



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA
DE MÉXICO**

FACULTAD DE CIENCIAS

**Evaluación de prácticas de manejo de la
cobertura vegetal para reducir la pérdida de
suelo en huertas de aguacate (*Persea americana*)**

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

BIÓLOGO

P R E S E N T A:

Jean Arnaud García Brulé

DIRECTORA DE TESIS:

Dra. Mayra Elena Gavito Pardo (2015)

Ciudad Universitaria, D. F. 2015



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

1. Datos del alumno
García
Brulé
Jean Arnaud
56662992
Universidad Nacional Autónoma de México
Facultad de Ciencias
Biología
305516444
2. Datos del tutor
Dra.
Mayra Elena
Gavito
Pardo
3. Datos del sinodal 1
Dra.
Silke
Cram
Heydrich
4. Datos del sinodal 2
Dra.
María Guadalupe
Barajas
Guzmán
5. Datos del sinodal 3
M en C
Irene
Sánchez
Gallen
6. Datos del sinodal 4
Dr.
Manuel Eduardo
Mendoza
Cantú
7. Datos del trabajo escrito
Evaluación de prácticas de manejo de la cobertura vegetal para reducir la pérdida de suelo en
huertas de aguacate (*Persea americana*)
81 p
2015

Agradecimientos

Agradezco el financiamiento otorgado por la UNAM a través de los proyectos del Programa de Apoyo a Proyectos de Investigación e Innovación Tecnológica IACOD No. T1200111 y PAPIIT No. TB100412-2. Asimismo al proyecto “Evaluación del impacto ecológico del cultivo del aguacate a nivel regional y de parcela en el estado de Michoacán: validación de indicadores ambientales en los diferentes tipos de producción” por parte de la Fundación Produce Michoacán (etapa 1) y la Coordinadora de Fundaciones Produce (etapa 2). Además, agradezco por el apoyo técnico de Yair Merlín Uribe, Laura Villamil Echeverri, Eloy Pat López, Miguel Prado López, Juan Tenopala Carmona y el apoyo logístico de la Asociación de productores de aguacate de Uruapan, Michoacán (AALPAUM). Finalmente un agradecimiento a los dueños de las huertas de aguacate por permitir la realización de este trabajo.

Personales:

Antes que nada me gustaría agradecer a las personas que me acompañaron directamente durante la creación de este trabajo y me ayudaron durante las salidas al campo: Mayra, Yair, Gari, Laura y Eloy, muchas gracias por su compañía y ayuda. También quiero agradecer a los sinodales que leyeron y revisaron este trabajo.

Agradezco infinitamente a mi madre, padre y hermana, por su comprensión, su ejemplo y sobre todo su compañía en la vida.

Agradezco enormemente a mi familia más cercana, familia en términos genéticos y amigos del *alma*, por expresar su amor y cualidades humanas, contagiarme de una sensación ligera y enseñarme otras maneras de concebir el mundo.

Agua pasa por mi casa, cate de mi corazón.

Agradecimientos	3
Índice	5
Resumen	6
1. Introducción	9
1.1. El suelo	
1.2. Erosión del suelo	
1.2.1. Clasificaciones	
1.2.2. Tipos de erosión hídrica	
1.2.3. Causas y consecuencias	
1.2.4. Tolerancia	
1.2.5. Control y prevención	
1.2.6. Estimación de la erosión hídrica	
1.2.7. Cuantificación	
1.3. Morfología vegetal: medida de mitigación de la erosión	
2. Antecedentes	16
3. Justificación	22
4. Planteamiento del problema	22
5. Objetivo	23
5.1. Particulares	
6. Hipótesis	24
7. Método	24
7.1. Área de estudio y huertas	
7.2. Tratamientos	
7.3. Erosión	
7.4. Cobertura del suelo	
7.5. Análisis estadístico	
8. Resultados	37
8.1. Cobertura del suelo general (80 m ²)	
8.2. Cobertura del suelo en cuadros de (1 m ²)	
8.3. Erosión en trampas de suelo	
8.4. Erosión en sistema de estacas	
8.5. Cobertura vegetal vs erosión entrampas de suelo	
8.6. Cobertura vegetal vs erosión en sistemas de estacas	
8.7. Estimación de la erosión mediante la ecuación universal de pérdida de suelo (EUPS)	
9. Discusión	65
10. Conclusión	73
Literatura citada	74
Anexos	

Resumen

En este trabajo exploré la influencia que tienen algunas prácticas comunes de manejo de la cobertura vegetal en las huertas de aguacate (*Persea americana* Mill.) en el estado de Michoacán, tales como la poda de los árboles y el corte de la hierba, sobre la erosión del suelo.

El nivel de cobertura vegetal enraizada *versus* cobertura aérea y la proporción de plantas con un crecimiento vertical y determinado (eudicotiledóneas en su mayoría) con respecto a las plantas con forma de crecimiento horizontal e indeterminado (plantas gramíneas) podrían ser factores que influyen sobre la erosión por su capacidad de retención del suelo.

Analiqué si la poda de las copas de los árboles promueve el crecimiento de plantas herbáceas por debajo de éstos, así como si el corte de la hierba aumenta la proporción de gramíneas con respecto a otras herbáceas. También busqué determinar si existe una relación entre los niveles de erosión en las huertas de aguacate y la poda de los árboles, así como una relación entre la erosión y el corte de la hierba al modificar el tipo y el grado de cobertura vegetal.

Evalué seis huertas maduras (> 11 años con cultivo de aguacate) con dosel cerrado durante dos años en la zona de la Meseta Tarasca en el estado de Michoacán. En éstas realicé un análisis del tipo de cobertura del suelo dentro de cada huerta en parcelas experimentales con tres tratamientos de manejo (1. Manejo normal, es decir sin poda de los árboles y sin chaponeo [dado que no hay hierbas por la oscuridad que genera el dosel], 2. Con poda y con chaponeo de hierbas y 3. Con poda y sin chaponeo de hierbas) en cada huerta. Medí la erosión del suelo directamente en las parcelas experimentales mediante dos métodos diferentes (trampas de suelo desplazado y niveles en estacas) y también la estimé mediante la ecuación universal de pérdida de suelo (EUPS).

Encontré diferencias significativas en la extensión de la cobertura herbácea y de hojarasca entre tratamientos. Por otro lado, el corte de la hierba no causó diferencias significativas en el nivel de cobertura de las herbáceas pero sí tiende a aumentar el número de especies de plantas presentes.

La poda de la copa de los árboles redujo la erosión a niveles cercanos a cero mediante el aumento en la superficie cubierta por plantas herbáceas. Sin embargo el corte de la hierba y las diferencias en cobertura herbácea gramínea y no gramínea no tuvieron influencia en la erosión, que fue prácticamente nula cuando el suelo estuvo protegido con hierbas enraizadas de cualquier tipo.

La EUPS no fue efectiva para estimar la erosión en este contexto; con los valores de erosión medidos en este estudio se pudo comprobar que la ecuación sobreestima sustancialmente

la erosión del suelo y que el refinamiento del factor de cobertura vegetal es muy importante para predecir mejor la pérdida del suelo en los suelos de las huertas aguacateras en las montañas de Michoacán.

Este trabajo demuestra que el diseño de la cobertura vegetal de las huertas es fundamental para reducir la erosión ya que, aunque la cobertura arbórea de las huertas protege bastante el suelo, la sombra generada y la acumulación de hojarasca reducen la cobertura de hierbas enraizadas que son las que claramente lograron reducir la erosión a niveles comparables a los de los bosques y muy cercanos a la meta de cero pérdidas. Esto sustenta la recomendación de promover que las huertas de esta región mantengan un diseño abierto con podas regulares que permitan un ambiente luminoso y que los cortes de hierba sean moderados para permitir una cobertura amplia y diversa de hierbas. Las hierbas, además de evitar la pérdida de suelo, proporcionan otros beneficios como el de atraer polinizadores y agentes de control biológico natural y mejoran la calidad física, química y biológica del suelo.

Abstract

In this study I explored the effect of common plant cover management practices, such as tree pruning and herb trimming, on soil erosion in avocado (*Persea americana* Mill.) orchards in the state of Michoacán.

The extent of aerial vs. directly rooted plant cover and the proportion of plants with vertical, determinate growth (eudicots in general) in relation to plants with horizontal, indeterminate (graminoids) growth, may be factors influencing soil erosion because of their soil retention capacity. I examined the effect of tree pruning on herb cover and the effect of herb trimming on the proportion of graminoid species vs. other herbaceous species. I analyzed these effects to determine if there is a relationship between tree pruning and soil erosion, as well as between soil erosion and the type and extent of plant cover.

I conducted the study in six mature orchards (>11 years under avocado cultivation), with close canopy, during two years in the Tarasca Highland of Michoacán State in Mexico. I analyzed plant cover in three experimental treatments (1. Normal management, which means no tree pruning and no trimming [given the absence of herbs due to darkness generated by the large canopies], 2. Tree pruning and herb trimming, and 3. Tree pruning and no herb trimming) within each orchard. I measured soil erosion directly with two

methods (displaced soil traps and levels in wooden poles) and I estimated it with the Universal Soil Loss Equation (USLE).

There were significant differences in the extent of herb and leaf cover between treatments. Herb trimming did not significantly affect the extent of herb cover but does tend to increase the number of species that were present. Tree pruning reduced soil erosion to almost zero through an increase in herb cover. Herb trimming or the differences in graminoid vs. non-graminoid cover had no effect on soil erosion, which was minimal in both treatments with high herb cover of any kind.

USLE estimates were not effective to estimate soil loss in this context; measured values demonstrated that USLE highly overestimated soil erosion and that the refinement of the plant cover factor is very important to make better predictions of soil loss for the Andosols of avocado orchards in the mountains of Michoacán. This study shows that plant cover management in the orchards is crucial to reduce soil erosion because tree cover protects the soil but favors darkness and the accumulation of litter, thereby reducing herb cover, which clearly brought soil loss to levels as low as those measured in forests and close to the target of zero losses. This supports the recommendation to promote that orchards in this region maintain an open design through regular tree pruning that allows a bright environment and that herb trimming is moderate to favor a wide and diverse herb cover. Besides reducing soil erosion, herb cover may bring additional benefits like pollinator and natural biological control agent attraction and amelioration of soil physical, chemical and biological quality.

1. Introducción

El impacto ecológico de los sistemas agrícolas depende en gran medida de la extensión del cultivo y el tipo de manejo que se lleve a cabo (Haynes, 1980; Ryszkowski, 2002; Altieri y Nicholls, 2005). Muchos de los problemas ambientales causados por la agricultura industrializada surgen al ignorar las relaciones y flujos de energía entre los seres humanos, las plantas, los animales y el suelo dentro de las huertas. Esto genera diversos problemas bióticos y abióticos (Altieri y Nichols, 2005).

Los problemas más comunes asociados a la agricultura industrial son la degradación y pérdida de suelos, pérdida de nutrientes, alcalinización y salinización, contaminación química del agua y suelo, disminución en la capacidad de retención de agua, el desperdicio de agua y energía, la liberación de gases de efecto invernadero y la pérdida de áreas fértiles, pérdidas en la diversidad de cultivos, plantas silvestres y animales, pérdida de enemigos naturales, resistencia genética a los pesticidas, mayor susceptibilidad a plagas y enfermedades y destrucción de mecanismos de control naturales (Ryszkowski, 2002; Altieri y Nichols, 2005). Es común asociar este tipo de problemas con los sistemas dependientes de agroquímicos, sin embargo, los sistemas orgánicos también pueden presentar algunos de éstos. En particular, los sistemas de manejo de aguacate en nuestro país incluyen convencionales, orgánicos y varias formas híbridas (González-Esquivel, 2015).

1.1 El suelo

Existen diversas definiciones para el concepto de suelo. De manera general, el suelo puede definirse como una mezcla porosa de materiales no consolidados, mineral y/u orgánico, que se encuentra en la superficie inmediata de la Tierra y que sirve como medio natural para el crecimiento de las plantas terrestres (Chesworth, 2008). Otras definiciones incorporan también a los cinco factores formadores de suelo. Un ejemplo es la definición de la base referencial mundial para el recurso suelo (WRB), según la cual, el suelo es un cuerpo tridimensional con propiedades que reflejan el impacto del clima, la vegetación, la fauna, el ser humano y la topografía sobre el material parental del suelo en un lapso de tiempo variable (FAO, 2001).

La formación del suelo (pedogénesis) es lenta y gradual y ocurre debido a las interacciones entre la litósfera, atmósfera y biósfera durante cientos de miles de años. Las complejas

interacciones entre estos tres elementos dan origen a procesos tales como la intemperización, translocación y procesos de degradación como la erosión y lixiviación (Wilding *et al.*, 1983; Lavelle y Spain, 2003).

De manera general, los factores que determinan las propiedades y características del suelo en formación se agrupan en cinco, clima, material parental, organismos vivos, topografía y tiempo (Lavelle y Spain, 2003).

El suelo es un recurso vital para las formas de vida en el planeta incluyendo al ser humano. Además de su función como medio para el crecimiento de las plantas, este recurso es imprescindible para mantener la calidad del agua, y la seguridad alimentaria, procesar residuos urbanos e industriales y almacenar carbono y metano para contrarrestar el cambio climático (Blanco y Lal, 2008).

1.2 Erosión del suelo

El concepto de erosión del suelo tiene diferentes significados dependiendo del autor y contexto en el que se utilice. De manera general, la erosión del suelo (del latín erodere: roer, ramonear, corroer) se refiere al desgaste de éste por la acción del agua y el viento (Zachar, 1982). En este contexto, la mayor parte de los autores incluyen a la destrucción del suelo causada por la actividad antropogénica dentro de este mismo concepto. Por otro lado, Schultze en 1952 se encuentra entre los primeros autores en referirse a la erosión del suelo como la acción o efecto de remover el suelo o las partículas de suelo por factores bióticos o abióticos. De esta manera, el concepto de erosión del suelo se ha generalizado para referirse más comúnmente al movimiento y pérdida de suelo de un sitio determinado (Blanco y Lal, 2008). En este trabajo, me referiré al término erosión del suelo en este contexto más amplio.

1.2.1 Clasificaciones

De manera general, la erosión del suelo puede dividirse en erosión geológica o natural y erosión acelerada.

La erosión geológica se refiere a un proceso natural de intemperización que ocurre en todos los suelos y mediante el cual ocurre la formación de éstos. Este tipo de erosión no es provocado por la actividad humana. Por otro lado, la erosión acelerada comienza cuando el ritmo de pérdida sobrepasa cierto umbral, el cual debe exceder el ritmo de generación del suelo y afectar su productividad. Este último tipo de erosión se encuentra asociado con

el ser humano, ya que diversas actividades antropogénicas (sobre todo la deforestación y actividad agrícola) dejan al suelo más expuesto que en su condición natural (Zachar, 1982; Hurni, 1983, Alexander, 1985; Blanco y Lal, 2008).

La erosión también puede clasificarse según el factor que la ocasiona (el viento produce erosión eólica, el hielo erosión glaciaria, el oleaje del mar erosión costera, etc.). La lluvia y la escorrentía, frecuentemente con la formación de surcos y cárcavas (escorrentía lineal), son los factores que producen erosión del suelo de manera más severa en regiones húmedas y sub-húmedas (Sparovek y DeMaria, 2003). En cambio, en las regiones áridas y sub-áridas, la erosión por viento suele ser la causa principal del movimiento y desgaste del suelo (Blanco y Lal, 2008). Hay que señalar que la erosión hídrica puede ocurrir de manera conjunta con la erosión eólica en algunos sitios (Mass y Garcia-Oliva, 1990). Los glaciares son otro agente importante de erosión en regiones frías (Zachar, 1982).

1.2.2 Tipos de erosión hídrica

Los tipos de erosión hídrica más importantes son por salpicadura, laminar, surcos y cárcavas. La erosión por salpicadura es aquella que ocurre directamente por el impacto de las gotas de lluvia sobre la superficie del suelo. La erosión laminar ocurre mediante la escorrentía difusa que se produce entre pequeños riachuelos en forma de una capa delgada de agua y partículas. Ésta es la forma más común e importante de erosión pero también la menos visible; junto con la erosión por salpicadura conforman alrededor del 70% de la erosión total del suelo. La erosión por surcos ocurre posteriormente, al formarse canales o riachuelos que transportan el suelo mezclado con el agua de la escorrentía. Finalmente, la erosión en cárcavas, la cual crea canales en forma de “V” con al menos 30cm de profundidad. Éstos se forman debido a la concentración de flujos de agua. Este tipo de erosión es capaz de remover horizontes enteros de suelo (Blanco y Lal, 2008).

1.2.3 Causas y consecuencias

Se considera que la pérdida de suelo comienza a representar un problema cuando ésta es *acelerada*, provocando pérdidas de suelo 13-40 veces más rápidas que la regeneración del mismo. Se estima que se pierden alrededor de 75 billones de toneladas de suelo anuales debido a la erosión a nivel mundial (Pimentel *et al.*, 1995; Pimentel y Kounang, 1998). Esto se debe a que un 50% de los ambientes terrestres se encuentran influenciados por la actividad agrícola, la cual implica un proceso de deforestación previo en la mayoría de los casos (Pimentel *et al.*, 1995; Zuazo y Pleguezuelo, 2008). Como referencia, es importante

mencionar que los niveles de erosión a nivel mundial pueden variar desde 0.001-2 Mg ha⁻¹ año⁻¹ hasta más de 100 Mg ha⁻¹ año⁻¹ en algunos casos (Hurni H., 1985, Pimentel *et al.*, 1995).

La causa principal de la erosión hídrica es la energía cinética de la lluvia, la cual tiene mayor impacto sobre suelos descubiertos o áreas deforestadas. Sin embargo, existen varios factores que pueden modificar la cantidad de suelo que se pierde. Los más importantes son: la precipitación (frecuencia, intensidad y duración), el tipo de suelo (textura, cantidad de materia orgánica, estructura y permeabilidad), la cubierta vegetal y densidad de los cultivos (según manejo y madurez), la pendiente (ángulo y longitud de pendiente) y las prácticas de conservación de suelo (curvas de nivel, barreras biofísicas, entre otras) (Wischmeier y Smith, 1978).

Los procesos de erosión tienen un impacto directo sobre la productividad del suelo (Pimentel *et al.*, 1995; Pimentel y Kounang, 1998) y contribuyen a la disminución en la diversidad de plantas, animales, microbios (Pimentel y Kounang, 1998), así como en la pérdida de nutrientes y energía en el sistema (Pimentel *et al.*, 1995). Otro factor que se ve afectado es la capacidad de retención de agua y humedad (Morgan, 2005), lo cual perjudica el funcionamiento hidrológico de las huertas. Esto es importante debido a que la accesibilidad al agua es el principal factor limitante para la productividad (Zuazo y Pleguezuelo, 2008).

En general, se considera que el uso de suelo agrícola es más propenso a la erosión, ya que la vegetación original es removida y en muchos casos se practica el arado y se hace uso excesivo de herbicidas, dejando al suelo descubierto, suelto y vulnerable ante el impacto de las gotas de lluvia y la escorrentía (Pimentel y Kounang, 1998). Es cierto que la erosión hídrica es menor en suelos con poca pendiente (Fang *et al.*, 1914), sin embargo, ante el inminente crecimiento del uso de suelo agrícola a nivel mundial, es común que zonas con pendientes pronunciadas sean transformadas en tierras de cultivo (Pimentel *et al.*, 1995).

