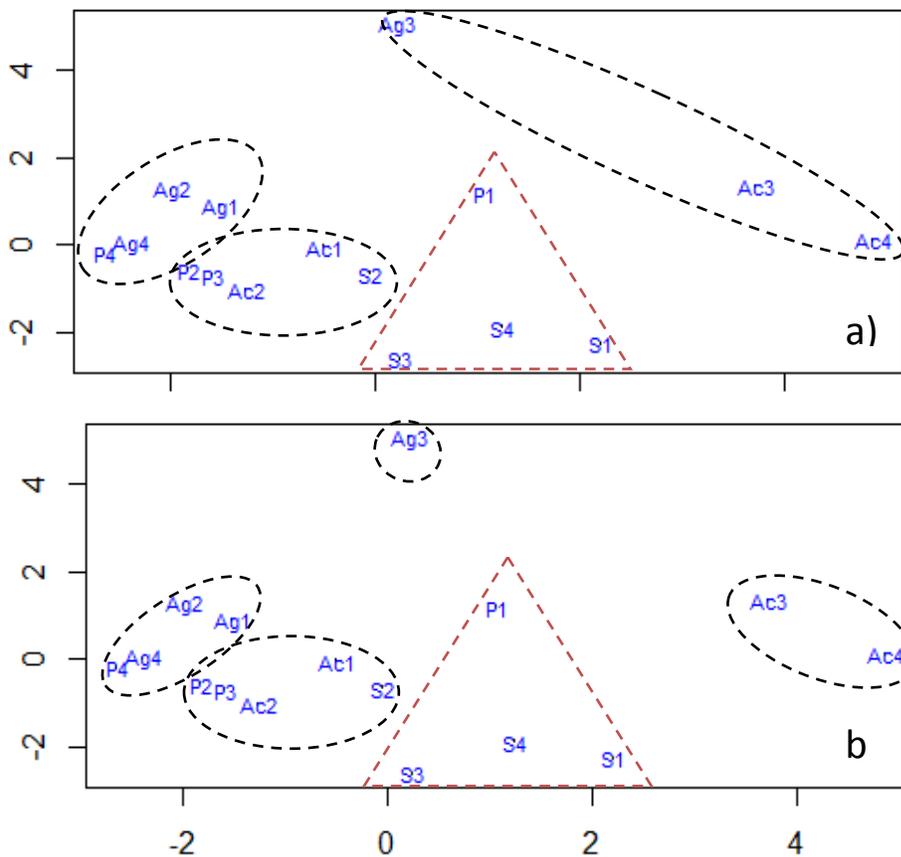


Figura 14. Agrupamiento de los sitios en función del método K-means. En a) se observa el agrupamiento en 4 grupos y en b) en 5 grupos. Los grupos se evidencian encerrados en líneas punteadas. Ag indica uso agrícola, P uso potrero, Ac el acahual y S el tratamiento de Selva. Los números corresponden a la zona donde se ubica el sitio: 1-Punta Pérula, 2-Emiliano Zapata, 3-San Mateo, 4-Los Ranchitos. Los sitios de selva son S1-Tejón 2, S2-Tejón 1, S3-Búho y S4-Calandria.

7 Discusión.

En términos de la cobertura, se encontró que los sistemas productivos agrícola y ganadero, mostraron un status bajo en varias de las propiedades medidas y examinadas tanto en el análisis univariado como en el multivariado. Sin embargo, contrario a las hipótesis planteadas originalmente, la cobertura agrícola resultó ser la de menor calidad de suelo al mostrar más diferencias significativas con la selva y la ubicación más lejana y opuesta a la selva en el análisis multivariado.

Las coberturas productivas y en particular la agrícola; parecen tener un efecto importante en la pérdida de un estado óptimo (ausencia de manejo), relacionado con un mayor contenido de arenas (Tabla 10) y la compactación del suelo (Fig. 4), ya que el porcentaje de arenas y la densidad aparente fueron claramente las dos variables que se relacionaron negativamente con el resto (*scores* y *loadings* negativos en sitios productivos, Tabla 8, 9; y grupo definido en la Fig. 15).

Estas características derivan en 1) un menor porcentaje de humedad en las coberturas más expuestas (Shrumpf *et al.*, 2011) y con menos partículas finas (Martínez-Trinidad *et al.*, 2008 y Brady y Weil, 1999) y

2) una mayor pérdida de la estructuración del suelo. Las arenas no se consideran partículas agregables porque la agregación estable requiere de complejos formados por arcillas, metales polivalentes y materia orgánica (Six *et al.* 2004). La pérdida de partículas finas agregables, de entrada de materia orgánica, el constante laboreo que fragmenta los agregados en las parcelas agrícolas y la compactación por el pisoteo del ganado en los potreros (Tisdall y Oades, 1982; Angers, 1992) son probables explicaciones de la

disminución en agregados estables en estos sitios. A diferencia de lo encontrado por García-Oliva *et al.* (1998) y Martínez-Trinidad *et al.* (2008), las fracciones de diferentes tamaños no fueron opuestas, si no que mantuvieron una correlación positiva y significativa (Tabla 8). Esto implica que el efecto del manejo no se limita a la ruptura de los agregados grandes, como reportaron Tisdall y Oades (1982) y Angers (1992), sino también de los agregados pequeños.