Como consecuencia de esto, en la década de los noventa se estimó que 30% de la tierra arable a nivel mundial ya se había tornado improductiva a causa de la erosión (Kendall y Pimentel, 1994). La pérdida de productividad frecuentemente lleva al abandono de las tierras y a la tala subsecuente de nuevas áreas con vegetación natural (Bravo-Espinosa *et al.*, 2005). Gran parte del área destinada al uso de suelo agrícola se encuentra en regiones con pendientes pronunciadas, lo cual también acelera los procesos de pérdida de suelo cuando no se ejecutan medidas para prevenirlo (El-Swaify *et al.*, 1982; Bravo *et al.*, 2005; Norris *et al.*, 2008). Hay que mencionar que la intensificación de la actividad agrícola, la cual implica grandes aportes de fertilizantes y diferentes prácticas de manejo, también puede

ayudar a contrarrestar la degradación de los suelos en algunos contextos; ayudando así a aumentar la tolerancia a la erosión (Sparovek y DeMaria, 2003).

1.2.4 Tolerancia

La erosión del suelo debe ser controlada en el momento en que ésta sobrepasa el nivel de pérdida de suelo tolerado. Generalmente, el umbral de tolerancia a la pérdida de suelo se determina mediante las propiedades físicas y químicas de un determinado suelo (Grossmann y Berdanier, 1982), el ritmo de formación en un sitio específico (El-Swaify *et al.*, 1982; Hurni, 1983), la cantidad disponible del recurso (Stamey y Smith, 1964) y en relación a la disminución en la productividad del sistema (El-Swaify *et al.*, 1982; Blanco y Lal, 2008). En Estados Unidos se estima que la tolerancia a la erosión varía de 2.2 a 11 $\text{Mgha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ (Troeh *et al.*, 1999). Sin embargo, la tolerancia a la erosión debe ser considerada como relativa a un tiempo, espacio y contexto determinado (Sparovek y DeMaria, 2003).

1.2.5 Control y prevención

Existen diversas medidas empleadas para prevenir y controlar la erosión del suelo. Éstas pueden ser biológicas, también llamadas agronómicas, o mecánicas (FAO, 1997; Blanco y Lal, 2008).

Con respecto a las primeras, las más comunes son la no-labranza (sin labranza), rotación de cultivos, cubiertas vegetales, el manejo de residuos y la aplicación de acondicionadores (ej. Poliacrilamidas) y mejoradores de suelos (abonos, residuos de cosecha, fertilizantes vegetales, entre otros) (Blanco y Lal, 2008).

La vegetación juega un papel importante de bioprotección y bioconstrucción (Pimentel *et al.*, 1995; Naylor *et al.*, 2002; Bochet *et al.*, 2006). La vegetación ayuda a proteger y conservar al suelo debido a que reduce la escorrentía, ayuda a retener el suelo mediante sus raíces, promueve la infiltración del agua de lluvia y reduce el impacto directo de las gotas de lluvia sobre el suelo (Pimentel y Kounang, 1998). Y a más largo plazo, la vegetación también ayuda a incrementar la estabilidad y cohesión de los agregados del suelo (Bochet *et al.*, 2006), además de sostener una variada actividad biológica que contribuye a la formación continua de suelo.

Generalmente, cuando las prácticas biológicas han sido insuficientes por sí solas para controlar la erosión, se recurre a medidas mecánicas. Desafortunadamente, este tipo de

prácticas producen disturbios en el suelo y alteran algunas características del paisaje, además de resultar más costosas que las medidas biológicas. Las estructuras mecánicas pueden ser permanentes o temporales. Algunas de las estructuras temporales más comunes son las curvas a nivel, costales de arena, muros de arcilla, barreras con troncos, cajetes, etc. Por otro lado, las estructuras permanentes más usadas incluyen la construcción de terrazas, represas, diques, entre otros (Blanco y Lal, 2008).

1.2.6 Estimación de la erosión hídrica

Se han desarrollado diversos modelos que permiten estimar la erodabilidad del suelo para sitios específicos. Si bien existen métodos más adecuados para medir la erosión de manera directa en el campo, no es posible realizar mediciones de cada punto en el terreno; además, es difícil reunir información durante el tiempo suficiente para asegurar que los resultados no están siendo afectados por anomalías climáticas (Morgan, 2005).

Entre los modelos empíricos más empleados se encuentra la ecuación universal de pérdida de suelo (EUPS) (Wischmeier and Smith, 1965, 1978). Este modelo permite obtener una estimación de la pérdida de suelo promedio anual a largo plazo para pequeños fragmentos definidos de suelo cultivado (Blanco y Lal, 2008). Esta información puede ser empleada para planear el uso del suelo y diseñar medidas de conservación del mismo (Bravo-Espinosa *et al.*, 2009b). También se han desarrollado diferentes ajustes a esta primera ecuación, como por ejemplo la ecuación universal de pérdida de suelo modificada (EUPSM) y revisada (EUPSR), que la tornan más adecuada para otras circunstancias (Blanco y Lal, 2008).

Existen otros modelos que no sólo se basan en la multiplicación de los factores principales causantes de la erosión, sino que incorporan la interacción que existe entre éstos y otros factores, tal es el caso de WEPP y EUROSEM (Laflen *et al.*, 1997; Morgan *et al.*, 1998; Morgan, 2005; Blanco y Lal, 2008).

1.2.7 Cuantificación

Se ha desarrollado una gran variedad de métodos directos e indirectos para cuantificar la erosión dependiendo del uso de suelo, el tipo de cultivo, las condiciones topográficas y ambientales, así como la cantidad de suelo desplazado (PASOLAC, 2005). Entre los métodos directos más importantes se encuentran los laminares (geodéticos), volumétricos y deluométricos (Zachar, 1982).

- Métodos laminares (geodéticos)

Los métodos laminares permiten cuantificar cambios verticales de la superficie del suelo. Este tipo de medición puede llevarse a cabo mediante calibradores de erosión, clavos, estacas, varillas, u otros instrumentos que proporcionen una referencia para los cambios en el nivel superficial del suelo.

- Métodos volumétricos

Los métodos volumétricos permiten medir los cambios en el volumen del suelo causados por la erosión mediante mediciones únicas o a largo plazo. Esto incluye la medición del volumen de cárcavas o riachuelos en transectos.

- Métodos deluométricos

Los métodos deluométricos permiten realizar la medición de la cantidad y calidad del suelo en movimiento debido a la precipitación. Estos métodos consisten en la interceptación de la escorrentía en la superficie, la cual contiene el material erosionado; posteriormente, el material colectado debe pesarse, conociendo el área exacta de la cual proviene. Las trampas de suelo son un ejemplo de éstos (Zachar, 1982).

1.3 Morfología vegetal: medida de mitigación de la erosión

Las diferencias morfológicas entre especies, la resistencia de las raíces, la distribución y la interacción entre la raíz y el suelo son factores que influyen en la efectividad de las plantas para el control de la erosión (Reubens *et al.*, 2007; Norris, 2008). Los pastos tienen crecimiento horizontal y por tanto forman una densa capa protectora sobre el suelo. Son resistentes a los daños en la parte superficial debido a que sus meristemas se encuentran a ras del suelo (Norris, 2008) y tienen buena capacidad para propagarse vegetativamente (van Groenendael, 1996). A excepción de unas cuantas especies, las raíces de los pastos forman redes densas a poca profundidad bajo la superficie (Gray y Sotir, 1996). Sus raíces son adventicias y presentan pelos radicales a lo largo de toda la rizodermis, a diferencia de las plantas Eudicotiledóneas que los presentan únicamente en la región dorsal de la raíz (Gibson, 2009). Las hierbas no gramíneas o Eudicotiledóneas en general también ofrecen una red de raíces densa y poco profunda (aunque esto suele ocurrir en menor medida que en los pastos) que, salvo algunas excepciones, surge a partir de la radícula. Algunas de estas son anuales o pierden su follaje en temporada de secas (Norris, 2008).

Es importante tomar en cuenta que la morfología, así como la extensión y biomasa del sistema de raíces, puede variar dependiendo de las condiciones externas, incluso con los cambios de humedad a lo largo de un año (Reubens, 2007; Coutts, 1983, 2008; Gibson, 2009).

A pesar de la importancia de las raíces para la efectividad en el control de la erosión, la cobertura y morfología de las estructuras aéreas de la planta son más importantes para el control de la erosión de tipo laminar y por salpicadura (Gyssels *et al.*, 2005; Norris, 2008).

2. Antecedentes

México es actualmente el principal país productor y exportador de aguacate (*Persea americana* Mill.) en el mundo, con una producción mayor a 1 000 000 t al año, seguido por República Dominicana, Indonesia, Chile y Colombia (Bravo-Espinosa *et al.*, 2009a; FAOSTAT, 2011). Esto representa el 51.4% del volumen total de aguacate exportado en el mundo (SE, 2012). Michoacán es la región con mayor producción de aguacate a nivel internacional, ya que cuenta con más de 112 000 ha cultivadas y se siguen incorporando tierras a este cultivo por su rentabilidad (CIGA, 2011).

La porción de aguacate destinada para la exportación en México es enorme. El producto exportado es sometido a regímenes de regulación muy estrictos en cuanto a la calidad de la fruta, sin embargo, los mecanismos de regulación en las huertas y el empaque de la fruta no contemplan el control de impacto ambiental (Gavito *et al.*, 2011). Es importante evaluar y disminuir el impacto ambiental de los diferentes sistemas de producción, ya que esto se traduce en una mayor aceptación de los productos en los mercados de exportación, además de los innumerables beneficios que conlleva el conservar los recursos naturales de los cuales depende la misma producción.

Las regiones de mayor producción de aguacate en el estado de Michoacán se encuentran al sur del Sistema Volcánico Transversal en la región central del estado. Esta región tiene una extensión aproximada de 95 000 ha y comprende 22 municipios. El gradiente altitudinal varía dentro de un intervalo de 1 300 a 3 600 msnm. Según el Instituto Nacional de Geografía e Informática (INEGI) los suelos en esta región son mayormente andosoles y en menor medida Acrisoles (DGG, 1983); juntos conforman el 87% del área (INIFAP, 2009). Sin embargo, Alcalá *et al.* (2001) mencionan que dicha clasificación fue realizada con poco rigor científico y con datos faltantes, como por ejemplo el régimen de humedad del suelo. En dicho trabajo se reporta que sólo cinco de las 13 unidades de suelo evaluadas por el INEGI

cumplen con todos los requisitos de los suelos andosoles según el sistema de clasificación FAO-UNESCO (1970), el sistema empleado por el INEGI. Sin embargo, con la Taxonomía de Suelos de los Estados Unidos, en el mismo trabajo, se identificaron un entisol y 13 andosoles, con la leyenda FAO-UNESCOISRIC se clasificó un fluvisol y 13 andosoles y con la Base Referencial Mundial del Recurso Suelo (WRB) tres fluvisoles y 11 andosoles. Los dos tipos de clima predominantes son el semicálido subhúmedo (58%) y el templado subhúmedo (26%) (INIFAP, 2009).

El cultivo de aguacate se introdujo en esta región en la década de los 60's (INIFAP, 2006). A raíz de este suceso, ha ocurrido un crecimiento económico importante, así como la creación de empleos y diversos beneficios económicos y tecnológicos en las comunidades. Sin embargo, las condiciones climáticas y edafológicas necesarias para el cultivo de este fruto coinciden con aquellas de las áreas forestales, lo cual ha provocado grandes pérdidas de superficie forestal a lo largo de los años (INIFAP/ SAGARPA, 2012). Esto ha colocado al cambio de uso de suelo y la deforestación dentro de los principales agentes de disturbio de los ecosistemas naturales en esta región (INIFAP, 2009).

El cultivo de aguacate también ha traído cambios en la actividad agrícola de la región debido a que grandes superficies anteriormente empleadas para el cultivo del maíz han sido gradualmente sustituidas por cultivos de aguacate. Hoy en día, el cultivo de maíz ha sido prácticamente erradicado y sustituido por el aguacate (INIFAP/ SAGARPA, 2012; Bravo et al., 2012).

Tiscareño *et al.* (1999) mencionan que, en el caso de las tierras que han sido empleadas para el cultivo del maíz (muchas de las que hoy en día se emplean para el cultivo del aguacate), han sido degradadas tras décadas del empleo de la agricultura convencional, por lo que la erosión del suelo y la pérdida de nutrientes se han acelerado. La SEMARNAT (2002) estima que el 26.5% de la superficie del estado de Michoacán se encuentra afectada por la erosión hídrica, sin embargo el INIFAP (2009) reporta un 74.1% de superficie afectada. Bravo-Espinosa *et al.* (2009b) reportan que la causa principal de la degradación del suelo en este estado es la erosión hídrica.

Los niveles de erosión para esta región han sido poco estudiados. Se sabe que los andosoles en general son fácilmente erosionables debido a que cuentan con una estructura pobre (Cabrera, 1988). Gómez Tagle (1994) determinó que la erosión en suelos forestales de la región, y que conservan todos sus horizontes, es baja y se encuentra entre 0 y 1.5 Mg ha⁻¹ año⁻¹ y en zonas de frontera forestal degradada, la erosión es media (3 a 25 Mg ha⁻¹ año⁻¹). En 1999, Tiscareño-López *et al.* reportaron pérdidas de suelo en la región de más de 3 Mg ha⁻¹ en el sistema de año y vez y Bravo-Espinosa *et al.* (2005) reportan 0.4 y 1.4 Mg ha⁻¹ año⁻¹ en sitios con cultivo de maíz con diferentes prácticas de conservación, en lotes de

escurrimiento, pendiente de 18% y precipitación poco mayor a 800 mm. Más adelante (Bravo-Espinosa *et al.*, 2009b) reportan niveles menores a $2.2 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ (tasa de erosión permisible bajo estas condiciones ambientales según Alexander, 1988) en 98% de la superficie agrícola de la cuenca del lago de Zirahuén y el resto de los sitios con niveles más altos de erosión ($>3 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ (media) y $>5 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ (alta), sin especificar cifras exactas) sin ninguna práctica de conservación de suelo en lotes de escurrimiento con cultivo de maíz. También reportan una disminución importante de la erosión con manejo de labranza de conservación (33% de la superficie cubierta con rastrojo y siembra sin surcos).

Los suelos con cultivo de aguacate en esta región presentan mayor resistencia mecánica a la penetración que los suelos con vegetación natural (bosque de pino y pino-encino), lo cual hace a los primeros más susceptibles al escurrimiento y la erosión hídrica (Bravo *et al.*, 2012).

En huertas de aguacate jóvenes y con pendientes mayores al 4% se han reportado niveles de erosión más elevados (aprox $10 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$) que en huertas maduras, las cuales presentan niveles por debajo del umbral de impacto en la región ($2 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$) (INIFAP, 2009).

Se sabe que el crecimiento de plantas herbáceas en suelo agrícola puede provocar la competencia por espacio, luz, nutrientes y agua, disminuyendo así el rendimiento de los cultivos (Zimdahl, 2004, 2007). Sin embargo, en una revisión sobre la competencia entre cultivos y herbáceas, Zimdahl (2004) enfatiza la necesidad de comprender la coexistencia entre plantas por encima del control de las malezas. Menciona que el grado de competencia entre especies puede variar debido a que los requerimientos de cada planta son diferentes.

Por otro lado, la efectividad de la vegetación para reducir la pérdida de suelo ha sido demostrada en numerosos trabajos. A pesar de esto, ha habido discusiones en cuanto al papel que tiene la vegetación en la pérdida de suelo. En 1981, Elwell demostró que existe una disminución exponencial en la pérdida de suelo conforme aumenta el porcentaje de intercepción de la energía cinética de la lluvia; lo cual naturalmente se logra con un incremento en la cobertura vegetal (Morgan, 2005).

En un trabajo más reciente, realizado por Hernández *et al.* (2005), se evaluó el efecto de diferentes sistemas de manejo relacionados con coberturas vegetales sobre la erosión potencial, competencia por agua y el contenido de materia orgánica y nitrógeno en el suelo de una huerta de olivos en un clima semiárido. Los resultados muestran que los tratamientos sin labranza mantuvieron una cobertura vegetal por arriba del 50% en la mayor parte de los sitios. Estos resultados indican también que la presencia de plantas herbáceas puede mejorar la calidad del suelo (en cuanto a la cantidad de N y C), aumentar

la cantidad de agua disponible y potencialmente reducir la erosión; lo cual ha sido mostrado también mediante otros trabajos (Langdale *et al.* 1991; Chisci y Martínez, 1993; Atucha *et al.*, 2012). Además, las plantas acompañantes no tuvieron un efecto negativo sobre la producción de olivos cuando la disponibilidad de agua era buena; y tampoco en los periodos más secos del año.

Kohnke y Bertrand (1959) indican que una cobertura de más de dos tercios de la superficie es suficiente para proteger al suelo del efecto de la lluvia y así eliminar la erosión hídrica. Tiscareño *et al.* (1999) mencionan que, en andosoles sin labranza de la región de la meseta Tarasca en el estado de Michoacán, tan sólo un 33% de la superficie cubierta puede reducir hasta un 80% de la erosión hídrica.

Por otro lado, se han realizado algunos estudios que parecen mostrar lo contrario, donde se reporta un aumento en la pérdida de suelo conforme incrementa la cubierta por algunas especies de plantas (Morgan *et al.*, 1986; Rogers y Schumm, 1991), esto en parte puede deberse a que la relación erosión-cubierta vegetal indica que la cubierta vegetal no explica *per se* el efecto sobre la pérdida de suelo y existen otros factores, tales como la distribución espacial de la vegetación, la morfología vegetal y la estructura y composición de las comunidades, que influyen en esta relación (Bochet *et al.*, 2006). Sin embargo, también muestran que existen diferentes niveles de eficiencia para retener el suelo entre las especies, como lo sugirió Wischmeier en 1975.

La morfología, así como los componentes específicos de cada planta, son parámetros importantes que determinan el efecto sobre la pérdida de suelo y escorrentía. El volumen de las plantas resultó ser una variable menos efectiva para determinar los niveles de erosión en este tipo de ambientes. La altura de la planta, incluso, parece ser un factor capaz de aumentar los niveles de erosión en algunos contextos (Styczen y Hogg-Schmidt, 1988; Bochet *et al.*, 2006). La densidad y duración del follaje también son factores importantes a tomar en cuenta en este tema (Bochet *et al.*, 2006). Es importante mencionar que las diferencias en la eficiencia de cada especie para controlar la erosión del suelo sólo son detectables por arriba de cierto umbral de precipitación, Bochet *et al.* (2006), mencionan 20 mm h^{-1} aproximadamente.

Se ha considerado entonces que la pérdida de suelo disminuye de manera exponencial al incrementar la cobertura con plantas que tienen contacto directo con el suelo (ej. pastos) (Wischmeier, 1975; Lang y McCaffrey, 1984; Morgan *et al.*, 1997), mientras que disminuye de manera menos efectiva con plantas que forman un dosel a cierta altura por encima del suelo (Wischmeier y Smith, 1978; Dissmeyer y Foster, 1981).

Se han realizado pocos trabajos que demuestren la efectividad de la cobertura vegetal para reducir la erosión en cultivos de aguacate, entre éstos se encuentra el realizado por Youlton *et al.* (2010). En este trabajo se muestra la importancia de mantener una cubierta herbácea para disminuir la pérdida de suelo y el escurrimiento ya que se encontraron diferencias significativas ($p < 0.05$) entre los niveles de escorrentia y erosión en sitios cubiertos sólo con árboles de aguacate ($0.5 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ y 52 mm) y en sitios con cubierta herbácea natural ($0.03 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ y 2.5 mm). También se encontró un efecto positivo de la cubierta de residuos vegetales ($0.7 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ y 33 mm) con respecto al suelo desnudo ($10 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ y 41 mm), aunque en este último caso las diferencias en los niveles de escorrentía no son significativas. Respecto a este tema también está el trabajo de Atucha *et al.* (2012), en el cual se muestra que, en huertas de aguacate, la cobertura herbácea ayuda a disminuir la erosión, la escorrentía y la pérdida de nutrientes en contraste con sitios con suelo desnudo.

Otro factor que puede tener un impacto sobre la erosión, es la acumulación de hojarasca. A pesar de que ésta puede reducir la escorrentia y la pérdida de suelo, también puede evitar el desarrollo de rebrotes y/o plántulas de herbáceas por el peso que ejerce sobre ella y, así, no favorecer la cubierta vegetal por herbáceas. También pueden ocurrir diferencias en la composición floral con cambios en la cantidad de hojarasca (Sydney y Grime, 1981).

Otro factor es el del tamaño de la copa de los árboles, dado que se ha encontrado una relación entre la riqueza de especies herbáceas y la cobertura del dosel. A medida que la cobertura de los árboles aumenta o disminuye por arriba de cierto umbral, la variedad de hábitats o microclimas disminuye, repercutiendo de manera negativa sobre la riqueza de herbáceas (Gillet *et al.*, 1999). Anderson *et al.* (1968) atribuyen el efecto negativo de un dosel espeso sobre la cobertura herbácea a la reducción en agua disponible, ya que mencionan que la mayor cantidad de ésta es interceptada por el dosel, escurre por los troncos y se acumula en el área cercana a éstos. Mencionan que la cantidad de luz disponible en el sitio de estudio no disminuye por debajo del umbral de tolerancia, por lo que no podría ser un factor limitante para las herbáceas.

A pesar de que se han observado efectos positivos del pastoreo sobre los niveles de productividad anual de los pastos, también se ha encontrado que el sistema radical puede llegar a deteriorarse proporcionalmente a la intensidad y frecuencia del pastoreo o el corte de la hierba en algunas especies (Weaver, 1950; Branson, 1956). Además, el corte de la hierba afecta de manera más pronunciada a las raíces que a las partes superficiales de la planta (Branson, 1956). Gibson (2009) menciona que este fenómeno indica que el efecto del corte sistemático del pasto es capaz de producir efectos negativos sobre el sistema radical antes de que éstos sean aparentes en la superficie.

Por otro lado, la efectividad de los pastos para el control de la erosión disminuye altamente conforme aumenta la profundidad del suelo debido a que el sistema de raíces de éstos en general tienen poca profundidad y por lo tanto proporciona menor agarre para el suelo (Norris, 2008).

En septiembre del 2009 se inició un proyecto para la evaluación del impacto ambiental de la producción de aguacate en Michoacán llevado a cabo por un grupo de investigadores de la UNAM. Mediante el monitoreo constante de indicadores, se determinó que la pérdida de suelo en esta región y contexto no tuvo relación con la zona altitudinal de las huertas, la edad de la huerta ni el tipo de manejo (orgánico/ convencional). En los sitios evaluados la pendiente no tuvo influencia significativa en los niveles de erosión. Por otro lado, se obtuvo evidencia de que la erosión está asociada al tamaño de la copa y madurez de los árboles de aguacate, a mayor tamaño de copa, mayor hojarasca y mayor pérdida de suelo. También se observó la presencia de áreas de goteo (generalmente en las orillas de las copas) en las que ocurre una mayor pérdida de suelo. Se menciona que la cobertura herbácea ayuda a reducir los niveles de erosión. Donde había ausencia de hierba o pasto hubo mayores problemas de erosión. Asimismo, encontraron que a mayor cantidad de arcillas, mayor es el movimiento y pérdida de suelo (Gavito *et al.*, 2011).

Con base en este primer grupo de resultados, se tiene de manera general que las huertas presentaron tasas bajas de erosión ($0.2 - 0.65 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$) pero éstas fueron claramente más altas que las que se midieron en bosques aledaños ($0-0.014 \text{ ton ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$). Las huertas con mayor erosión fueron aquellas con dosel alto y cerrado, una alta cobertura de hojarasca y baja cobertura herbácea. En cambio, las huertas más abiertas, con mayor cobertura herbácea y mayor porcentaje de arena presentaron menor erosión en términos generales, con pérdidas muy parecidas a las de los bosques.

Considerando los puntos anteriores, se hipotetizó que la ausencia de hierbas podría relacionarse con una mayor pérdida de suelo. La escasez de cobertura herbácea puede deberse a que las hojas de aguacate contienen compuestos que inhiben el crecimiento de la hierba o a la falta de luz causada por el espesor y tamaño de las copas. Sin embargo, aunado a esto se encuentra el efecto de los cortes periódicos de las hierbas que se hacen para cumplir con las regulaciones de sanidad vegetal (una exigencia ineludible si se desea exportar el aguacate cosechado. El corte se realiza antes de cada cosecha, hasta 12 veces al año en algunos casos (Astier *et al.*, 2014) y para facilitar el tránsito de vehículos y personas en las huertas. Dependiendo del productor pueden registrarse hasta 10 cortes de hierbas en el año (Villamil-Echeverri, 2014).

3. Justificación

Como se ha mencionado anteriormente, México es el principal productor y exportador de aguacate en el mundo. La mayor producción de este fruto (Mg por año), así como la mayor extensión de tierra cultivada en este país, se encuentran en el estado de Michoacán. El aguacate también se encuentra entre los cinco productos más importantes por su contribución al valor de la producción agrícola nacional (44.0% en conjunto) (El Economista, 2012). La información anterior proporciona una referencia para comenzar a entender la importancia que representa la producción de aguacate para México. La producción de este fruto, así como el impacto ambiental que éste genera, debe cuidarse y monitorearse para asegurar beneficios duraderos (INIFAP, 2009; CIGA, 20011).

Con frecuencia la actividad agrícola se encuentra afectada por la erosión acelerada de suelo puesto que disminuye los niveles de productividad y éste es un problema que representa una amenaza constante para muchas actividades agrícolas. La causa más importante de degradación del suelo en Michoacán es la erosión hídrica (Bravo-Espinosa *et al.*, 2009b). Muchos de los factores que propician la erosión, tales como la precipitación, el tipo de suelo y la pendiente, son factores difíciles de manipular y controlar. Es por esto que es importante profundizar en el tema de las prácticas de manejo agrícola y su influencia sobre la erosión ya que éstas representan una de las maneras más fáciles y reales de mitigar la pérdida de suelo en los sistemas agrícolas.

Actualmente hacen falta trabajos que evalúen directamente la influencia que tienen las prácticas de manejo comunes en las huertas, tales como la poda de los árboles y el corte de la hierba, sobre la cobertura vegetal y la erosión. Solo conociendo esa información podrán proponerse prácticas de manejo de la cobertura vegetal que reduzcan al mínimo la erosión y, en consecuencia, reduzcan el impacto ambiental de las huertas.

4. Planteamiento del problema

Se piensa que el corte de la hierba aumenta la proporción de graminoides con respecto a otras herbáceas debido a que las primeras tienen sus meristemos a nivel del suelo. Esto se debe a que sus meristemos se encuentran bajo el suelo, además de que tienen facilidad para propagarse vegetativamente mediante esquejes. La proporción de plantas con un crecimiento predominantemente vertical (dicotiledóneas en su mayoría) y plantas con forma de crecimiento predominantemente horizontal (plantas graminoides) podría por lo tanto ser otro factor que tiene una influencia sobre los niveles de erosión. Como se menciona anteriormente, esto se debe a las diferencias morfológicas entre estos dos grupos de plantas. Mientras las plantas con crecimiento vertical tienden a formar raíces

ligeramente más profundas y ayudan a reducir la erosión en suelos más profundos, los pastos tienden a cubrir una mayor extensión de la superficie y enraizar a menor profundidad (con excepción de algunas especies que no se encuentran en estos sitios, por ejemplo *Bromus tectorum*).

Por otro lado, se piensa que la poda de las copas de los árboles puede promover el crecimiento vegetal por debajo de la misma al disminuir la cantidad de hojarasca y permitir una mayor entrada de luz.

Con base en lo anterior, se buscará determinar si existe una relación entre los niveles de erosión en las huertas de aguacate y la poda de los árboles, así como una relación entre la erosión y el chaponeo (término común que se refiere a cortar con un machete o con una podadora las hierbas sin arrancarlas de raíz) al modificar el tipo y el grado de cobertura vegetal; en especial al favorecer la propagación vegetativa de plantas gramíneas en el suelo.

5. Objetivo: Determinar si los tratamientos de poda y chaponeo realizados en las huertas de aguacate de la región afectan los niveles de erosión del suelo al modificar el tipo de cobertura vegetal y su extensión (%).

5.1 Particulares:

- Analizar si se generan diferencias en la cobertura (%) de hojarasca, hierbas y proporción de plantas gramíneas y no gramíneas entre tratamientos (poda y chaponeo).
- Medir la erosión en las huertas de aguacate mediante trampas de suelo y estacas.
- Determinar si el corte de la hierba (chaponeo) se relaciona con los niveles de erosión al modificar la proporción de especies y cobertura de gramíneas y otras hierbas en las huertas de aguacate.
- Caracterizar el efecto de la poda de las copas sobre los niveles de erosión en las huertas de aguacate.

- Comparar los niveles de erosión medidos con los niveles de erosión estimados por la ecuación universal de pérdida de suelo (el método más usado), para evaluar si coinciden y pueden estimarse con buena resolución los niveles de erosión con dicha ecuación.

6. Hipótesis

Si la erosión está dada por el goteo desde la copa de los árboles y la ausencia de cobertura enraizada, entonces el tratamiento con poda de las copas debería presentar menor grado de erosión ya que dicho tratamiento promovería la entrada de luz a través de las copas y por lo tanto un mayor desarrollo de vegetación herbácea.

Por otro lado, si el chaponeo incrementa la cobertura de hierbas gramíneas con respecto a las plantas con crecimiento vertical (hierbas no gramíneas), entonces se espera que los tratamientos con chaponeo reduzcan los niveles de erosión al incrementar la superficie enraizada por plantas con crecimiento horizontal y por tanto eficientes en la retención superficial del suelo.

7. Método

7.1 Área de estudio y huertas

Las seis huertas maduras (> 11 años con cultivo de aguacate) evaluadas en este trabajo se encuentran en la zona de la Meseta Tarasca en el estado de Michoacán, en los municipios de Tingambato-Uruapan-Ziracuaretiro-Taretan (Figura 1). La temperatura promedio anual en la región es de 14.5° C y la precipitación promedio de 1 002 mm al año con lluvias de junio a octubre (Tiscareño *et al.*, 1999). Las huertas se encuentran entre los 1 400 y 2 400 m.s.n.m. Los suelos en esta región son mayormente andosoles y en menor medida acrisoles (grupo de suelos FAO-UNESCO, 1970) (DGG, 1983). González-Esquivel *et al.* (2015) reportan que los suelos son profundos con aproximadamente 1m de profundidad.

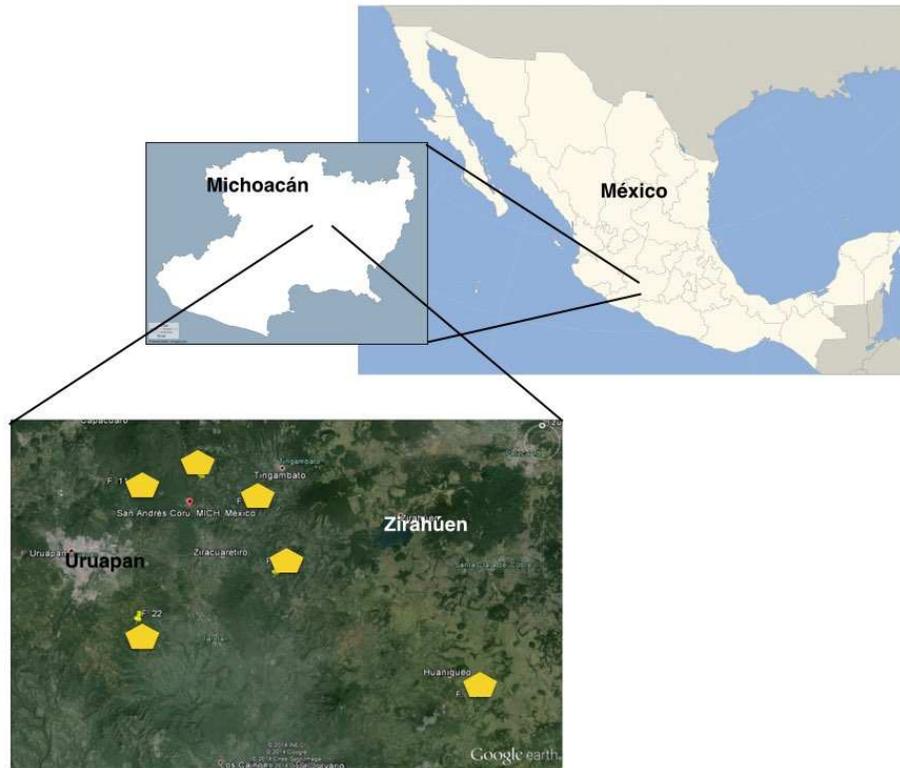


Figura 1. Ubicación de las seis huertas en el estado de Michoacán.

Cuadro 1a. Características de las huertas estudiadas. Coordenadas (UTMs), edad de la plantación por categoría, Categoría de altitud, m.s.n.m., y tipo de manejo agronómico de las huertas estudiadas.

Huerta	longitud	Latitud	Edad de huertas (clase)	Altitud de huertas (clase)	Altitud (m.s.n.m.)	Manejo
1	175856.3794	2142214.795	madura	baja	1496	convencional
2	184407.7354	2156360.408	madura	media	1908	orgánico
3	192103.0311	2157234.790	madura	media	2194	orgánico
4	221311.7452	2134973.909	madura	alta	2322	convencional
5	199757.0387	2146911.890	madura	baja	1520	orgánico
6	198076.0637	2154768.930	madura	media	1770	convencional

Cuadro 1b. Temperatura promedio y precipitación total anual derivadas de las estaciones meteorológicas más cercanas, tipo predominante de suelo según la carta de suelos del INEGI (DGG, 1983), y textura del suelo (Gavito *et al.* datos no publicados) de las huertas estudiadas.

Huerta	Temperatura promedio 2011 (°C)	Precipitación Total 2011 (mm)	Precipitación Total 2012 (mm)	Tipo de suelo	Tipo de textura del suelo	Textura del suelo
1	18.49	721.80	1303.60	cambisol eutrico	media	migajón arcilloso
2	16.38	765.00	1094.40	litosol	media	migajón arenoso
3	17.89	765.00	1302.20	andosol ocrico	media	migajón limoso
4	14.54	1011.40	1317.20	andosol ocrico	media	migajón limoso
5	18.68	712.20	1285.60	andosol humico	media	migajón limoso
6	17.89	586.80	738.80	andosol ocrico	media	migajón arenoso

Algunas huertas tienen manejo convencional mientras que otras son orgánicas (Cuadro 2), pero las podas y los cortes son decisiones que toman los productores independientemente de esto y, aunque en las huertas orgánicas suelen realizar menos cortes, hay una gran variación que no permite establecer una diferencia por tipo de manejo (Villamil-Echeverri, 2014). Todas las huertas producen para exportación y podan la hierba por lo menos para el corte del fruto (el corte se lleva a cabo por bloques conforme se cosecha el fruto), de esta forma obtienen el permiso de corte por parte de las autoridades de Sanidad Vegetal. Obtuve los datos de precipitación anual de las estaciones meteorológicas más cercana a cada huerta a través de la red de estaciones agrometeorológicas de la APEAM A. C. (APEAM, 2013), así como del INIFAP (2013). La textura se determinó en un estudio previo en una muestra tomada de un área con manejo normal (ver abajo) y la pendiente se midió directamente con clinómetro en el área asignada para cada tratamiento en las huertas.

Cuadro 2. Diferencias más importantes en las prácticas de manejo de huertas orgánicas y convencionales de la región. Información obtenida de Astier *et al.*, 2014.

Prácticas de manejo	Orgánico	Convencional
Aplicación de fertilizantes	Compostas y SUPERMAGRO	Compostas y estiércol, KNO ₃ , ZnSO ₄
Control de insectos	Extractos y tés	Insecticidas Piretroides y Organoclorados
Control de hierbas	Tractores y maquinaria en general hasta siete veces al año	Tractores y maquinaria hasta tres veces al año. Raras veces se emplea Glifosato

7.2 Tratamientos

Los tratamientos fueron: 1) Manejo normal (-P-Ch), es decir que el manejo es como normalmente se lleva a cabo en la huerta, sin poda de las copas y sin chaponeo de la hierba [dado que en las huertas sin poda el ambiente oscuro impide el desarrollo de las hierbas, no hay necesidad de chaponear]); 2) con chaponeo cada 3-4 meses y con poda reciente (+P+Ch); y 3) sin chaponeo y con poda reciente (+P-Ch). Dentro de cada huerta, elegí tres sitios representativos; dos con poda reciente y uno sin poda. Elegí al azar uno de los dos sitios con poda para aplicar el chaponeo de la hierba. Implementé los últimos dos tratamientos (+P+Ch y +P-Ch) para observar el efecto de la entrada de luz, pero también para evaluar si los cortes que se hacen con el manejo rutinario, y que supongo que modifican la proporción de hierbas gramíneas y hierbas no gramíneas, tienen un efecto en la erosión medida. Tomé las dos áreas vecinas, la trampa de suelo y el sistema de estacas, como unidad experimental dentro de cada uno de los tres tratamientos.

Establecí y monitoreé estos tres tratamientos en cada una de las huertas, las cuales consideré como repeticiones de dichos tratamientos debido a las similitudes entre sí.

Tomé estos tratamientos para simular algunas prácticas que son comunes dentro del manejo cotidiano de las huertas. A pesar de que cada huerta es independiente en cuanto al manejo que se ejerce dentro de la misma, hay prácticas que se realizan comúnmente en la mayoría de éstas por diversas razones.

La poda de la copa de los árboles de aguacate es una práctica que se lleva a cabo esporádicamente sobre áreas selectas dentro de las huertas para el control de plagas y/o enfermedades; en algunos casos también para facilitar el corte de la fruta. En este trabajo, las áreas elegidas para el tratamiento con poda (+P+Ch y +P-Ch) se encuentran en secciones de las huertas en las que se había llevado a cabo esta práctica anteriormente, dado que los efectos de las podas pueden tardar muchos meses en verse. Por esta razón, el tamaño, altura y densidad de las copas de los árboles para estos tratamientos es menor que en los árboles presentes en el tratamiento sin poda (-P-Ch).

El chaponeo es una práctica que se acostumbra para facilitar la circulación y el corte de la fruta dentro de las huertas y para minimizar la competencia con los árboles del aguacate. Dicha práctica es también un requisito por parte de las autoridades de Sanidad Vegetal para autorizar el corte y exportación de la fruta, ya que, según dicha autoridad, esto ayuda a controlar la aparición de plagas y enfermedades que pudieran afectar al ser humano. Cada productor realiza la práctica del chaponeo a su propio ritmo, sin embargo, el crecimiento de la hierba en las huertas maduras, con dosel cerrado, frecuentemente no es muy abundante probablemente debido a la baja intensidad de luz que penetra por debajo de las copas (Gavito *et al.*, 2012).