En las parcelas ganaderas, la leve mejoría en la estructuración en comparación con las parcelas agrícolas (Figs. 5 y 6), podría deberse a una mayor presencia de micelio y grandes y densas raíces de pastos y otras herbáceas, cuyos exudados y componentes orgánicos promueven la producción de agentes de unión en agregados de suelo (Tisdall y Oades, 1982; Jaramillo, 2002; Paudel *et al.*, 2011). En esta cobertura, a pesar de que la quema se practicaba en 3 de los 4 potreros muestreados, y ésta favorece el incremento de microagregados por la pérdida de estabilidad (García-Oliva *et al.*, 1999), el contenido de agregados de 0.25-1 mm no fue tan diferente al de la fracción >1mm, contrario a la cobertura agrícola y el acahual.

Resulta interesante notar que, si bien sólo hubo diferencias significativas para las dos fracciones de agregados entre el uso agrícola y el BTC, la tendencia de incremento gradual en la agregación del uso agrícola, al potrero y al acahual sugiere la pérdida de estructura a los factores asociados a cada cobertura. De aquí se deriva que, contrario a lo que se esperaba, el uso del tractor, el monocultivo y el retiro del material vegetal en los sitios agrícolas reflejaron un mayor impacto en la agregación que el pisoteo del ganado, la reducción del ingreso de carbono al suelo por el pastoreo y las quemadas.

Comparando las coberturas productivas con los acahuales, parece ser que en la recuperación de la estructura y el grado de porosidad del suelo, pudiera ser necesario el paso de al menos 20 años desde el abandono del uso productivo, así como el cese del pastoreo irregular que han tenido algunos de ellos (Castillo-Velázquez, 2013), como se observa para los acahuales de mayor antigüedad (San Mateo y Los Ranchitos, de mayor valor en el componente 1 y agrupados en ambos gráficos del k-means). Estos resultados difieren de lo encontrado por Li y Shao (2006), en donde en la sucesión de uso agrícola a

pradera, matorral y bosque de encino, tras 2, 14 y 60 años de supuesto abandono (definido por las formas de vida de la vegetación y las especies dominantes) era posible observar diferencias en la estructura del suelo para cada intervalo de tiempo.

Por otro lado, la disminución de los agregados asociada de forma negativa con el incremento en la D.A (Tabla 7), (Tisdall y Oades, 1982; y Angers, 1992) debe ser tomada con cuidado, puesto que los cambios apreciados en ambas variables podrían ser sólo consecuencia del manejo del suelo (afectación simultánea de estructura y densidad del suelo). No obstante, Li y Shao (2006) en su estudio identificaron dicha correlación. Los agregados, al facilitar procesos de transporte de líquidos, gases y calor a través de la infiltración y aireación (Nimmo, 20004), podrían derivar en una descompactación del suelo como lo evidencia la correlación encontrada. Esta correlación también fue encontrada en el estudio de Cotler y Ortega-Larrocea (2006), donde los agregados mayores a 1 mm (aunque no los de 0.25-1mm como sucede en este estudio) se correlacionaron de forma negativa con la densidad aparente.

Por otra parte, los agregados mayores a 1 mm, sólo se correlacionaron con el amonio mientras que en los agregados menores aumentaban las dos formas de N disponible (Tabla 7), evidenciando la importancia que tienen los agregados de esta fracción como reservorios de nitrógeno orgánico del suelo (NOS), que de acuerdo a García-Oliva *et al.* (1998) representa el 80% de su contenido. Sin embargo los valores promedio de agregados estables encontrados, no superan el 25% en ninguna de las coberturas (Tabla 5 y Figura 6) y difieren sustancialmente de los reportados por García-Oliva *et al.* (1998, 2006) (agregados >250 micras representaron más del 80% en suelo con vegetación primaria). Los valores encontrados en este estudio coinciden más con los de Martínez-Trinidad *et al.* (2012) para varias coberturas, aunque estos autores no mencionan haber hecho la corrección del contenido de arenas; si se comparan los valores de ambos estudios sin restar las arenas, los valores son más parecidos por lo menos en la categoría 0.25-1 mm. Por otro lado, el intervalo de los valores medidos en los potreros coincide más con los reportados por Murguía-Flores (2012) y Cardona-Valadez (2013) en dos potreros cercanos al potrero de San Mateo. Exceptuando los trabajos de García-Oliva *et al.* (1998, 2006), los demás trabajos en la región reportan la fracción de macroagregados (>250 micras) en menos del

50%, incluso sin haber restado el contenido de arenas. Las diferencias pueden asociarse a los métodos utilizados en cada estudio, ya que los estudios de Murguía-Flores (2012) y Cardona-Valadez (2013) fueron realizados con el mismo método, en el mismo grupo de trabajo.

Igualmente el elevado contenido de amonio con respecto al nitrato en sitios ganaderos (Fig. 11), pudo derivar de las fluctuaciones constantes de temperatura, baja humedad (Campo *et al.*, 1998; García-Oliva *et al.*, 2003; Rentería y Jaramillo y Castillo-Velázquez, 2013), alcalinización del suelo (Milton y Troeh, 1988) por efecto de las excretas (Aso y Bustos, 1991) y quemas frecuentes (García-Oliva *et al.*, 1999). Los resultados de este trabajo muestran tendencias parecidas a las de otros trabajos realizados en la región, que encontraron una creciente disponibilidad de N a través de la sucesión desde los potreros hasta la vegetación primaria (Castillo-Velázquez, 2013). No obstante, difieren de los resultados obtenidos para P disponible (Sandoval Pérez *et al.* 2009; Castillo-Velázquez, 2013) ya que ellos encuentran los valores más altos en la selva. En el presente estudio la variación encontrada fue muy alta y las diferencias no llegaron a ser significativas, aunque este estudio comprendió un área, número de sitios y diversidad de coberturas mayor que los estudios mencionados.