Esta práctica es frecuente en secciones en las que los árboles han sido podados, o bien, en secciones o huertas con árboles jóvenes. En estos casos, el crecimiento de las hierbas ocurre en poco tiempo (1 a 2 meses aproximadamente), por lo que esta actividad suele llevarse a cabo cada cuatro meses aproximadamente o incluso más frecuentemente. Es por esta razón que decidí llevar a cabo el chaponeo cada 3-4 meses en el tratamiento correspondiente (+P+Ch). Aun cuando muchos productores están en desacuerdo con esta norma que les implica altos costos de combustible y mano de obra (alrededor de 9 000 MX por ha al año de combustible), sigue siendo una exigencia que se cumple en todos los casos y que asegura el corte de las hierbas al menos una vez al año cuando se cosecha la fruta de exportación. El Cuadro 3 muestra las características específicas de cada tratamiento. Cabe mencionar que, además del ancho de la copa, la altura del follaje y el espaciamiento entre los árboles pueden influir en el ambiente lumínico generado. Estas características van asociadas al diseño original de la plantación y no pueden ser manipuladas como parte de los tratamientos, al igual que otros aspectos del manejo agronómico, pero son iguales dentro de cada huerta por lo que consideré cada huerta como un bloque en el diseño experimental.

Cuadro 3a. Características específicas de los tratamientos y el radio de la copa de los árboles en las trampas de suelo y el sistema de estacas en el área de evaluación de erosión en cada huerta.

Tratamiento	Huerta	Poda	Chaponeo	Radio de la copa (m) (en trampas de suelo)	Radio de la copa (m) (en sistema de estacas)
Manejo Normal (-P-Ch)	1	no	no	5.25	6.1
-P-Ch	2	no	no	6	8
-P-Ch	3	no	no	5	3.3
-P-Ch	4	no	no	5.44	4.88
-P-Ch	5	no	no	5.3	4.3
-P-Ch	6	no	no	5	5
Con poda y chaponeo (+P+Ch)	1	sí	cada 4 meses	2.38	4.15
+P+Ch	2	sí	cada 4 meses	4.5	3
+P+Ch	3	sí	cada 4 meses	3.24	2.65
+P+Ch	4	sí	cada 4 meses	2.6	3.28
+P+Ch	5	sí	cada 4 meses	4.7	3.4
+P+Ch	6	sí	cada 4 meses	4.9	2.8
Con poda sin chaponeo (+P-Ch)	1	sí	no	4.5	4
+P-Ch	2	sí	no	5.4	5.7
+P-Ch	3	sí	no	2.83	2.15
+P-Ch	4	sí	no	2.76	2.63
+P-Ch	5	sí	no	4.88	4.45
+P-Ch	6	sí	no	3.3	7.1

Cuadro 3b. Características presentes en el área de medición de erosión en cada huerta y tratamiento. Se puede ver la altura aproximada del árbol en las trampas de suelo y en los sistemas de estacas, clasificación cualitativa de la luz que se observó por debajo de las copas (no se midió cuantitativamente) y la pendiente en cada sitio.

Tratamiento	Huerta	Altura aproximada del árbol (m) (T)	Altura aproximada del árbol (m)(E)	Luz debajo de la copa (*Clase)	Pendiente %
-P-Ch	1	9	8	baja	8
-P-Ch	2	10	10	baja/media	11
-P-Ch	3	7	7	baja	10
-P-Ch	4	9	9	baja	10
-P-Ch	5	9	7	baja	5
-P-Ch	6	6	6	baja	5
+P+Ch	1	4	5	media	7
+P+Ch	2	5	2.5	media/alta	11
+P+Ch	3	4	4	baja/media	10
+P+Ch	4	6	6	baja	9
+P+Ch	5	6.5	6	media	7
+P+Ch	6	5.5	5	media	5
+P-Ch	1	5	5	media	7
+P-Ch	2	3	5	media	8
+P-Ch	3	4	4	media	10
+P-Ch	4	5	5	media	9
+P-Ch	5	4.5	6.5	media	6
+P-Ch	6	7	10	media	5

7.3 Erosión

Empleé dos métodos para medir la erosión en cada uno de los sitios, trampas de colecta de suelo y mediante un sistema de estacas marcadas. La trampa y el sistema de estacas de cada tratamiento se encontraban en cuadros contiguos (por lo tanto había un área de colecta de suelo en trampa y un área vecina con estacas, en tres zonas de cada huerta) (Figura 2). Cada cuadro para trampa y para estacas fue trazado en un área de $10 \times 8 = 80 \text{ m}^2$.

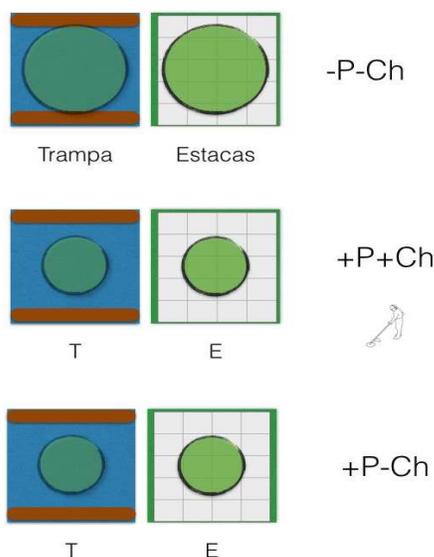


Figura 2. Trampas de suelo y sistemas de estacas con sus respectivos tratamientos en una huerta.

Las trampas de suelo permiten cuantificar en peso el suelo que se pierde debido a la erosión y el sistema de estacas permite ubicar los sitios específicos con mayor pérdida de suelo, así como analizar el movimiento de suelo en áreas específicas.

El primer método, trampa de colecta de suelo, consta de una malla que limita el borde inferior del área en dirección de la pendiente, donde se retiene el suelo desplazado. Coloqué una segunda malla en el borde superior para evitar la colecta de suelo del exterior del área de medición (Robichaud y Brown, 2002; Gavito *et al.*, 2011). El material retenido en la trampa se secó y pesó mensualmente durante la temporada de lluvias (julio-noviembre) de dos años (2011 y 2012), ya que sólo en estos meses se encontraba suelo en las trampas.

En el área colindante con las trampas de erosión, instalé los sistemas de estacas. Marqué las estacas a 10 cm por arriba del nivel inicial del suelo (tiempo 0). Formé una cuadrícula de estacas, con 2 m de separación entre cada estaca dentro del área de 80 m^2 . Coloqué los sistemas siempre con un árbol en el centro de la cuadrícula y la cobertura del follaje sobre las estacas cambió dependiendo del árbol y del tratamiento (con poda o sin poda). Coloqué las filas de estacas en dirección de la ladera. Medí el cambio en el nivel del suelo con respecto a la marca original (10 cm del suelo) mensualmente durante la temporada de lluvias (Julio-Noviembre) por dos años (2011 y 2012) (PASOLAC, 2005; Gavito *et al.*, 2011).

Sumé los datos mensuales de movimiento de suelo en estacas para obtener el movimiento y pérdida/ganancia neta anual en cada sistema de estacas. Hice una representación espacial

del movimiento del suelo dentro del área y su ubicación con respecto a la copa de los árboles mediante gráficas de contorno.

Dado que en un estudio previo (Gavito *et al.* 2011) se registraban tanto pérdidas como ganancias en los niveles de las estacas, por la actividad de las tuzas y las prácticas de aplicación de fertilizante, utilicé el siguiente Índice de Movimiento de suelo (IMS) elaborado por Yair Merlín y Laura Villamil (com. pers.) para cuantificar el movimiento de suelo dentro del sistema de estacas:

$$IMS = (a1/b1 + (-a2)/b2)/c$$

Donde:

a1 son los cm de incremento promedio de suelo,

b1 es el número de estacas que presentaron incrementos,

a2 son los cm de decremento promedio de suelo,

b2 es el número de estacas que presentaron decrementos.

C es igual a 30, el número total de estacas dentro del sistema. La escala es de -30 a 30, donde los valores negativos indican que la pérdida de suelo fue mayor que el aporte y viceversa.

También, estimé el valor de pérdida de suelo esperado para las condiciones presentes mediante la ecuación universal de pérdida de suelo (EUPS) (Wischmeier y Smith, 1978):

$$A = R K (L S) C P$$

Este modelo toma en cuenta el potencial erosivo de la lluvia (R), la erodabilidad del suelo (K), la longitud de la pendiente (L), el grado de pendiente (S), la cobertura vegetal (C) y las prácticas de conservación de suelos (P) (en este caso no se utiliza ninguna práctica de conservación de suelos en las huertas por lo que el factor P se consideró con un valor de 1). (A) es la estimación promedio anual de pérdida de suelo.

El factor R generalmente requiere información acerca de la intensidad mensual de la lluvia, la cual no pude obtener de las estaciones meteorológicas cercanas. Alternativamente se utilicé la expresión obtenida por Figueroa *et al.* (1991) a partir de la precipitación media anual para la región V:

$$Y = 3.4880X - 0.000188X^2$$

Donde **Y** es el índice anual de erosividad de la lluvia (MJ mm/ha h) y **X** representa la precipitación media anual (mm)

Obtuve el factor K mediante la ecuación en Blanco y Lal (2008):

$$K = \frac{0.00021 * M^{1.14} * (12 - A) + 3.25 * (B - 2) + 3.3 * 10^{-3}(C - 3)}{100}$$

$$M = (\% \text{limo} + \% \text{arena muy fina}) * (100 - \% \text{arcilla})$$

M es un parámetro derivado de la proporción de las partículas de cada tamaño (según Kroetsch & Wang 2006; simplificado de Day 1965),

A es el porcentaje de materia orgánica del suelo, determinado por el método de combustión húmeda (Walkley y Black, 1934),

B es el código de estructura del suelo (1= muy fino granular; 2= fino granular; 3= medio o grueso granular; 4= bloque o masivo),

C es el perfil de permeabilidad (conductividad hidráulica saturada) clase [1= rápido (150 mm h⁻¹); 2= moderado a rápido (50-150 mm h⁻¹); 3= moderado (12-50 mm h⁻¹); 4= lento a moderado (5-15 mm h⁻¹); 5= lento (1-5 mm h⁻¹); 6= muy lento (<1 mm h⁻¹)].

Obtuve B y C de los datos reportados por Alcalá de Jesús *et al.* (2009) para andosoles de la meseta purépecha de Michoacán, donde se menciona que los suelos tienen estructura granular y permeabilidad rápida. Dado que no existe información para el suelo de cada una de las huertas, estos valores son los mismos para todas ellas.

Calculé el factor LS mediante la ecuación en Morgan (2005):

$$LS = \left(\frac{x}{22.13} \right)^n (0.065 + 0.045s + 0.0065s^2)$$

Donde **x** es la longitud de la pendiente (m) y **s** es el porcentaje de inclinación. El valor de **n** varía según la pendiente. En este caso la longitud de la pendiente fue la misma, 10 m, ya que todas las trampas de sedimento tuvieron la misma longitud y obtuve **n** mediante la ecuación en Blanco y Lal (2008):

$$n = 0.6[1 - \exp(-35.835 * s)]$$

Obtuve el factor **C**, que considera el efecto combinado de la cobertura vegetal y variables de manejo para la protección del suelo, de valores tabulados en Wischmeier y Smith (1978). A pesar de que estos autores no proporcionan valores específicos para los tres tratamientos aquí manejados, en primera instancia hice uso de los valores derivados de las condiciones más similares. Para el tratamiento 1 (Manejo Normal) utilicé $C = 0.001$. Este valor corresponde a condiciones de bosque (>90% cobertura del dosel y 100% cubierta de hojarasca). Para los tratamientos 2 y 3 elegí un factor C de 0.08 (ya que no existe un valor tabulado que permita distinguir estos dos tratamientos). Este último corresponde a árboles frutales manejados con al menos 75% de cobertura del dosel y con 30% de cobertura de hojarasca (Wischmeier y Smith, 1978).

Adicionalmente calculé el valor de la ecuación sin el factor de cobertura (C) para asegurar que no hubiera otro factor además de la cobertura vegetal que pudiera ocasionar diferencias en la cantidad de erosión entre los tratamientos.

Dada la importancia del factor de cobertura vegetal en este estudio, y ante la carencia de factores C apropiados para pequeñas variaciones de la cobertura, seguí la ruta inversa utilizando la ecuación EUPS y los valores medidos de erosión para estimar el valor del factor C, como se ha hecho en otros estudios (Bravo-Espinosa *et al.* 2005).

Calculé el factor C despejándolo de la ecuación y empleando los valores de erosión medidos en las trampas de suelo (A), es decir:

$$C = A/RKLSP$$

Esto me permitió conocer los valores de C requeridos para realizar una mejor estimación de la pérdida de suelo en estos sitios, además de que permite hacer una distinción entre los tres tratamientos de manejo de la cobertura vegetal.

Puesto que el manejo de las coberturas vegetales no se realiza normalmente dentro del marco de una práctica de conservación del suelo, y la presencia de herbáceas es simplemente la que se establece de manera natural en el sitio, en este caso no consideré la presencia de ningún factor de apoyo para la conservación de suelos en las huertas. Por lo tanto, consideré el factor P con un valor de 1.

7.4 Cobertura del Suelo

Realicé un análisis de la cobertura del suelo dentro de cada área (trampas y sistema de estacas) para cada tratamiento en las 6 huertas. Registré porcentualmente la superficie dentro del área cubierta por vegetación herbácea, hojarasca y suelo descubierto. Esto fue

dividiendo el área en secciones para así realizar un esquema aproximado del porcentaje de la superficie abarcado por cada tipo de cobertura. Por otro lado, obtuve la ubicación y la medida del radio de la copa de cada árbol dentro del área para distinguir entre la fracción de suelo cubierto por la copa y la fracción descubierta. Además, estimé la altura de las copas mediante Smart Tools (aplicación para cámaras fotográficas). Tomé estos datos en un periodo de dos años (2011 y 2012) cada cuatro meses.

Dentro de cada área de 80 m², elegí aleatoriamente dos sitios en los que coloqué cuadros de un metro cuadrado para monitorear a menor escala el cambio en el tipo de cobertura del suelo; en especial la proporción de gramínoles y otras hierbas dentro del cuadro (fotos en anexos). Determiné la proporción de la cobertura dentro de cada cuadro dividiéndolo en secciones y estimando la superficie cubierta de manera porcentual. Dentro de éstos, también determiné la riqueza y composición de especies y la altura promedio de la vegetación. Es importante detallar que, dentro del presente trabajo, clasifiqué las plantas herbáceas con crecimiento preponderantemente vertical como no gramínoles (u otras hierbas); mientras que registré las plantas herbáceas con crecimiento y enraizamiento horizontal como gramínoles (enfaticando la importancia de la morfología y forma de crecimiento característico de los miembros de la familia Poaceae o pastos en general).

Consideré adecuado establecer una división entre la forma de crecimiento de las plantas herbáceas, más allá de Monocotiledoneas y Eudicotiledoneas, debido a que existen diferencias en los tipos de crecimiento dentro de estos dos grupos (Raven *et al.*, 1999). Registré los datos cada cuatro meses durante dos años. En la sección de anexos se puede encontrar un listado de las especies que fueron consideradas gramínoles y no gramínoles para este trabajo.

Calculé la cobertura (%) y número de especies (riqueza específica) no gramínoles con respecto al total de especies en cada fecha y tratamiento. Esto me permitió evaluar posibles cambios en la cobertura y riqueza de especies de cada tipo con el efecto de los tratamientos. No tomé en cuenta los cuadros en los que no encontré ninguna especie para no afectar los promedios.

7.5 Análisis estadístico

Analicé las variables de porcentaje de cobertura de suelo desnudo, hojarasca, herbáceas, gramínoles, no gramínoles, proporción de cobertura no gramínoles respecto al total, riqueza total de especies, proporción de riqueza no gramínoles respecto al total, erosión en trampas, erosión en sistema de estacas, índice de movimiento de suelo (IMS) y pérdida de suelo estimada mediante la EUPS mediante un análisis de varianza (ANDeVA) de medidas

repetidas de dos vías (tratamiento y tiempo), lo cual me permitió mostrar los cambios acumulados en el tiempo de la misma muestra. Cuando encontré diferencias significativas apliqué la prueba de comparación múltiple de medias de Holm-Sidak.

Analice los cambios de un año a otro (deltas) mediante un ANdeVA de una sola vía debido a que en este caso no se presenta el factor tiempo. Cuando encontré diferencias significativas, apliqué la prueba de comparación múltiple de medias de Holm-Sidak. Trabajé estos análisis con un $\alpha = 0.05$ (Zar, 2010). Transformé las variables con datos porcentuales así como el cociente de riqueza para su normalización mediante la fórmula: $x' = \arcsen \sqrt{\frac{x}{100}}$ (Zar, 2010). Transformé los datos de erosión en trampas para este mismo propósito mediante la fórmula: $x' = \sqrt{x + 0.5}$ (Zar, 2010).

Evalué la normalidad mediante la prueba de Shapiro-Wilk en todos los casos.

Realicé una regresión lineal para determinar la relación entre las variables de erosión y de cobertura de suelo. Nuevamente trabajé estos análisis con un $\alpha = 0.05$.

Dado que el registro de cobertura del suelo se llevó a cabo cada cuatro meses y el registro de erosión solamente se llevó a cabo durante la temporada de lluvias (julio a noviembre), los únicos meses que cuentan con mediciones de ambas variables son julio y octubre. En estos meses, el tratamiento –P-Ch fue el único con suelo colectado en las trampas. Por esta razón, los meses en los que no se realizaron mediciones de la cobertura herbácea se tomaron en cuenta empleando el dato del mes más cercano; permitiendo así visualizar la relación en los tres tratamientos.

Realicé todos los análisis estadísticos en Sigmaplot para Windows versión 12.0.

8. Resultados

En el área general, el tratamiento con manejo normal (-P-Ch) tiene una alta predominancia de hojarasca, mientras que en los dos tratamientos con poda (+P+Ch y +P-Ch) predomina la cubierta vegetal del suelo. En especial podemos ver que la diferencia en la superficie cubierta por plantas gramíneas y no gramíneas es más grande en el tratamiento con poda y sin chaponeo (+P-Ch) (Figura 3).

Cuadro 4. Resultados del análisis de varianza de las variables medidas en un área de 80 m². Se muestran las variables medidas, las figuras en las que se muestran los resultados, y los grados de libertad, valores de F y probabilidades de significancia de los factores tratamiento y tiempo y la interacción de estos factores.