En ausencia de manejo, como era esperado, se concentraron los valores mayores de actividad enzimática (Fig. 13). Además se confirmó una correlación negativa de la fosfomonoesterasa con los ortofosfatos y ambas variables se ubicaron en el segundo componente del Análisis de Componentes Principales pero en sentido opuesto. Esto denota una probable inhibición por exceso de producto en la aplicación de fertilizantes en la cobertura agrícola.

Así, la baja actividad enzimática en los sitios agrícolas y ganaderos parece ser consecuencia de una combinación de la pérdida de estructura del suelo (Tabla 8, correlaciones positivas entre la actividad enzimática y los agregados >1mm y con los agregados 0.25-1mm) y los cambios producidos por quemas, fertilización, herbicidas, pastoreo y aporte de excretas. Dichos cambios, comprometen a su vez el ciclaje de fósforo

y el de formas de nitrógeno disponible como el amonio (con la que la actividad enzimática se correlacionó positivamente).

La ausencia de cambios significativos en el pH (tabla 5), reafirmaron su escaso valor como indicador de los impactos de la cobertura vegetal y el manejo en esta región (Sandoval *et al.*, 2009; Murguía-Flores, 2012; Cardona-Valadez, 2013).

Con todo ello, pareciera ser que la calidad del suelo en esta región va muy relacionada a la distribución del tamaño de las partículas que contiene, la agregación y la humedad, las cuales están muy ligadas entre sí y con la disponibilidad de nutrientes. Del mismo modo, la dinámica de recuperación del suelo en estos ecosistemas parece suceder en etapas. Primero con las fracciones menores de estructura en el suelo presentes en acahual, que permiten el ciclaje de formas de N disponible total, y posteriormente con las mayores fracciones de los agregados del suelo, presentes en mayor medida en bosque conservado, y que facilitan el desarrollo de la actividad microbiana..

La ubicación de la mitad de los tratamientos de las coberturas ganaderas con los de acahual en un mismo grupo (Fig. 15), posiciona a estos últimos como estadios intermedios de degradación y/o transición, en los que ambas coberturas comparten características, incluida la selva del Tejón 1; como valores bajos de humedad, agregados de 0.25-1mm, actividad enzimática y un ligeramente mayor contenido de ortofosfatos (Tablas 9 y 10). Los acahuals de mayor antigüedad (3 y 4), se ubicaron en un grupo independiente (Fig. 15, inciso b), y aunque no tuvieron diferencias significativas en ninguna de las variables en el análisis univariado, diferente a lo reportado en estudios previos de la misma zona (Sandoval *et al.*, 2009, Castillo-Velázquez, 2013), si tuvieron un mayor porcentaje de humedad, agregación del suelo y valores ligeramente superiores de ortofosfatos y amonio (Tablas 9 y 10). Dada la importancia y las interrelaciones positivas que mostraron la agregación del suelo, la humedad y los nutrientes disponibles, y del lado negativo el contenido de arenas y la densidad aparente (Tabla 8), resultó evidente la conexión y la sinergia entre los procesos físicos, químicos y biológicos del suelo. Sin embargo, en función de la evolución que siguen los procesos edáficos a través de la estructuración del suelo (Six, 2004), se deduce

que es fundamental que se rehabilite primero su estructura física para la recuperación de las demás funciones del suelo.

Los acahuales estudiados, que van de 8 a 30 años pero no están protegidos y han tenido algunas intervenciones humanas como pastoreo ocasional y extracción de varas, fueron los sitios más heterogéneos dentro de la misma cobertura. Algunas de las propiedades medidas en ellos tienen valores parecidos a los de la vegetación primaria y otros evidencian una disminución, como mostraron también Sandoval-Pérez *et al.* (2009). Claramente la agregación del suelo es una de las variables clave que mostraron no haberse recuperado en los acahuales (Figs. 5 y 6) y que es la base para la recuperación de muchas funciones, por lo que resulta una variable indicadora importante de monitorear. Una relación que sería importante diferenciar y fortalecer en estudios futuros es la de composición de las partículas, la agregación y la humedad, ya que el agua es el factor más limitante para los organismos en este ecosistema y la que regula la disponibilidad de nutrientes. Si confirmara su valor como indicador y su valor predictivo en la recuperación del suelo, la agregación, fácil, poco costosa y rápida de medir, podría usarse como indicador global de la calidad del suelo en este ecosistema.

El punto intermedio de calidad del suelo en el que se encuentran los acahuales (Fig. 15), podría significar una oportunidad de aprovechamiento sustentable, donde la productividad y estabilidad del sistema se mantienen y cubren funciones ecosistémicas de ciclaje de nutrientes, además de ser reservorios de especies o corredores biológicos (Lovejoy *et al.*, 1983). No obstante, sería imprescindible hacer estudios explorando las consecuencias de incorporar diferentes tipos de manejo en estas coberturas, para definir cuáles actividades productivas son posibles sin comprometer sustancialmente el proceso de recuperación del suelo y los servicios ecosistémicos que estas parcelas pueden proporcionar.

8. Conclusiones

1. La calidad del suelo abordada desde el atributo de estabilidad y resiliencia, cuya referencia son los sitios con vegetación natural y sin manejo, mostró diferencias

importantes aunque no solo en función de la cobertura sino también del sitio. El sitio en este sentido no se refiere a la zona, sino a las características específicas del sitio en cuestión, que incluyen sus atributos de manejo, vegetación y tipo de suelo.

2. La cobertura agrícola mostró valores mayores de densidad aparente, baja humedad, menos agregados mayores y menores a 1 mm, bajo contenido de amonio y muy poca presencia de actividad enzimática al compararse con zonas ganaderas.

3. El acahual mostró degradación intermedia y transición al agruparse en conjunto con las coberturas ganaderas, y también de forma independiente a dichos usos y la selva.

4. Las diferencias significativas observadas fueron pocas en el análisis univariado, pero el análisis de las relaciones positivas y negativas entre variables y el conjunto completo de datos, fundamentaron su importancia como indicadores de cambio, puesto que lograron diferenciar las coberturas analizadas.

5. La estructura y actividad microbiana asociada al nivel de estructuración, parecen ser las primeras en ser afectadas. Monitorearlas permitiría predecir la trayectoria en la disminución de la calidad del suelo e identificar el umbral de cambio.

6. Al seleccionar las variables o indicadores clave sería posible diseñar estrategias de manejo de la cobertura para disminuir la degradación y lograr mayor estabilidad, fertilidad y la permanencia de los servicios ecosistémicos, en bosque tropical seco, sitios sucesionales y de manejo agropecuario.

Recomendaciones

1. Para favorecer las relaciones entre la cobertura vegetal y la calidad del suelo podrían considerarse algunas alternativas de manejo, tales como a) conservar la vegetación leñosa y no dejar ganado pastando (Murguía-Flores, 2012) b) incorporar pastos, leguminosas y herbáceas (Hedlund, 2002), como fuente de carbono (Murguía-Flores, 2012) y 3) reducir la labranza e incluir residuos de cosecha (agricultura de la conservación) (Palm *et al.*, 2014).

2. Utilizar alternativas más integrales, como acoplar varios tipos de cobertura a escala de paisaje (Lavelle *et al.*, 2014) que faciliten la diversidad genética, la estructura vegetal y el movimiento de microorganismos para colonizar áreas degradadas (Swift *et al.*, 2004).

3. Se propone considerar más sitios de muestreo que esclarezcan la presencia o no de diferencias significativas en los análisis de amonio, pH y densidad aparente, lo que permitiría evaluar con solidez si las diferencias observadas son producto de la cobertura del suelo y no de la zona o su interacción.

9. Literatura citada

Acosta-Martinez, V., T. Zobeck, T. Gil y A. Kennedy. 2003. Enzyme activities and microbial community structure in semiarid agricultural soils. *Biology and Fertility of Soils*. **38**: 216–227 pp.

Angers, D., M. Bullock, G. Mehuys. 2008. Aggregate stability to water. En: Carter, M.R., Gregorich, E.G. (Eds.). *Soil Sampling and Methods of Analysis*, second ed. CRC Press, Boca Raton, FL. 811 pp.

Anta Fonseca, S., J. Carabias. 2008. Consecuencias de las políticas públicas en el uso de los ecosistemas y la biodiversidad, en *Capital natural de México*, vol. III: *Políticas públicas y perspectivas de sustentabilidad*. CONABIO, México, pp. 87-153 pp.

Arshand M. y G. Coen. 1992. Characterization of soil quality: physical and chemical criteria. *American Journal of Alternative Agriculture*. **7**: 25-31.

Arias, C. 2001. Suelos Tropicales. EUNED. 166 pp.

Aso, P. y V. Bustos. 1991. Uso de residuos orgánicos estiércol y cachaza como abonos. *Avance Agroindustrial*. **12** (44): 23-25 pp.

Astier, M., M. Maass y J. Etchevers. 2002. Derivación de Indicadores de calidad de suelos en el contexto de la agricultura sustentable. *Agrociencia*. **36** (005). 605-620 pp.

Bates R. G. 1973. Determination of pH-theory and practice (2a ed), New York, John Wiley 479 pp.