Variable	Figura	Tratamiento			Tiempo (mes/año)			Tratamiento*Tiempo		
		gl	F	P	gl	F	P	gl	F	P
Hojarasca	3	2	73.6	<0.001	4	7.4	<0.001	8	0.8	0.636
Herbáceas	4	2	73.5	<0.001	4	11.1	<0.001	8	2.4	0.033
Suelo desnudo	5	2	0.8	0.491	4	4.9	0.006	8	1.7	0.138
Erosión por peso (trampas)	9	2	10.1	0.004	1	0	0.969	2	0.5	0.643
Erosión en cm (estacas)	10	2	0.2	0.833	1	109.9	<0.001	2	0.7	0.515
Índice de Movimiento de suelo (IMS)	11	2	0.3	0.75	1	3.5	0.12	2	1.5	0.265
EUPS	23	2	20.1	<0.001	1	13	0.015	2	12.4	0.002

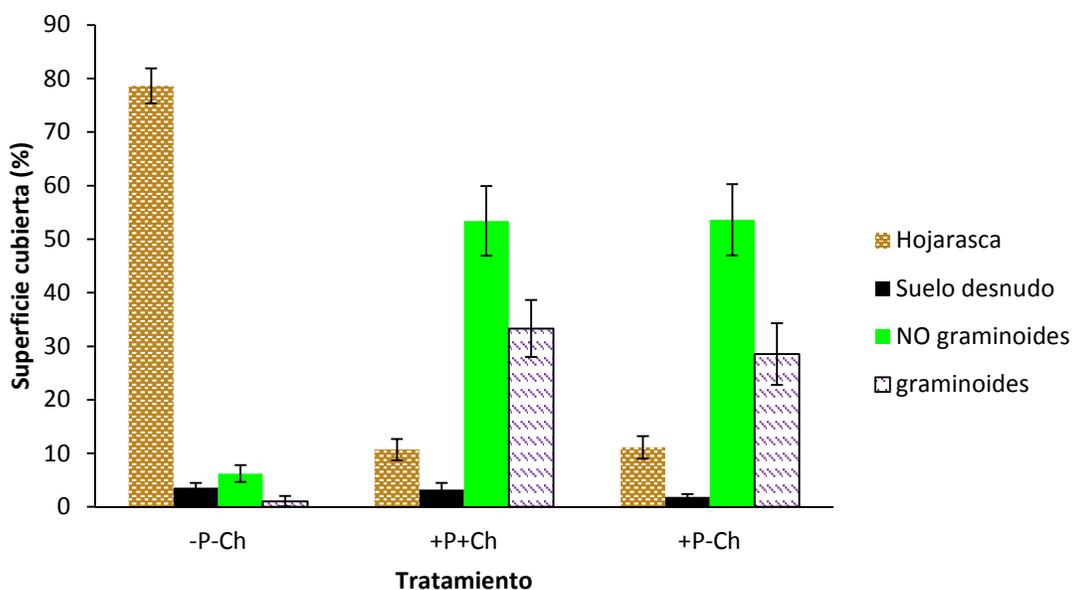


Figura 3. Resumen del porcentaje promedio de cada tipo de cobertura del suelo encontrado para cada tratamiento evaluado en los cuadros de 80 m² (a excepción del porcentaje de graminoides y no graminoides, ya que éste sólo se evaluó en cuadros de 1m²).

8.1 Cobertura del suelo general (80 m²)

Cuadro 5. Resultados del análisis de varianza de las variables medidas en un área de 80 m². Se muestran las variables medidas, las figuras en las que se muestran los resultados, y los grados de libertad, valores de F y probabilidades de significancia de los factores tratamiento y tiempo y la interacción de estos factores.

Variable	Figura	Tratamiento			Tiempo (mes/año)			Tratamiento*Tiempo		
		gl	F	P	gl	F	P	gl	F	P
Hojarasca	3	2	73.6	<0.001	4	7.4	<0.001	8	0.8	0.636
Herbáceas	4	2	73.5	<0.001	4	11.1	<0.001	8	2.4	0.033
Suelo desnudo	5	2	0.8	0.491	4	4.9	0.006	8	1.7	0.138

La hojarasca fue la cobertura del suelo predominante ($\bar{x} = 78.6\% \pm 7.5$ del área total) en los sitios con manejo normal (+P-Ch) (Figura 4). Este tratamiento presentó diferencias significativas ($p < 0.001$) con los dos tratamientos con poda (+P+Ch y +P-Ch) para esta variable. Los sitios con manejo normal también cuentan con un porcentaje de cobertura herbácea muy bajo con respecto a los otros dos tratamientos (Figura 5). Estos últimos dos tratamientos (+P+Ch y +P-Ch) cuentan con una cobertura herbácea predominante ($\bar{x} = 77.2\% \pm 7.5$ y $84.3\% \pm 5.8$ respectivamente). A pesar de que hay algunas diferencias significativas ($p < 0.001$) entre muestreos, el patrón de cobertura se repitió en cada fecha, lo cual indica que éste no cambia de forma relevante con diferentes niveles de precipitación a lo largo del año (Figura 5).

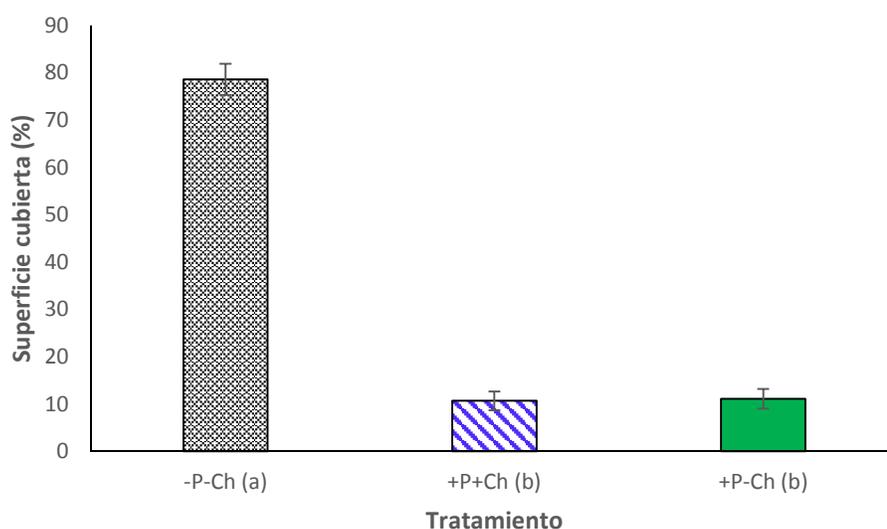


Figura 4. Cobertura de hojarasca en el tiempo por tratamiento en el área de 80 m². Entre paréntesis se muestra el resultado de la comparación múltiple de medias (Holm-Sidak), la cual coloca al tratamiento con manejo normal (-P-Ch) en un grupo separado de los dos tratamientos con poda.

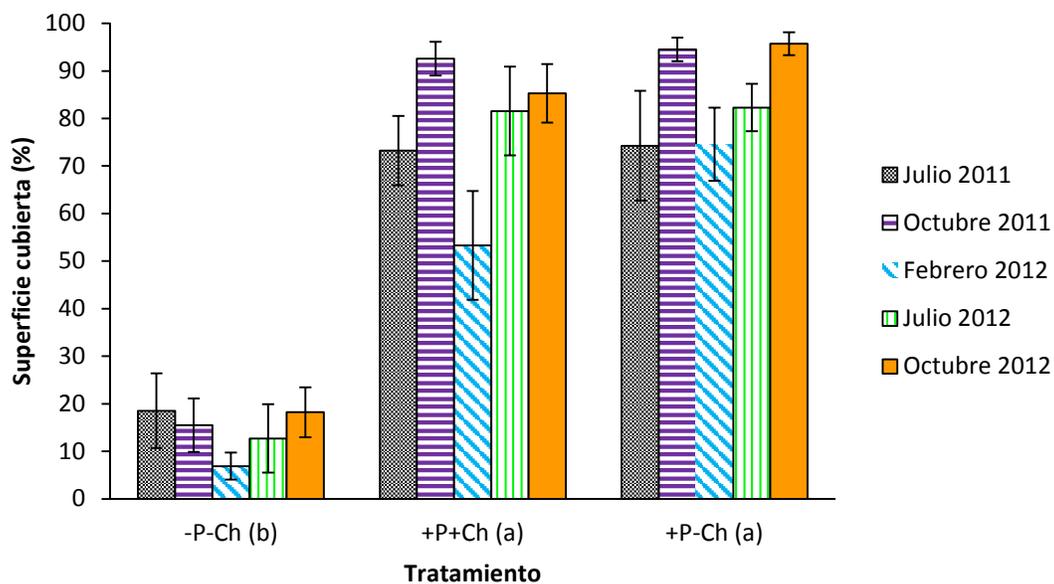


Figura 5. Cobertura de herbáceas en el tiempo por tratamiento en área de 80 m². Entre paréntesis se muestra el resultado de la comparación múltiple de medias (Holm-Sidak), la cual coloca al tratamiento con manejo normal (-P-Ch) en un grupo separado de los dos tratamientos con poda.

Ambos tratamientos con poda de las copas (+P+Ch y +P-Ch) cuentan con un porcentaje similar de superficie cubierta por herbáceas sin diferencias significativas entre sí (Figura 5). En resumen, tanto en la superficie cubierta por plantas herbáceas como en la cubierta por hojarasca, se pueden observar claras diferencias entre los tratamientos con y sin poda de las copas; las diferencias entre los tratamientos con y sin chaponeo no son significativas.

En cambio, el porcentaje de suelo desnudo no presenta diferencias significativas ($p = 0.49$) entre los tratamientos sin poda (-P-Ch) y con poda (+P+Ch y +P-Ch). Además presenta variaciones significativas a lo largo del año ($p = 0.006$). El suelo desnudo tiende a incrementar a partir de los meses de lluvia (julio-octubre) en los sitios con manejo normal (Figura 6).

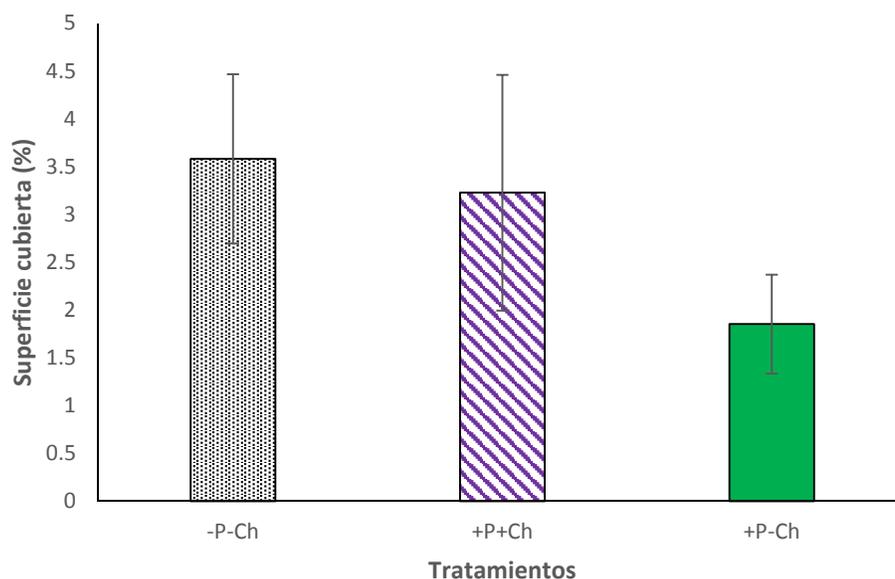


Figura 6. Cobertura de suelo desnudo en las fechas de evaluación por tratamiento en área de 80m².

Cuadro 6. Resultados del análisis de varianza del cambio del valor medido en el 2012 con respecto al valor medido en el 2011 de las variables medidas en los cuadros con un área de 80 m².

Cuadro 6. Delta 2011-2012				
		Tratamiento		
Variable	Figura	gl	F	P
Hojarasca	6a	2	0.5	0.636
Herbáceas	6b	2	0.6	0.56
Suelo desnudo	6c	2	0.3	0.732

Ninguna de las variables para la cobertura del suelo (cobertura de herbáceas, hojarasca y suelo desnudo) presentó cambios significativos ($p > 0.05$) del primer al segundo año, sin embargo se puede notar una ligera tendencia en la cobertura de hojarasca así como en la de herbáceas (Figura 7). En cuanto a la cobertura de hojarasca, ésta sugiere una disminución en el segundo año en ambos tratamientos con poda de las copas (Figura 7a). La cobertura herbácea también parece apuntar hacia un decremento en el tratamiento -P-Ch y un aumento en los tratamientos con poda, en especial en el tratamiento +P-Ch (Figura 7b). A pesar de esto, hay que tomar en cuenta que las pequeñas variaciones de un año a otro se encuentran muy probablemente relacionadas con fluctuaciones ambientales tales como la precipitación.

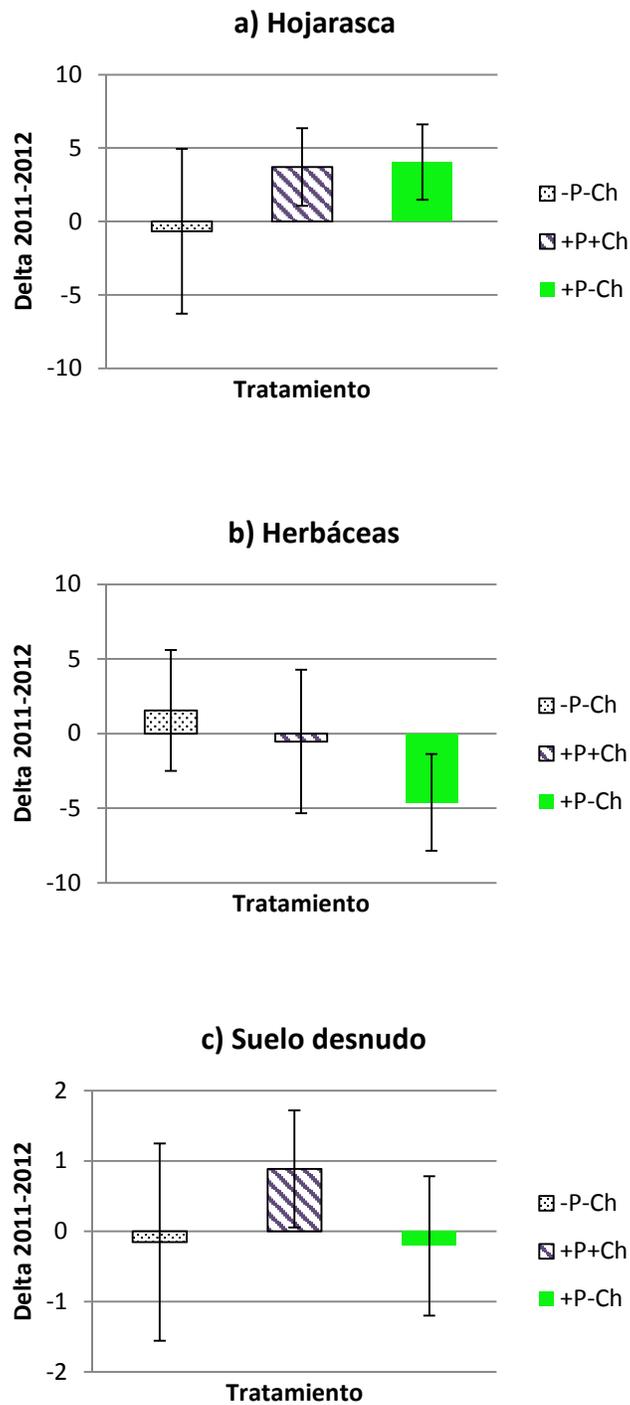


Figura 7. Cambios (Δ) en la cobertura herbácea promedio de 2011 a 2012 por tratamiento en el área de 80 m².

8.2 Cobertura del suelo en cuadros de 1 m²

Cuadro 7. Resultados del análisis de varianza de las variables medidas en un área de 1 m². Se muestran las variables medidas, las figuras en las que se muestran los resultados, y los grados de libertad, valores de F y probabilidades de significancia de los factores tratamiento y tiempo y la interacción de estos factores.

Cuadro 7. Área de 1m										
Variable	Figura	Tratamiento			Tiempo (mes/año)			Tratamiento*Fecha		
		gl	F	P	gl	F	P	gl	F	P
Hojarasca		2	88.1	<0.001	3	3	0.061	6	2.7	0.07
Cobertura enraizada	F. 8	2	59.4	<0.001	3	2.29	0.129	6	0.73	0.16
Cobertura de graminoides	F. 8	2	20.8	<0.001	3	1.66	0.217	6	1.23	0.31
Cobertura de otras hierbas	F. 8	2	19.6	<0.001	3	4.9	0.015	6	3.5	0.01
Proporción de cobertura otras hierbas	C. 8	2	17	0.001	3	8.56	0.002	6	3.29	0.01
Suelo desnudo		2	0.8	0.48	3	1.9	0.18	6	2	0.10
Riqueza spp m2	C. 9	2	7.64	0.014	4	1.949	0.151	8	1.66	0.14
Proporción spp no gram m2	F. 9	2	2.53	0.141	4	3.276	0.038	8	0.57	0.79

Los cuadros de 1 m² dentro de cada área (trampas de suelo y sistemas de estacas), que incluyen un estudio más fino de la vegetación, mostraron resultados similares a los de mayor área (área de 80 m²) en cuanto al tipo de cobertura de los tratamientos. Nuevamente se encontró que el tratamiento con manejo normal (-P-Ch) presentó la mayor parte de la superficie cubierta por hojarasca ($\bar{x} = 83\% \pm 5.7$), mientras que los otros dos tratamientos (+P+Ch y +P-Ch) presentan un mayor grado de cobertura herbácea enraizada ($\bar{x} = 87\% \pm 3.6$ y $\bar{x} = 83\% \pm 3.5$ respectivamente). Los resultados anteriores coinciden con los encontrados en el área general.

Las hierbas no graminoides ocuparon mayor superficie con respecto a las graminoides en los tres tratamientos. A pesar de esto, hay diferencias significativas ($p < 0.001$) en la cobertura de graminoides y en la de otras hierbas entre los tratamientos con y sin poda (Figura 8). También hay diferencias significativas ($p = 0.001$) en la **proporción** de la superficie (del total ocupado por hierbas) que ocupan las graminoides y no graminoides entre

tratamientos, ya que en condiciones de sombra (manejo normal) las hierbas gramíneas prácticamente no se establecen (Cuadro 8). El tiempo generó diferencias significativas en la cobertura de las hierbas no gramíneas ($p = 0.015$) (Figura 8), siendo febrero el mes de menor y octubre el de mayor cobertura en los tratamientos con poda.

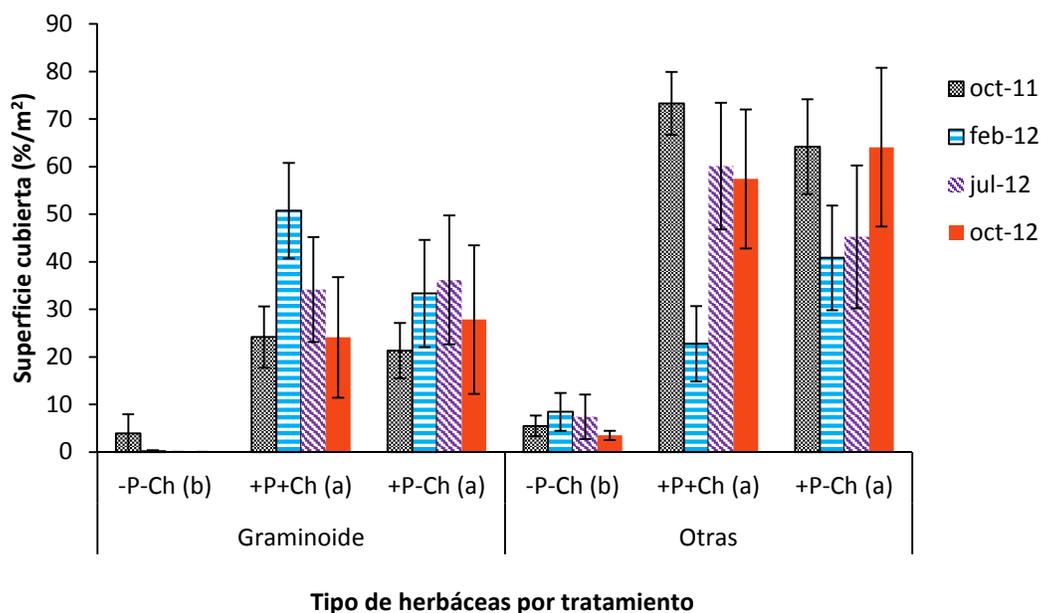


Figura 8. Tipo de cobertura enraizada por fecha y tratamiento en cuadros de 1m². Entre paréntesis se muestra el resultado de la comparación múltiple de medias (Holm-Sidak), la cual coloca al tratamiento con manejo normal (-P-Ch) en un grupo separado de los dos tratamientos con poda tanto a gramíneas como a otras hierbas.