- Becknell, J., L. Kissing y J. Powers. 2012. Aboveground biomass in mature and secondary seasonally dry tropical forests: A literature review and global synthesis. *Forest Ecology Managemnt*, **276**: 88-95 pp.
- Bhardwaj, A., P. Jasrotia, S. Hamilton, G. Robertson. 2011. Ecological management of intensively cropped agro-ecosystems improves soil quality with sustained productivity. *Agriculture, Ecosystems and Envyroment*. **140**: 419-429 pp.
- Bierregaard R., T. Lovejoy, V. Kapos, A. dos Santos y R. Hutchings. 1992. The biological dynamics of tropical rainforest fragments. *BioScience*. **42**: 859-866 pp.
- Bouyoucos, G.J. 1962. Hydrometer method improved for making particle size analysis of soils. *Agronomy Journal*. **54**: 464-465 pp.
- Brady, C. y R.R. Weil. 1999. The nature and properties of soil. Prentice Hall. 12a edición. 881 pp.
- Brejda, J., T. Moorman, L. Karlen y T. Dao. 2000. Identification of regional soil quality and Indicators: I. Central and Southern High Plains. *Soil Science Society of American Journal*. **64**: 2115-2124 pp.
- Brown, S. y Lugo, A.E., 1990. Tropical secondary forest. *Journal of Tropical Ecology*. **6**:1-32 pp.
- Bullock, S. y J. Solís-Magallanes. 1990. Phenology of canopy trees of a tropical deciduous forest in Mexico. *Biotropica*. **21**: 22-35 pp.
- Campo, J., V. Jaramillo y J. Maass. 1998. Pulses of soil phosphorus availability in a Mexican tropical dry forest: Effects of seasonality and level of wetting. *Oecologia*. **115**: 167-172 pp.
- Castillo, A., A. Magaña, A. Pujadas, L. Martínez y C. Godínez. 2005. Understanding the interaction of rural people with Ecosystems: A case study in a Tropical Dry Forest of Mexico. *Ecosystems*. **8**: 630-643 pp.

Castillo, A., C. Godínez, N. Schroeder, C. Galicia, A. Pujadas-Botey y L. Martínez. 2009. El bosque tropical seco en riesgo: Conflictos entre uso agropecuario, desarrollo turístico y provisión de servicios ecosistémicos en la Costa de Jalisco, México. *INCI*. **34**. 12.

Castillo-Velázquez, K. 2013. Manejo y ecosistemas: Disponibilidad de nutrientes en un gradiente de regeneración de bosques tropicales. Tesis de licenciatura en Ciencias Ambientales. Universidad Nacional Autónoma de México.

Challenger, A. y J. Soberón. 2008. Los ecosistemas terrestres, en: *Capital natural de México*, vol. I: Conocimiento actual de la biodiversidad. CONABIO, México, 87-108 pp.

Cardona-Valadez, L. 2013. Respuesta de las propiedades del suelo de parcelas ganaderas de Chamela, Jalisco, a tratamientos de sombra y adición de materia orgánica con fines de recuperación de algunas funciones ecosistémicas del suelo. Tesis de licenciatura en Ciencias Ambientales. Universidad Nacional Autónoma de México.

Conway, G.R., 1994. Sustainability in agricultural development: trade-offs between productivity, stability, and equitability. *Journal of Farming Systems Research-Extension*. **4** (2): 1-14 pp.

Cotler, H., E. Durán y C. Siebe. 2002. Caracterización morfoedafológica y calidad de sitio en un bosque tropical caducifolio. En: Noguera, F.A., Vega Rivera, J., García-Aldrete, A.N. y Quesada Anemdaño, M. (eds.): *Historia Natural de Chamela*. Instituto de Biología, Universidad Nacional Autónoma de México, México, D.F.

Cotler, H. y M.P. Ortega-Larrocea. 2006. Effects of land use on soil erosion in a tropical dry forest ecosystem, Chamela Watershed, México. *Catena*. **65**: 107-117.

Cram, S., H. Cotler, L. Morales, I. Sonner, E. Carmona. 2007. Identificación de los servicios ambientales potenciales de los suelos en el paisaje urbano del Distrito Federal. *Investigaciones Geográficas, Boletín del Instituto de Geografía, UNAM*. **66**: 81-104.

Das, A., R. Lal, D. Patel, R. Idapuganti, J. Layej, S. Ngachan, P. Gosh, J. Bordoloi y M. Kumar. 2014. Effects of tillage and biomass on soil quality and productivity of lowland rice

cultivation by small scale farmers in North Eastern India. *Soil & Tillage Research*.50-58 pp.

De Ita-Martínez, C. y V. Barradas. 1986. El clima y los patrones de producción agrícola en una selva caducifolia de la costa de Jalisco, México. *Biotica*. **11**: 237-245.

Dick, R.P., 1992. A review: long-term effects of agricultural systems on soil biochemical and microbial parameters. *Agriculture Ecosystems and Environment*. **40**: 25-36 pp.

Dick, W. y T. Daniel. 1987. Soil chemical and biological properties as affected by conservation tillage: Environmental impacts. En: T. Logan *et al.* (editors) Effects of Conservation Tillage on Groundwater Quality: Nitrates and Pesticides. Lewis Publishers, Inc., Chelsen, MI, USA.

Doran, J.W., 1980. Soil microbial and biochemical changes associated with reduced tillage. *Soil Science Society of American Journal*. **44** :765-77 1 pp.

Doran, J.W., y B.T. Parkin. 1994. Defining soil quality for a sustainable environment. *Soil Science Society of America*, Special Publication. **35**.

EI-Haris, V. Cochran, L. Elliot, y D. Bezdicek. 1983. Effect of tillage, cropping, and fertilizer management on soil nitrogen mineralization potential. *Soil Science Society of American Journal*. **47**: 1157-1161 pp.

Fahrig L. y Merriam G. 1985. Habitat patch connectivity and population survival. *Ecology*. **66**:1762-1768.

Fredrickson, J. y L. Elliott. 1985. Effects on winter wheat seedling growth by toxinproducing rhizobacteria. *Plant and Soil*. **83**: 399-409 pp.

García-Oliva, F. y J. M. Maass. 1998. Efecto de la transformación de la selva a pradera sobre la dinámica de los nutrientes en un ecosistema tropical estacionario en México. *Boletín de la Sociedad Botánica de México*. **62**: 39-48.

García-Oliva, F., R.L. Stanford Jr. Y E. Kelly. 1999. Effect of burning tropical deciduous forest soil in Mexico on the microbial degradation of organic matter. *Plant and soil*. **206**: 29-36

García-Oliva, F., A. Camou y J.M. Maass 2002. El clima de la región central de la costa del Pacífico mexicano. En: F. Noguera, J. H. Vega, A. N. García-Aldrete y M. Quesada (eds.). *Historial Natural de Chamela*. Universidad Nacional Autónoma de México. 3-10 pp.

García-Oliva, F., Sveshtarova, B., y Oliva, M. 2003. Seasonal effects on soil organic carbon dynamics in a tropical deciduous forest ecosystem in western Mexico. *Journal of Tropical Ecology*. **19**: 179–188 pp.

Gomez-Pompa, A., R. Dirzo. Y E. Becerra. 1995. Reservas de la Biosfera y otras Áreas Naturales Protegidas de México. SEMARNAP-INE y CONABIO. México. 162 pp.

Gutiérrez, A.R. 1993. La ganadería extensiva en el trópico seco mexicano: causas, consecuencias y manifestaciones en su medio social. Tesis de licenciatura. Facultad de Filosofía y Letras. Universidad Nacional Autónoma de México.

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.

Hedlund, K. 2002. Soil microbial community structure in relation to vegetation management on former agricultural land. *Soil Biology and Biochemistry*. **34**:1299-1307 pp.

Jaiyeoba, I.A., 2003. Changes in soil properties due to continuous cultivation in Nigerian semiarid Savannah. *Soil and Tillage Research*. **70**: 91–98.

Janzen D.H. 1986. The future of tropical ecology. *Annual Review of Ecology and Systematics*. **17**:305-324 pp.

Jaramillo, D. 2002. Introducción a la ciencia del suelo. Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Ciencias, Medellín.

Kauffman, J. B., M. Steele, D. Cummings, y V. Jaramillo. 2003. Biomass dynamics associated with deforestation, fire, and conversion to cattle pasture in a Mexican tropical dry forest. *Forest Ecology and Management*. **176**: 1–12 pp.

Kellman M. 1996. Redefining roles: plant community reorganization and species preservation in fragmented systems. *Global Ecology and Biogeography Letters*. **5**:111-116.

Klein, T.M. y J. Kothe. 1980. Urease, protease, and phosphatase in soil continuously cropped to corn by conventional or no-tillage methods. *Soil Biology and Biochemistry*. **12**: 293-294 pp.

Kremer, R.J., Li, J., 2003. Developing weed-suppressive soils through improved soil quality management. *Soil and Tillage Research*. **72**: 193–202 pp.

Larson, W., y F. Pierce. 1991. Conservation and enhancement of soil quality, en IBSRAM (ed.), *Evaluation for sustainable land management in the developing world*. Vol. 2, International Board for Soil Research and Management Proceeding. **12** (2), Bangkok. 175-203 pp.

Lavelle, P., N. Rodríguez, O. Arguello, J. Bernal, C. Botero, P. Chaparro, Y. Gómez, A. Gutiérrez, M. Del Pilar, S. Loaiza, S. Xiomara, E. Rodríguez, C. Sanabria, E. Velásquez y S. Fonte. 2014. Soil ecosystem services and land use in the rapidly changing Orinoco River Basin of Colombia. *Agriculture, Ecosystems and Environment*. **185**. 106-117.

Leiva, J., O. Rocha, R. Mata y M. Guiterrez-Soto. 2009. Cronología de la regeneración del bosque tropical seco en Santa Rosa, Guanacaste, Costa Rica. II. La vegetación en relación con el suelo. *Rev. biol. Trop.* **57**: 3. San José.

Levy-Tacher S.I. 2000. Sucesión causada por roza-tumba-quema en las selvas de Lacanha, Chiapas. Tesis de doctorado, Colegio de Postgraduados, Montecillo, Edo. de México, 140 pp.

Li, Y., M. Shao. 2006. Change of soil physical properties under long-term natural vegetation restoration in the Loess Plateau of China. *Journal of Arid Environments*. **64**: 77-96.

Lovejoy T.E., Bierregaard R.O., Rankin J.M. y Schubart H.O.R. 1983. Ecological dynamics of tropical forest fragments. En: Sutton S.L., Whitmore T.C. y Chadwick A.C. Eds. *Tropical Rain Forest Ecology and Management*, pp. 377-384. Blackwell Scientific Publications. Oxford.

McGill, W.B., K. Cannon, J. Robertson, y E. Cook. 1986. Dynamics of soil microbial biomass and water-soluble organic C in Breton L after 50 years of cropping to two rotations. *Can. J. Soil Science*. **66**: 1-19 pp.

Martínez-Trinidad, S., C. Etchevers-Barra, V. Ordaz-Chaparro y F. León-González. 2008. Efecto del manejo en la agregación del suelo en un ecosistema tropical seco. *TERRA Latinoamericana*. **28** (4). Universidad Autónoma de Chapingo. México.

Meriles, J., S. Vargas Gil, C. Conforto, G. Figoni, E. Lovera, G. March, y C. Guzmán. 2009. Soil microbial communities under different soybean cropping systems: characterization of microbial population dynamics, soil microbial activity, microbial biomass, and fatty acid profiles. *Soil and Tillage Research*. **103**: 271–281 pp.