En cuanto a la riqueza, en general hay un menor número de especies en los sitios con manejo normal, sin embargo la **proporción** de especies de cada tipo no se ve afectada por los tratamientos ($p=0.14$). Esto quiere decir que los dos tipos de herbáceas se ven afectados de manera similar por los tratamientos y por lo tanto no hay un efecto significativo de los tratamientos sobre el número de especies de un tipo en particular (Figura 9). Sin embargo, es muy importante subrayar que sí hay diferencias significativas en el número de especies total que se encontró en cada tratamiento ($p=0.014$) (Cuadro 9). Los tratamientos con poda presentan mayor riqueza con respecto al tratamiento sin poda ($p=0.01$). El chaponeo no cambió significativamente el número de especies, aunque tiende hacia un incremento.

Cuadro 8. Cobertura (%) de los dos tipos de herbáceas y proporción de cobertura de no graminoides respecto al total de cobertura herbácea por metro cuadrado. El error estándar se muestra entre paréntesis. Las agrupaciones resultantes de la prueba de Holm-Sidak aplicada tras encontrar significancia ($p < 0.05$) mediante el análisis de varianza se muestran en tonos distintos. En las filas finales entre cada tratamiento se muestra el valor promedio para cada tratamiento.

Tratamiento	Fecha	Cobertura graminoides promedio (%/m ²)	Cobertura no graminoides promedio (%/m ²)	Cobertura de hierbas total promedio (%/m ²)	Proporción de la cobertura no graminoides promedio (%/m ²)
-P-Ch	oct-11	3.96 (± 3.96)	5.5 (± 2.15)	9.46 (± 4.72)	84.43 (± 15.57)
-P-Ch	feb-12	0.21 (± 0.21)	8.46 (± 3.98)	8.66 (± 4.11)	98.61 (± 1.39)
-P-Ch	jul-12	0.04 (± 0.04)	7.42 (± 4.69)	7.46 (± 4.67)	96.43 (± 0.38)
-P-Ch	oct-12	0.02 (± 0.02)	3.5 (± 0.95)	3.52 (± 0.96)	99.62 (± 0.38)
Promedio 1		1.05 (± 1.05)	6.21 (± 2.91)	7.27 (± 1.31)	94.47 (± 4.34)
+P+Ch	oct-11	24.18 (± 6.47)	73.31 (± 6.6)	97.5 (± 1.29)	75.17 (± 6.5)
+P+Ch	feb-12	50.75 (± 10.02)	22.79 (± 7.92)	73.54 (± 7.61)	32 (± 9.5)
+P+Ch	jul-12	34.16 (± 11.01)	60.12 (± 13.32)	94.29 (± 4.91)	62 (± 12.48)
+P+Ch	oct-12	24.12 (± 12.7)	57.41 (± 14.59)	81.54 (± 9.03)	69.61 (± 13.7)
Promedio 2		33.3 (± 10.05)	53.41 (± 10.6)	86.72 (± 5.58)	59.7 (± 6.16)
+P-Ch	oct-11	21.33 (± 5.81)	64.33 (± 9.98)	85.66 (± 8.91)	73.8 (± 6.45)
+P-Ch	feb-12	33.33 (± 11.29)	40.83 (± 11)	74.16 (± 6.81)	55.57 (± 14.26)
+P-Ch	jul-12	36.21 (± 13.53)	45.25 (± 15)	81.45 (± 7.12)	54.06 (± 16.06)
+P-Ch	oct-12	27.85 (± 15.62)	64.1 (± 16.69)	91.95 (± 5.08)	68.92 (± 16.91)
Promedio 3		29.68 (± 11.56)	53.6 (± 13.17)	83.31 (± 3.73)	63.09 (± 6.78)

Cuadro 9. Riqueza de especies (spp) de cada tipo por m² y proporción de no gramínoide respecto al total de spp (%/m²). El error estándar se muestra entre paréntesis. Las agrupaciones resultantes de la prueba de Holm-Sidak aplicada tras encontrar significancia (p<0.05) mediante el análisis de varianza se muestran en tonos distintos. En las filas finales entre cada tratamiento se muestra el valor promedio para cada tratamiento.

Tratamiento	Fecha	Riqueza de gramínoide promedio (spp/m ²)	Riqueza de no gramínoide promedio (spp/m ²)	Total spp promedio (spp/m ²)	Proporción de no gramínoide (%/m ²)
-P-Ch	jul-11	0.62 (±0.19)	2 (±0.38)	2.62 (±0.44)	78.26 (±8.73)
-P-Ch	oct-11	0.79 (±0.16)	2.16 (±0.33)	2.95 (±0.38)	70.7 (±6.29)
-P-Ch	feb-12	0.89 (±0.18)	2.28 (±0.33)	3.17 (±0.41)	69.53 (±7.31)
-P-Ch	jul-12	0.65 (±0.12)	1.71 (±0.31)	2.35 (±0.28)	66.67 (±7.93)
-P-Ch	oct-12	0.89 (±0.14)	1.83 (±0.27)	2.72 (±0.32)	63.61 (±6.9)
Promedio 1		0.78 (±0.07)	2 (±0.15)	2.78 (±0.17)	69.3 (±3.25)
+P+Ch	jul-11	2.08 (±0.17)	3.58 (±0.42)	5.67 (±0.48)	57.66 (±4.68)
+P+Ch	oct-11	2 (±0.21)	3.71 (±0.68)	5.71 (±0.84)	56.14 (±5.57)
+P+Ch	feb-12	1.79 (±0.22)	3.33 (±0.55)	5.13 (±0.64)	59.15 (±4.2)
+P+Ch	jul-12	1.96 (±0.19)	3.04 (±0.42)	5 (±0.48)	54.14 (±5.03)
+P+Ch	oct-12	1.33 (±0.14)	3.14 (±0.56)	4.48 (±0.56)	55.86 (±7.06)
Promedio 2		1.85 (±0.09)	3.37 (±0.24)	5.21 (±0.28)	56.61 (±2.34)
+P-Ch	jul-11	2.08 (±0.21)	3 (±0.39)	5.08 (±0.39)	54.95 (±4.8)
+P-Ch	oct-11	1.74 (±0.22)	4 (±0.71)	5.74 (±0.76)	64.73 (±5.26)
+P-Ch	feb-12	1.17 (±0.10)	3.21 (±0.43)	4.38 (±0.39)	65.65 (±5.2)
+P-Ch	jul-12	1.83 (±0.19)	2.25 (±0.35)	4.08 (±0.41)	49.67 (±6.11)
+P-Ch	oct-12	1.54 (±0.13)	2.29 (±0.4)	3.83 (±0.41)	45.85 (±6.74)
Promedio 3		1.67 (±0.08)	2.94 (±0.21)	4.61 (±0.22)	56.09 (±2.6)
Bosque		0.8 (±0.09)	3.73 (±0.48)	5.07 (±0.68)	74.03 (±0.02)

Como sucedió con la cobertura, en general el número de especies no gramínoide (riqueza específica) fue más alto con respecto al de las gramínoide en los tres tratamientos (>50%), esto quiere decir que en este caso hay mayor número de especies de este tipo sin importar el tamaño de la copa o el corte de la hierba (Figura 9). Las especies más comunes fueron *Commelina coelestis* (gramínoide) y *Physalis volubilis* (no gramínoide).

La figura 9 también muestra que el tratamiento con manejo normal es el que se asemeja más a la **proporción** de especies de cada tipo que se presenta en los bosques de la región (la proporción de no gramínoideas respecto al total de especies es de 74 % por m² en bosques [Gavito *et al.*, 2012]). Sin embargo, como se puede ver en el cuadro 9, el número de especies no gramínoideas en el tratamiento +P+Ch es más similar al bosque.

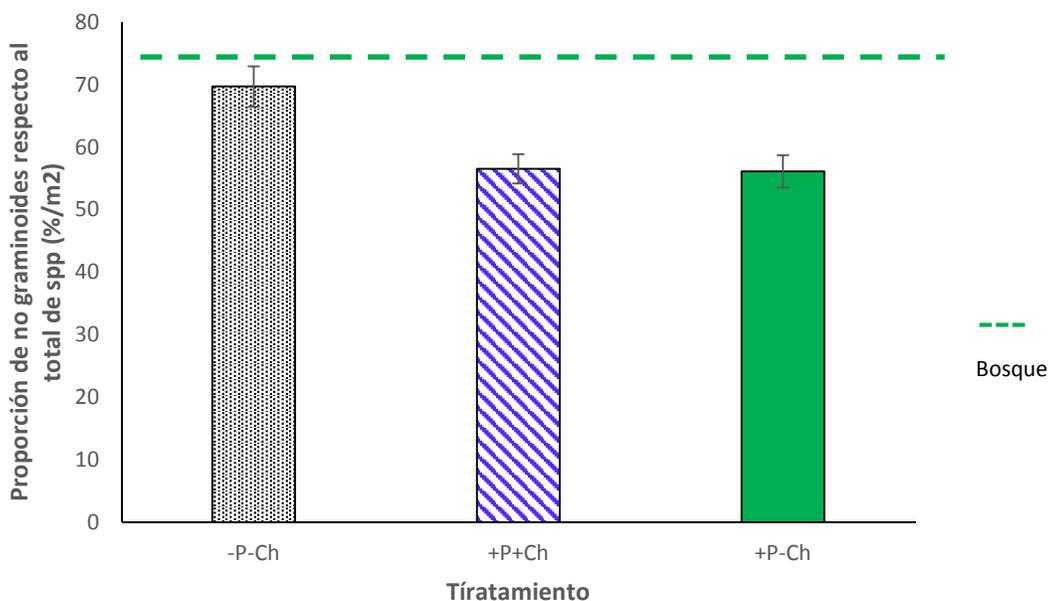


Figura 9. Proporción de la riqueza (spp) de no gramínoideas respecto al total de especies. Los bosques de la región presentan un valor de 74 %/m² en promedio, marcado con la línea punteada verde (Gavito *et al.*, 2012).

8.3 Erosión en trampas de suelo

Cuadro 10. Resultados del análisis de varianza de la erosión medida mediante las trampas de suelo en áreas de 80 m². Se muestran los grados de libertad, valores de F y probabilidades de significancia de los factores tratamiento y tiempo y la interacción de estos dos.

Variable	Tratamiento			Tiempo (año)			Tratamiento*Tiempo		
	gl	F	P	gl	F	P	gl	F	P
Erosión por peso (trampas)	2	10.1	0.004	1	0	0.969	2	0.5	0.643

El tratamiento con manejo normal (-P-Ch) presentó notoria y significativamente mayor suelo en trampas con respecto a los dos tratamientos con poda ($p=0.004$) (Figura 10). El tratamiento con chaponeo (+P+Ch) tiende a una colecta de suelo ligeramente mayor con respecto al tratamiento sin chaponeo (+P-Ch), el cual prácticamente no presentó suelo en las trampas (Figura 10). No hay diferencias significativas entre estos últimos dos tratamientos. A pesar de que en la figura parece haber una mayor retención de suelo en el segundo año (un incremento de 141%, es decir 96 kg ha^{-1} más que en el primer año), no hay diferencias significativas entre éstos ($p = 0.97$).

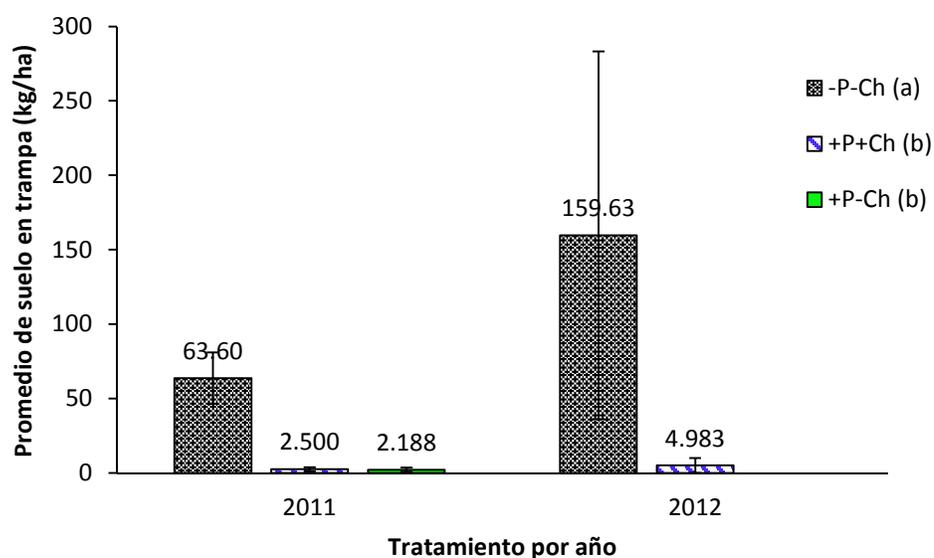


Figura 10. Cantidad de suelo colectado en las trampas de suelo por tratamiento en 2011 y 2012. Entre paréntesis se muestra el resultado de la comparación múltiple de medias (Holm-Sidak), la cual coloca al tratamiento con manejo normal (-P-Ch) en un grupo separado de los dos tratamientos con poda.

8.4 Erosión en sistema de estacas

Cuadro 11. Resultados del análisis de varianza de la erosión medida mediante los sistemas de estacas en áreas de 80 m². Se muestran los grados de libertad, valores de F y probabilidades de significancia de los factores tratamiento y tiempo y la interacción de estos dos.

Variable	Tratamiento			Tiempo (mes/año)			Tratamiento*Tiempo		
	gl	F	P	gl	F	P	gl	F	P
Erosión en cm (estacas)	2	0.2	0.833	1	109.9	<0.001	2	0.7	0.515

Es muy importante hacer hincapié en que mediante el sistema de estacas, al hacer un balance final de ganancia/pérdida de suelo anual, se detectó una ganancia neta de suelo mucho más alta y más frecuente con respecto a las pérdidas. Sólo dos de las huertas monitoreadas presentaron mayor pérdida neta de suelo, el resto presentaron ganancias. Dado que éste no fue un sistema de medición confinado en la parte superior de la ladera, y que se basa en cambios de nivel que son dinámicos y no acumulativos (los desplazamientos no son retenidos como en la trampa de sedimento), es un buen método para detectar en qué parte del área y de qué forma se dan las mayores pérdidas, sin embargo su resolución cuantitativa no es comparable con el método de captura del suelo arrastrado.

La prueba de ANdeVA mostró diferencias significativas ($p < 0.001$) en la pérdida de suelo entre los dos años, sin embargo, este análisis no mostró diferencias significativas entre tratamientos. A diferencia de los resultados obtenidos mediante las trampas de suelo, los sistemas de estacas no mostraron una pérdida de suelo mucho más elevada en el tratamiento con manejo normal (Figura 11).

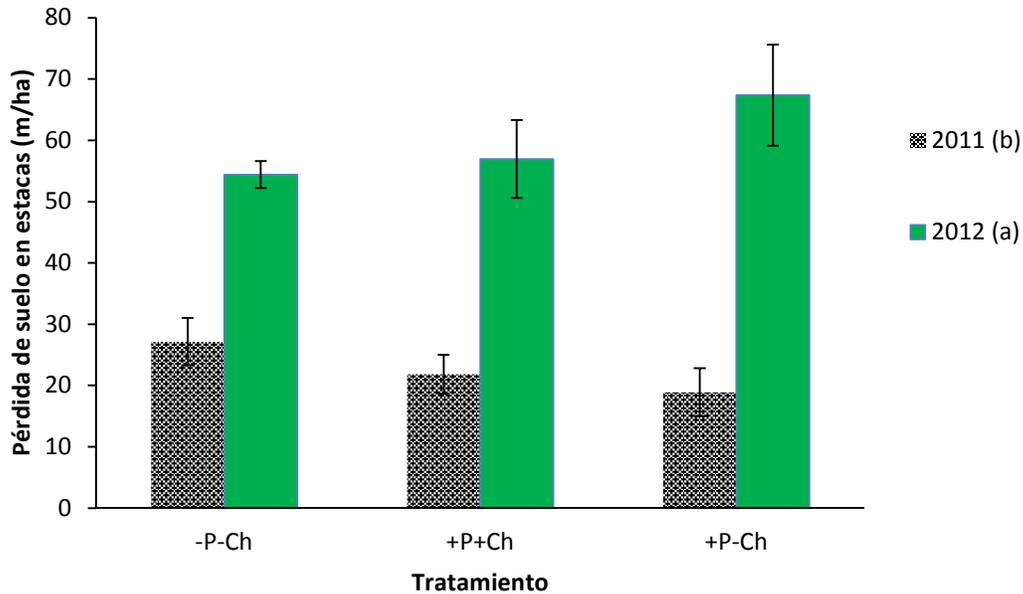


Figura 11. Promedio de la pérdida de suelo en (cm) el sistema de estacas por tratamiento en 2011 y 2012. Entre paréntesis se muestra el resultado de la comparación múltiple de medias (Holm-Sidak), la cual muestra que hay diferencias significativas entre los dos años ($p < 0.001$).

Más adelante se muestran las gráficas de contorno que representan el resumen anual de las pérdidas de suelo para cada sistema de estacas (Figuras 13-18). En éstas se puede observar un mayor decremento en el nivel del suelo (movimientos negativos en el nivel del suelo) en el segundo año (2012), tanto en el número de estacas como en la intensidad de las pérdidas (cm de suelo). No parece haber cambios relacionados con los tratamientos. Es claro que las pérdidas ocurren en puntos muy específicos dentro del área, los cuales se encuentran por debajo o en el margen de las copas de los árboles en la mayoría de los casos. Esto parecería indicar la presencia de puntos de goteo lo suficientemente fuertes para remover el suelo y generar erosión por salpicadura. Más allá de esto no existe un patrón claro, en relación con la ubicación espacial de las estacas, que pudiera indicar el factor que ocasiona el decremento en el nivel del suelo. Hay que recordar que dichas gráficas representan únicamente los decrementos en el nivel del suelo e ignoran los incrementos, por lo que no es posible precisar que los decrementos en el nivel del suelo en éstas representen pérdidas del sistema. Más precisamente, lo que las gráficas muestran es una gran cantidad de movimiento muy local en el suelo que no necesariamente llega a ser desplazado en dirección de la ladera.

Cuadro 12. Resultados del análisis de varianza del índice de movimiento de suelo (IMS). Se muestran los grados de libertad, valores de F y probabilidades de significancia de los factores tratamiento y tiempo y la interacción de estos dos.

Variable	Tratamiento			Tiempo (mes/año)			Tratamiento*Tiempo		
	gl	F	P	gl	F	P	gl	F	P
Índice de Movimiento de suelo (IMS)	2	0.3	0.75	1	3.5	0.12	2	1.5	0.265

Tanto el tiempo como los tratamientos no generaron diferencias significativas sobre el índice de movimiento de suelo (IMS) (Cuadro 12). Todos los valores del índice fueron positivos, lo cual refleja la ganancia de suelo neta en los sistemas de estacas (Figura 12). En general ocurrió mayor fluctuación en los niveles del suelo en el primer año (hay que notar que en este año la precipitación fue más baja con respecto al segundo), sin embargo, no parece haber un patrón entre los tres tratamientos.

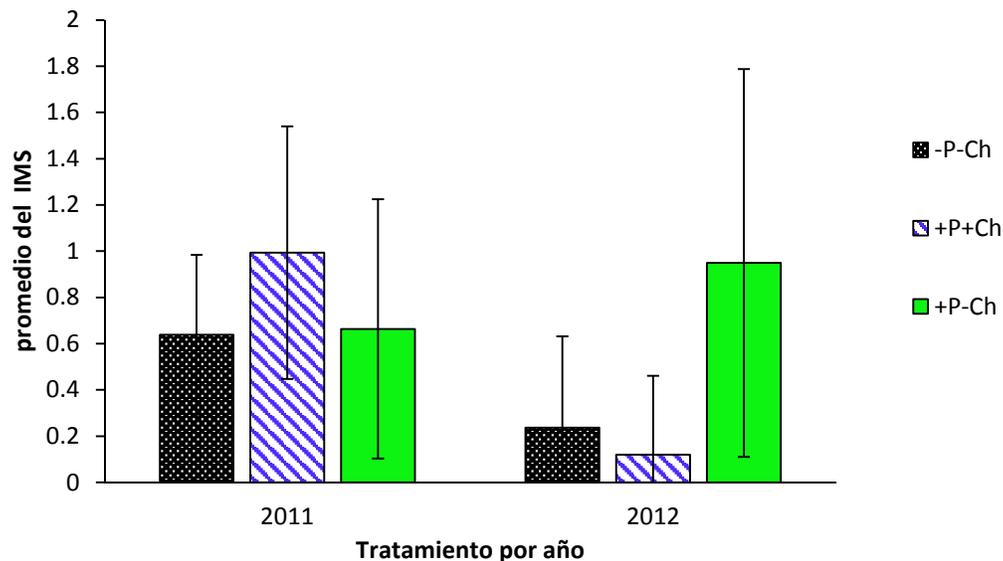


Figura 12. Promedio de los valores obtenidos para el índice de movimiento de suelo (IMS) en cada tratamiento

Gráficas de Contorno

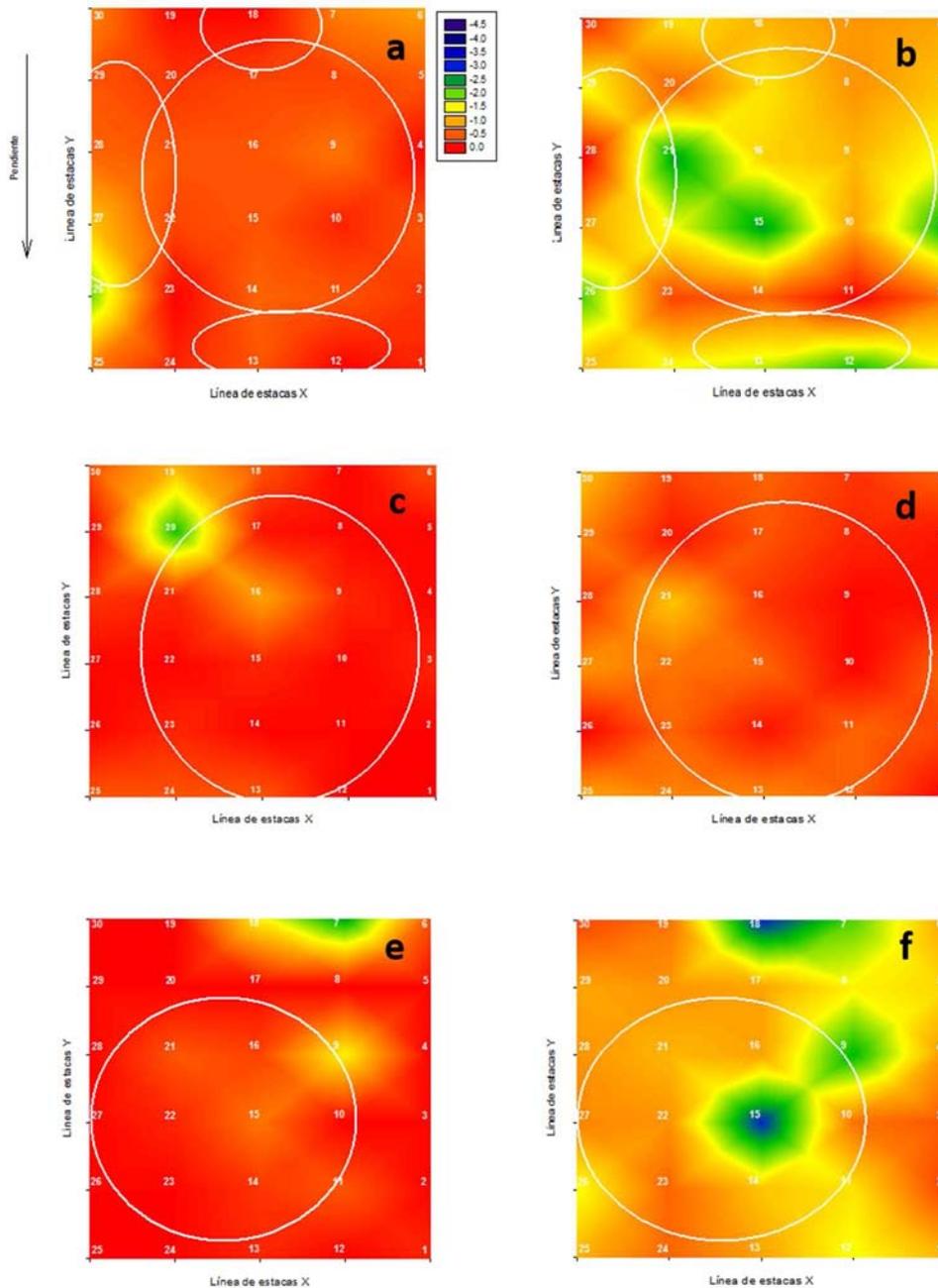


Figura 13. Pérdida de suelo en estacas de la Huerta 1. Los números representan las 30 estacas separadas a 2 m una de otra. Los círculos en el interior muestran el borde aproximado de la copa de los árboles y los tonos de claro a oscuro muestran el grado de pérdida de suelo (cm). a y b corresponden al tratamiento -P-Ch, en 2011 y 2012 respectivamente. c y d corresponden al tratamiento +P+Ch, en 2011 y 2012 respectivamente. e y f corresponden al tratamiento +P-Ch en 2011 y 2012 respectivamente.

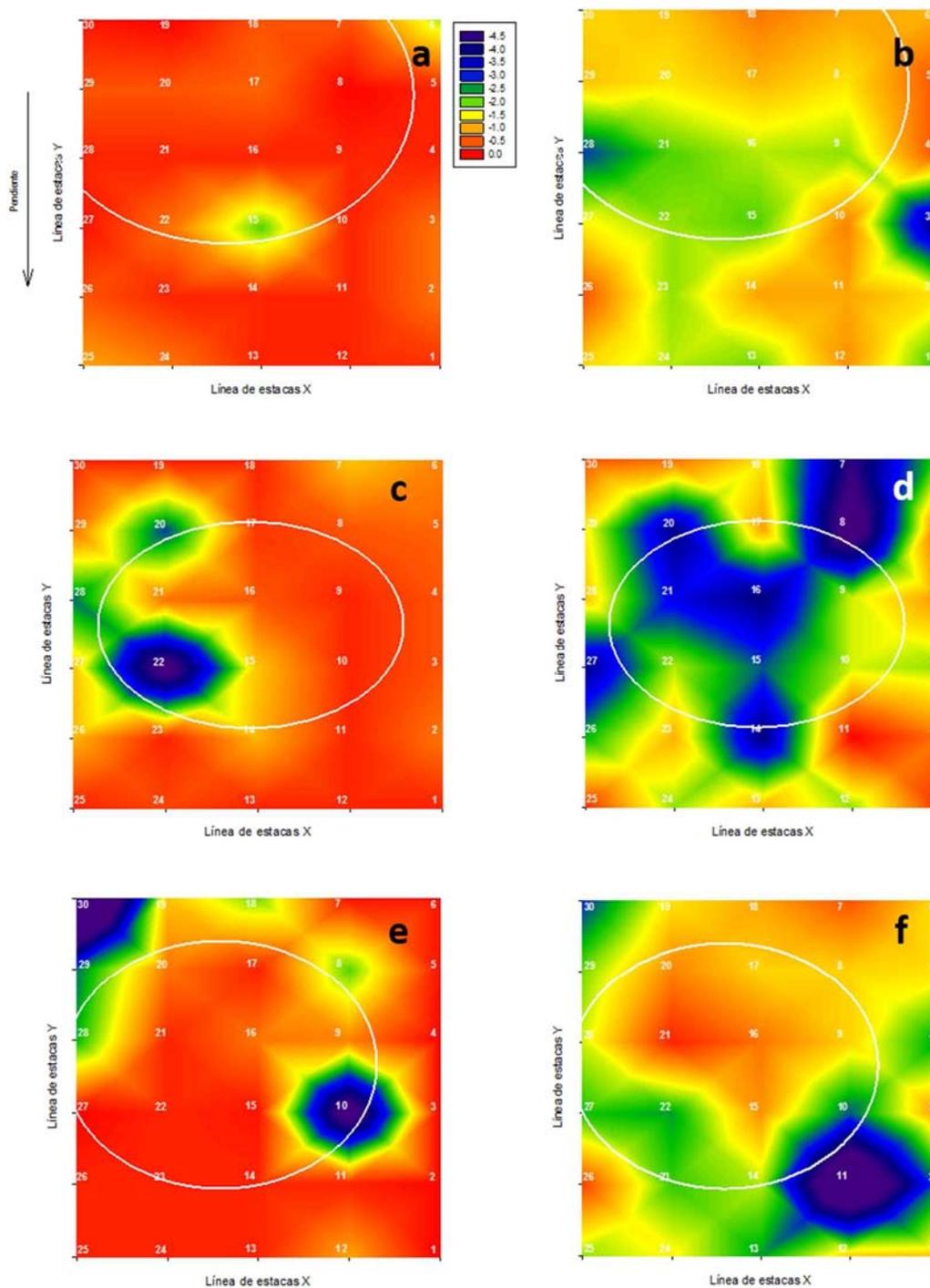


Figura 14. Pérdida de suelo en estacas de la Huerta 2. a y b corresponden al tratamiento -P-Ch, en 2011 y 2022 respectivamente. c y d corresponden al tratamiento +P+Ch, en 2011 y 2022 respectivamente. e y f corresponden al tratamiento +P-Ch en 2011 y 2022 respectivamente.

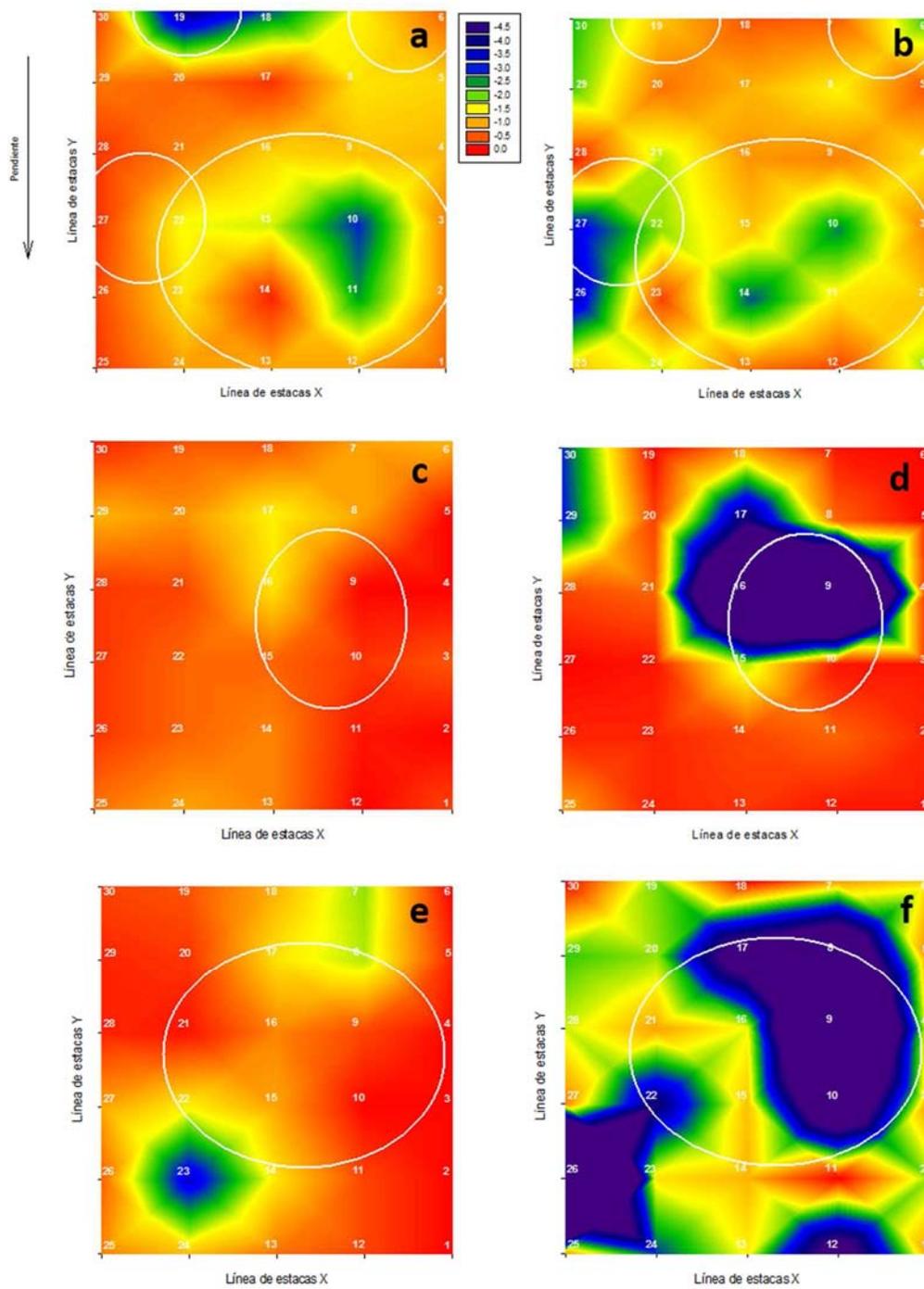


Figura 15. Pérdida de suelo en estacas de la Huerta 3. a y b corresponden al tratamiento -P-Ch, en 2011 y 2012 respectivamente. c y d corresponden al tratamiento +P+Ch, en 2011 y 2012 respectivamente. e y f corresponden al tratamiento +P-Ch en 2011 y 2012 respectivamente.

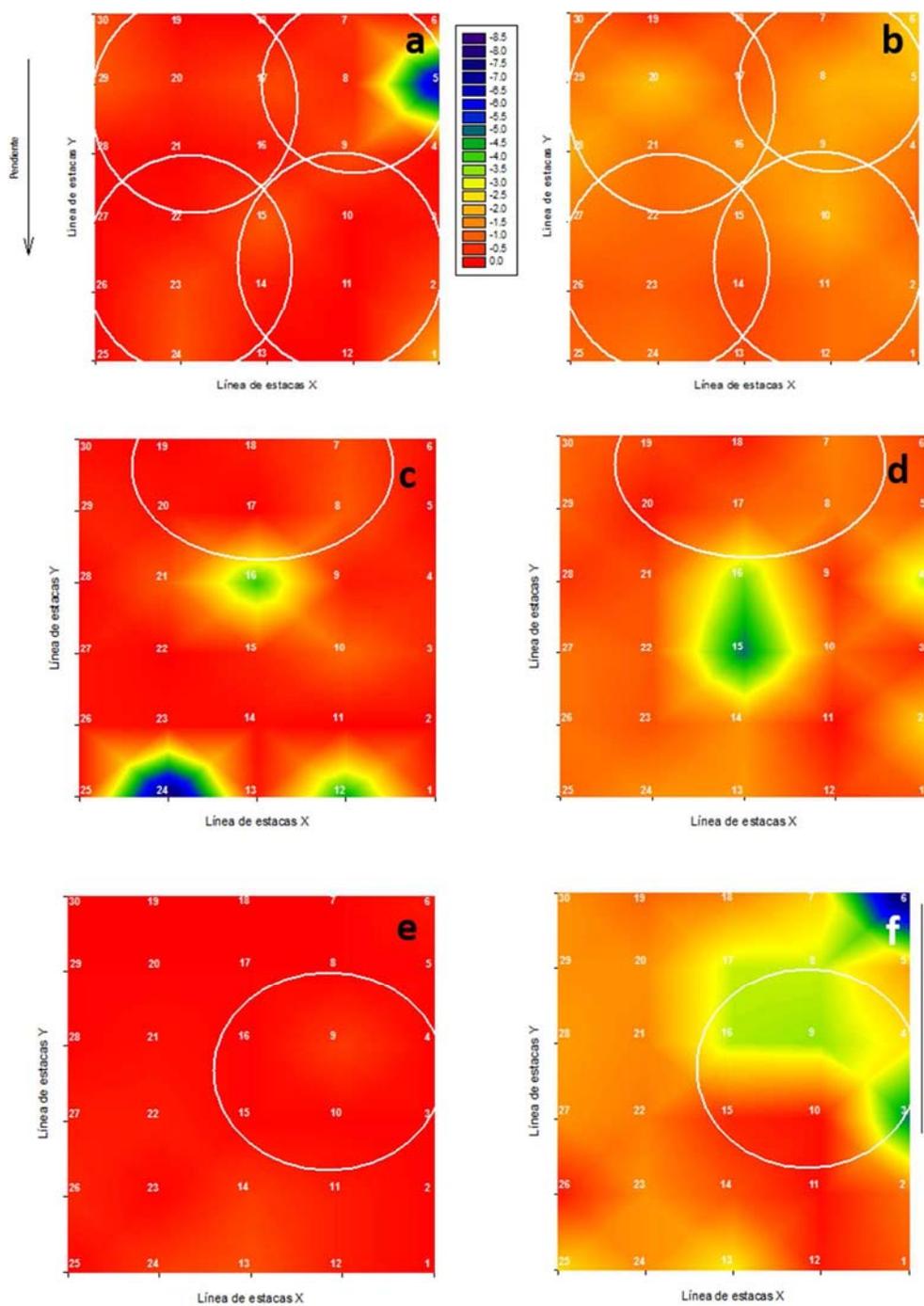


Figura 16. Pérdida de suelo en estacas de la Huerta 4. a y b corresponden al tratamiento -P-Ch, en 2011 y 2012 respectivamente. c y d corresponden al tratamiento +P+Ch, en 2011 y 2012 respectivamente. e y f corresponden al tratamiento +P-Ch en 2011 y 2012 respectivamente.