Martyniuk, S. y G. Wagner. 1978. Quantitative and qualitative examination of soil microflora associated with different management systems. *Soil Science*. **125**: 343-350 pp.

Maass, J.M., V. Jaramillo, A. Martínez-Yrizar, F. García-Oliva y J. Sarukhán. 1994. The Chamela watershed project. Instituto de Ecología, Universidad Nacional Autónoma de México. 6 pp.

Maass, J.M., V. Jaramillo, A. Martínez-Yrizar, F. García-Oliva, A. Pérez-Jiménez y J. Sarukhán. 2002. Aspectos Funcionales del Ecosistema de Selva Baja Caducifolia en Chamela, Jalisco. En: Noguera, F.A., J.H. Vega Rivera, A.N. García Aldrete y M. Quesada Avendaño (Eds.). *Historia Natural de Chamela*. Instituto de Biología, UNAM. México 525-542 pp.

Maass, M., P. Balvanera, A. Castillo, G. Daily, H. Mooney, P. Ehrlich, M. Quesada, A. Miranda, V. Jaramillo, F. García-Oliva, A. Martínez-Yrizar, H. Cotler, J. López-Blanco, A. Pérez-Jiménez, A. Búrquez, C. Tinoco, G. Ceballos, L. Barraza, R. Ayala y J. Sarukhán.

2005. Ecosystem Services of Tropical Dry Forest: Insights from Long-term Ecological and Social Research on the Pacific Coast of Mexico. *E y S.* **10**(1): 17.

Masera, O., M. Astier, S. López-Ridaura. 1999. Sustentabilidad y Manejo de Recursos Naturales. El marco de Evaluación MESMIS. MundiPrensa-GIRA-UNAM, México. 109 pp.

Mehlich A., 1984. Mehlich N° 3 extractant: a modification of Mehlich N° 2 extractant. *Communications in Soil Science and Plant Analysis.* **15**, 1409-1416 pp.

Milton, L. y R. Troeh. 1988. Los suelos y su fertilidad. Reverte. 649 pp.

Murguía-Flores, F. 2012. El efecto de las especies leñosas en la recuperación natural de los suelos posterior al uso ganadero, en la región de Chamela, Jalisco. Tesis de grado para Maestría en Ciencias Biológicas. Morelia, Mich

Navarro, S. y G. Navarro. 2003. Química agrícola. El suelo y los elementos químicos esenciales para la vida vegeta. Mundi-Prensa. 587 pp.

Nimmo, J. 2004. Aggregation: physical aspects, en: D. Hillel (Ed.) *Encyclopedia of Soils in the Environment.* Academic Press, London.

Noguera, F. 1994. "La estación de biología Chamela, Ibaunam, como un área natural protegida". En: Memoria de resúmenes. Primer congreso sobre áreas naturales protegidas de México: Pasado, presente y futuro. Universidad Autónoma de Tlaxcala, Tlaxcala. 31-33 pp.

Norma ASTM D2216: Test Method for laboratory Determination of Water (moisture) Content of Soil and Rock) (Klute A. (Ed.), *Methods of Soil Analysis: Part 1. Physical and Mineralogical Methods.* Agronomy Monograph. 25. *American Society of Agronomy-Soil Science Society of America*, Madison, WI. 363–375 pp.

Ochoa-Gaona S. y González-Espinosa M. 2000. Land-use patterns and deforestation in the highlands of Chiapas, Mexico. *Applied Geography.* **20**:17-42 pp.

- Ouyang, W., Y. Xu, F., Hao, X. Xuelei, C. Siyang y C. Lin. 2013. Effect of long-term agricultural cultivation and land use conversion on soil nutrient contents in the Sanjiang Plain. *Catena*. 243-250 pp.
- Palm, C., H. Blanco-Caqui, F. DeClerck, L. Gatere y P. Grace. 2014. Conservation agricultura and ecosystem services: An overview. *Agriculture, Ecosystem and Environment*. **187**. 87-105.
- Paudel, B. R. Udawatta y S. Anderson. 2011. Agroforestry and grass buffer effects on soil quality parameters for grazed pasture and rowcrop systems. *Applied Soil Ecology*. **48**, 125-132 pp.
- Parr, J., R. Papendick, S. Hornick y R. Meyer. 1992. Soil quality: Attributes an relationship to alternative as sustainable agriculture. *American Journal of Alternative agriculture*. **7**: 5-11 pp.
- PNUMA (Programa de Naciones Unidas para el Medio Ambiente). 2000. *Annual Review*, Nairobi, Kenia.
- Portillo-Quintero, C. y G. Sánchez-Azofeifa. 2010. Extent and conservation of tropical dry forest in the Americas. *Biological Conservation*. **143**: 144-155 pp.
- Pregitzer, K.S., E. Euskirchen. 2004. Carbon cycling and storage in world forests: biome patterns related to forest age. *Global Change Biology*. **10**: 2052–2077 pp.
- Rendón-Carmona, H., A. Martínez-Yrizar, P. Balvanera y D. Pérez-Salicrup. 2009. Selective cutting of woody species in a Mexican tropical dry forest: incompatibility between use and conservation. *Forest Ecology and Management*. **257**: 567-579 pp.
- Robertson, P., C. Coleman, S. Bledsoe y P. Sollins. 1999. Standard soil methods for long-term ecological research (LTER). Oxford University, Oxford, EE.UU.
- Rodríguez, R. 1999. Cartografía morfogenética jerárquica a tres escalas del área del microbloque El Colorado, Chamela, Jalisco. Tesis Licenciatura, Facultad de Filosofía y Letras, Universidad Nacional Autónoma de México.

Romero , R., S. Castillo, S. y H. Van der Wal. 2000. Análisis florístico de la vegetación secundaria derivada de la selva húmeda de montaña de Santa Cruz Tepetolutla (Oaxaca) México. *Boletín de la Sociedad Botánica de México*. (67) 89-106 pp.

Rzedowski, J. 1978. La vegetación de México. Editorial Limusa. México. 432 pp.

Rzedowski, J. y G. Rzedowski. 2013. Datos para la apreciación de la flora fanerogámica del Bosque Tropical Caducifolio de México. *Acta Botánica Mexicana*. **102**: 1-23 pp.

Sánchez-Azofeifa, A., M. Quesada, P. Cuevas-Reyes, A. Castillo, G. Sánchez-Montoya. 2000. Land cover and conservation in the area of influence of the Chamela-Cuixmala Biosphere Reserve, Mexico. *Forest Ecology Managemenet*. **258**: 907-912 pp.

Sandoval-Pérez, A., M. Gavito, F. García-Oliva y J. Jaramillo. 2009. Carbon, nitrogen, phosphorus and enzymatic activity under different land uses in a tropical, dry ecosystem, *Soil, Use and Managemenet*. **25**, 419-426 pp.

Secretaría de Programación y Presupuesto (SPP). 1981. Información geodésica del territorio nacional en la SPP. Distrito Federal, México.

SEMARNAT y Colegio de Postgraduados. 2003. *Evaluación de la degradación de los suelos causada por el hombre en la República Mexicana, 1 : 250 000*. Memoria Nacional 2001-2002. México.

SEMARNAT Y PNUD. 2005. Indicadores básicos de desempeño ambiental. México.

Seybold, C., M. Mausbach, D. Karlen y H.H. Rogers. 1997. Quantification of soil quality, en R. Lal, J.M. Kimble, R.F. Follet y B.A. Stewart (eds.), *Soil process and the carbon cycle*, CRC Press, Nueva York. 387-403 pp.

Shaaf, P. 1997. Multicomponent parenthood of magmas of Mexcian Cordillera Granitic: An Overview. In: Volvanic activity and the environment. IAVECI, Puerto Vallarta, 19-24 pp.

SIAP-SAGARPA. 2012. Anuario estadístico de la producción pecuaria de los Estados Unidos Mexicanos. Sistema de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP), Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación, México

Silver, W., J. Neff, M. McGroddy, E. Veldkamp, M. Keller y R. Cosme. 2000. Effects of soil texture on belowground carbón and nutrient storage in a lowland Amazonian forest Ecosystems. *Ecosystems*. **3**: 193-209 pp.

Singh, J y A. Kashyap. 2004. Dynamics of variable nitrifier community, N-mineralization and nitrification in seasonally dry tropical forest and savanna. *Microbial Research*. **161**, 169-170 pp.

Stevens, J. 1986. Applied multivariate statistics for the social sciences (2nd ed.). Hillsdale, NJ: Erlbaum.

Swift, M., A. Izac y M. Noordwijk. 2004. Biodiversity and ecosystem services in agricultural landscapes-are we asking the right questions? *Agriculture, Ecosystems and Environment*. **104**. 113-134.

Tabatabai, M. A. and J. M. Bremner. 1969. Use of p-nitrophenol phosphatase activity. *Soil Biology and Biochemistry*. (1) 301-307 pp.

Technicon Industrial Systems. 1977. Silicates in water and seawater Industria. Method No. 186-72W/B. Technicon Industrial Systems, Terrytown, N.Y.

Tisdall, J. y J. Oades. 1982. Organic matter and water stable aggregates in soils. *J. Soil Science*. **33** (2), 141-163 pp.

Trejo, I., Dirzo, R. 2000. Deforestation of seasonally dry tropical forest: a national and local analysis in Mexico. *Biological Conservation*. **94**: 133-142 pp.

Udawatta, R.P., Kremer, R.J., Adamson, B.W., Anderson, S.H., 2008. Variations in soil aggregate stability and enzyme activities in a temperate agroforestry practice. *Applied Soil Ecology*. **39**: 153-160 pp.

Vallejo, V., Z. Arbeli, W. Terán, N. Lorenz, R. Dick y F. Rodán. 2012. Effect of land management and *Prosopis juliflora* (Sw.) DC trees on soil microbial community and enzymatic activities in intensive silvopastoral systems of Colombia. *Agriculture, Ecosystems and Environment*. 139-148 pp.

Willard H. H., Merrit L. L., Dean J. A. 1974. Instrumental methods of analysis. 5th edition Van Nostrand.

Wood, S., S. Ehui, J. Alder, S. Benin, K.G. Cassman . 2005. Food, en R. Hassan, R. Scholes y N. Ash (eds.) Ecosystems and human well-being. Current state and trends, vol. 1, findings of the condition and Trends Working Group of the Millenium Ecosystem Assesment. *Island Press*, Washington, D.C. 209-242 pp.