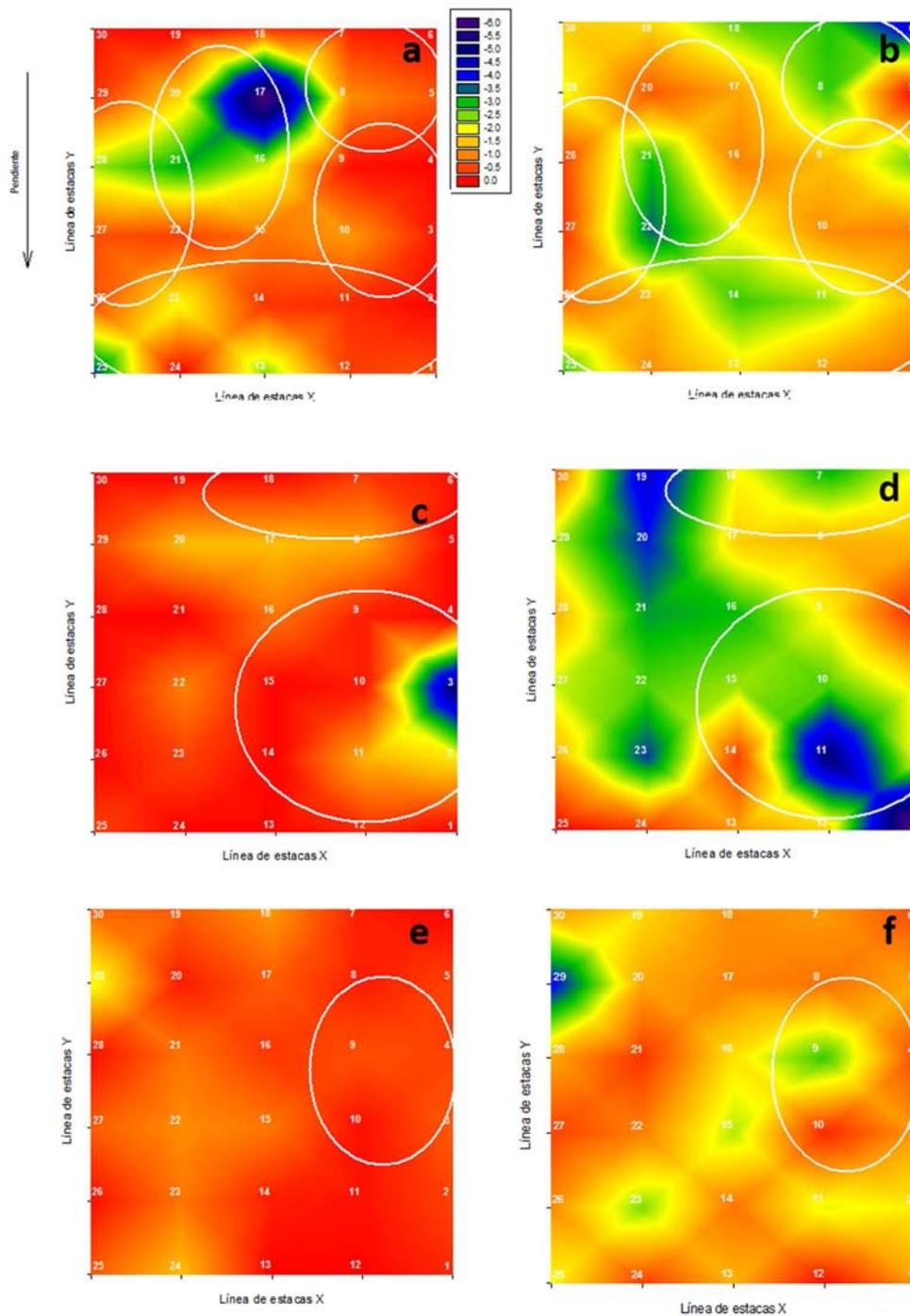


Figura 17. Pérdida de suelo en estacas de la Huerta 5. a y b corresponden al tratamiento -P-Ch, en 2011 y 2012 respectivamente. c y d corresponden al tratamiento +P+Ch, en 2011 y 2012 respectivamente. e y f corresponden al tratamiento +P-Ch en 2011 y 2012 respectivamente.

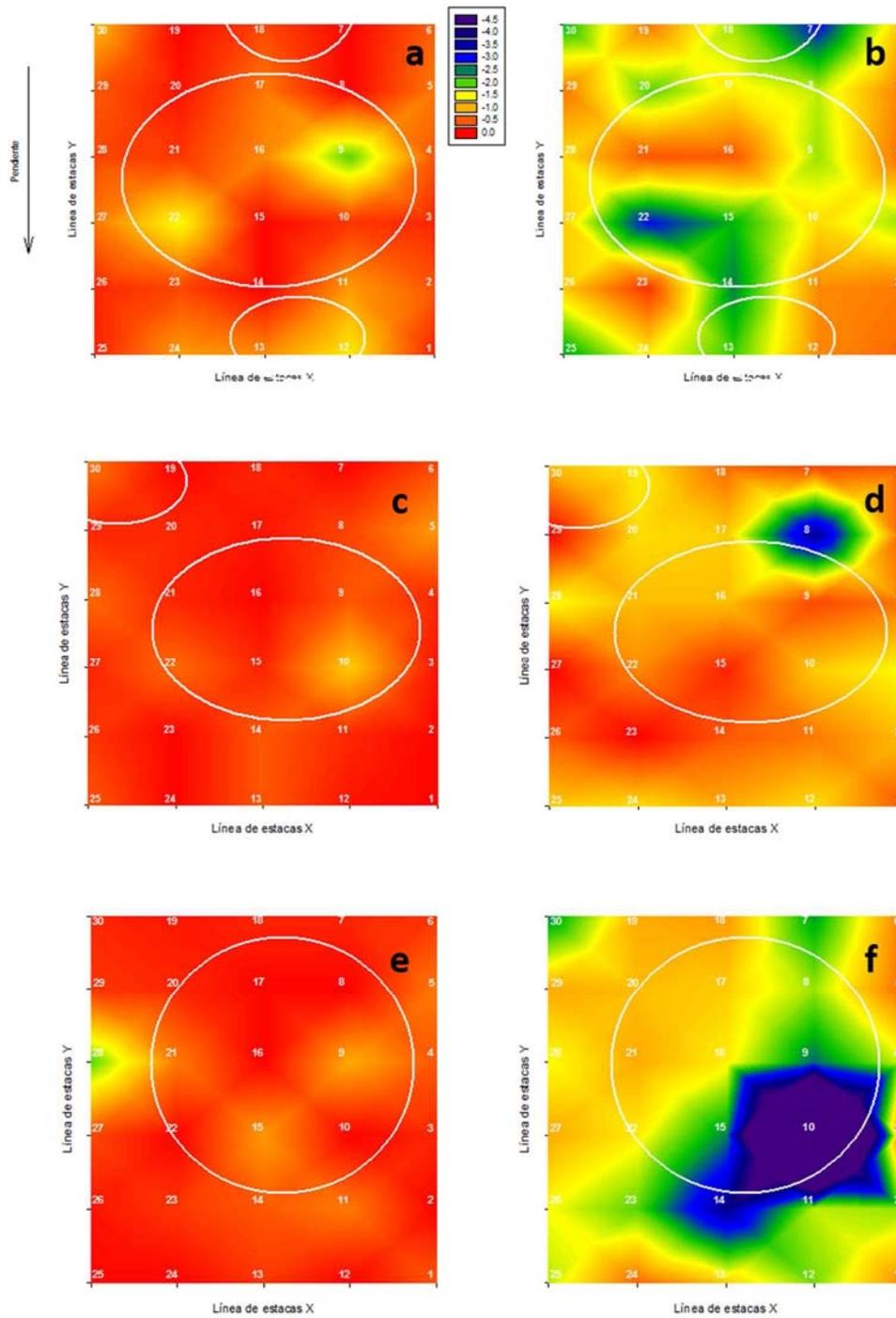


Figura 18. Pérdida de suelo en estacas de la Huerta 6. a y b corresponden al tratamiento -P-Ch, en 2011 y 2012 respectivamente. c y d corresponden al tratamiento +P+Ch, en 2011 y 2012 respectivamente. e y f corresponden al tratamiento +P-Ch en 2011 y 2012 respectivamente.

8.5 Cobertura vegetal vs erosión en trampas de suelo

Con base en estos datos, se evaluó la interacción entre la cobertura vegetal general (herbáceas y copa del árbol) y la pérdida de suelo medida en las trampas (Figura 19). La figura muestra una relación baja entre ambas variables ($R^2=0.08$). Aun así hay un patrón exponencial negativo al igual que el observado entre la cobertura herbácea y la pérdida de suelo (Figura 20).

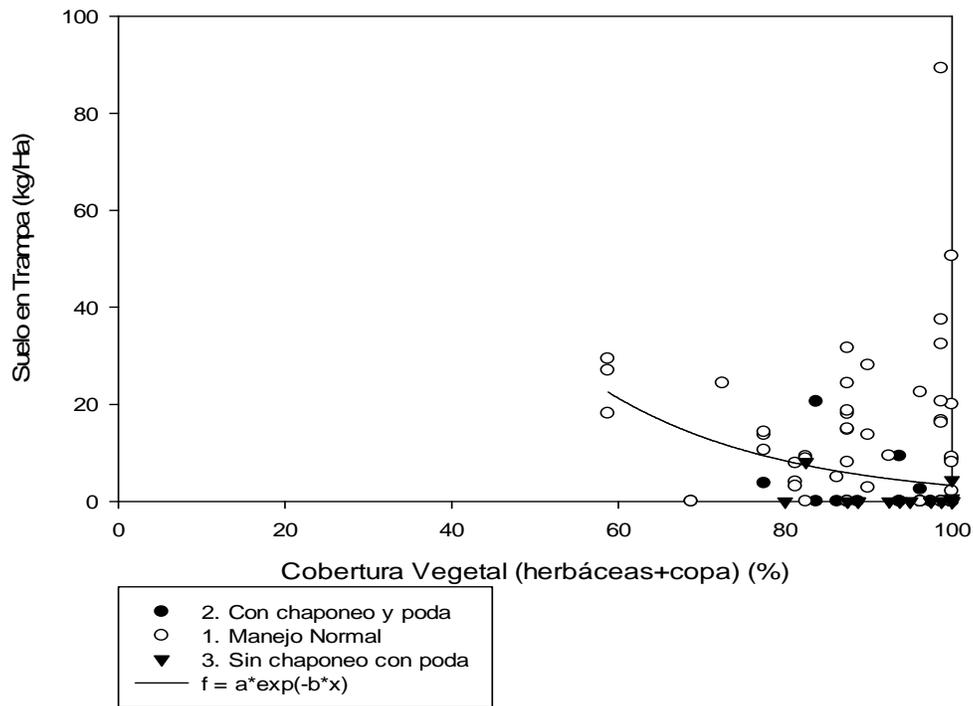


Figura 19. Cobertura vegetal general (%) contra erosión ($\text{kg ha}^{-1} \text{año}^{-1}$) medida en trampas en los tres tratamientos. Función exponencial negativa: $y = a \cdot \exp(-b \cdot x)$; $R^2=0.08$; $gl= 2$; $F=13.76$; $p<0.001$.

La relación entre la cobertura herbácea pos sí sola y la erosión es más fuerte ($R^2= 0.35$) y también fue significativa ($p<0.001$) (Figura 20), lo cual sugiere que en efecto es la cobertura herbácea la que reduce la pérdida de suelo. A mayor cobertura herbácea, la pérdida de suelo tiende a disminuir. Se puede observar que con una cobertura herbácea de 0 a 10% la erosión disminuye de forma pronunciada, mientras que cuando sobrepasa estos niveles, la erosión aún disminuye pero de manera menos acentuada.

La figura 20 también refleja las diferencias entre los tratamientos con poda y sin poda que se analizaron anteriormente, ya que los puntos correspondientes al tratamiento -P-Ch, se separan por completo de los otros.

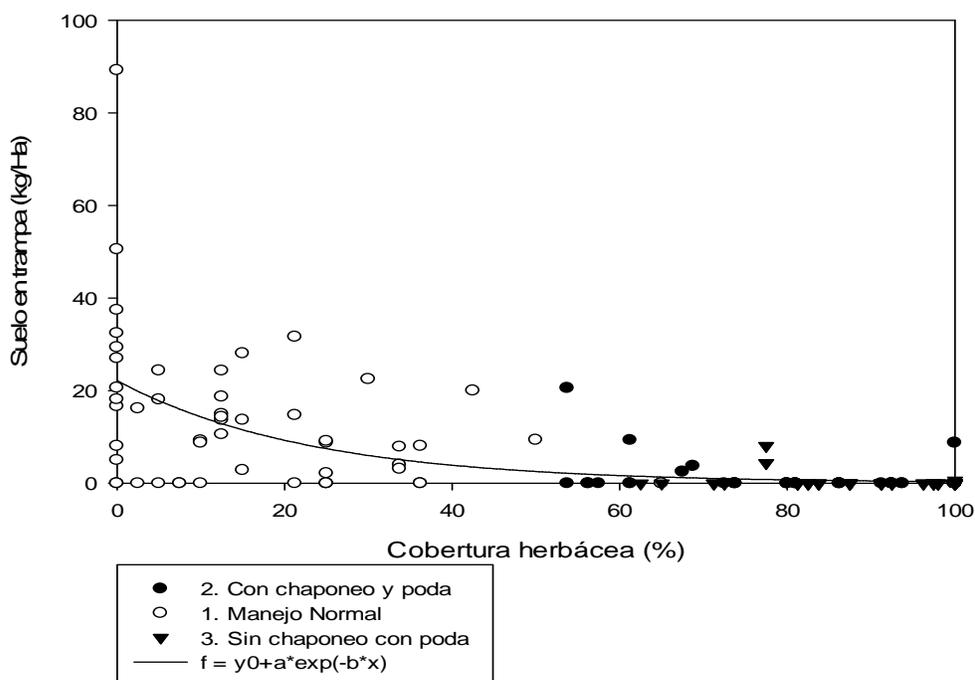


Figura 20. Cobertura herbácea (%) contra erosión ($\text{kg ha}^{-1} \text{año}^{-1}$) medida en trampas en los tres tratamientos. Función exponencial negativa: $y = y_0 + a \cdot \exp(-b \cdot x)$; $R^2= 0.35$; $gl= 2$; $F=86.36$; $p<0.001$.

Las hierbas no gramíneas presentaron una relación significativa con la erosión ($p < 0.001$) al igual que las hierbas gramíneas ($p < 0.001$), aunque las hierbas no gramíneas tienen una relación más fuerte esta variable (Figura 21).

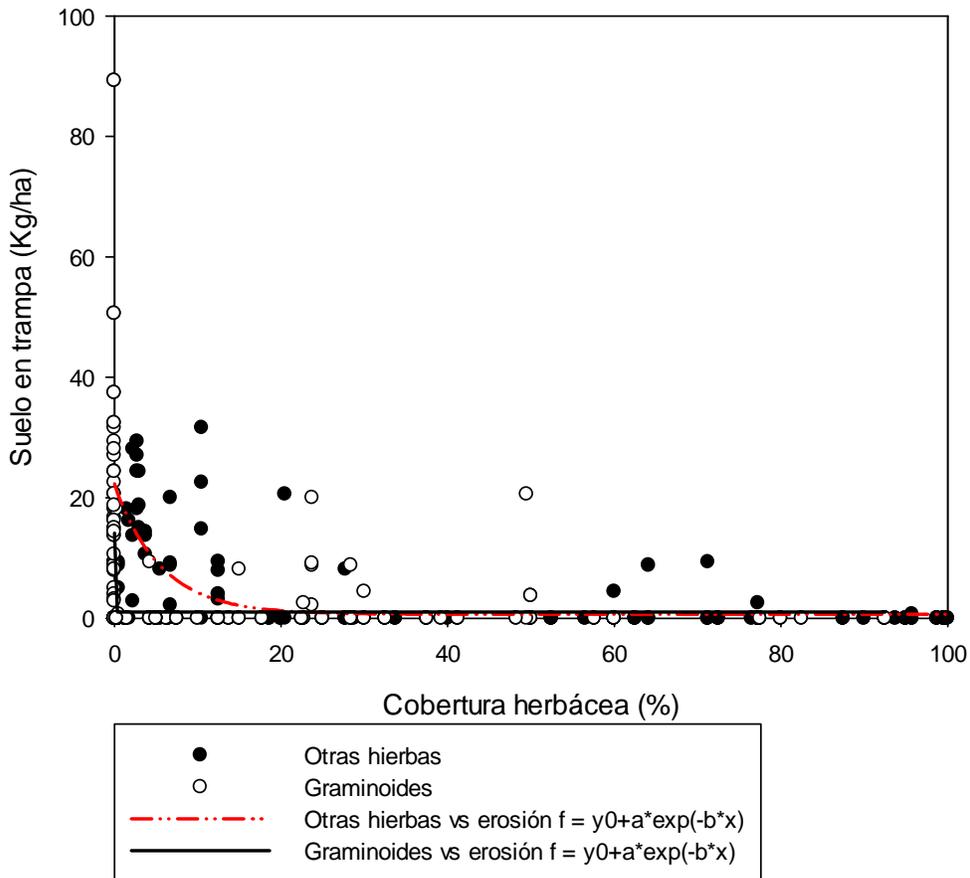


Figura 21. Tipo de cobertura herbácea, gramíneas y otras hierbas (no gramíneas), contra la erosión medida en trampas ($\text{kg ha}^{-1} \text{año}^{-1}$). Gramíneas contra erosión: Función exponencial negativa $y = y_0 + a \cdot \exp(-b \cdot x)$; $R^2 = 0.07$; $g1 = 2$; $F = 12.2$ $p < 0.001$. Otras hierbas contra erosión: Función exponencial negativa $y = y_0 + a \cdot \exp(-b \cdot x)$; $R^2 = 0.2$; $g1 = 2$; $F = 39.2$ $p < 0.001$.

La precipitación y la pendiente no influyen en la cantidad de suelo colectado en las trampas de manera significativa ($p > 0.05$) (Figuras 22 y 23).

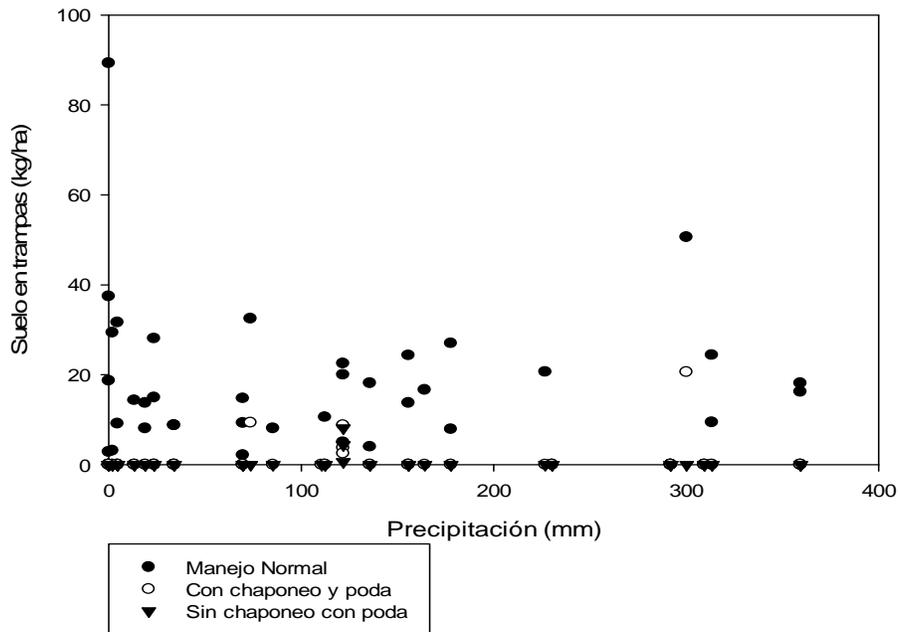


Figura 22. Precipitación (mm) contra Erosión ($\text{kg ha}^{-1} \text{año}^{-1}$) medida en trampas en los tres tratamientos. No hay relación entre las dos variables. $R^2=0.002$; $gl=2$; $F=0.34$; $p=0.56$.

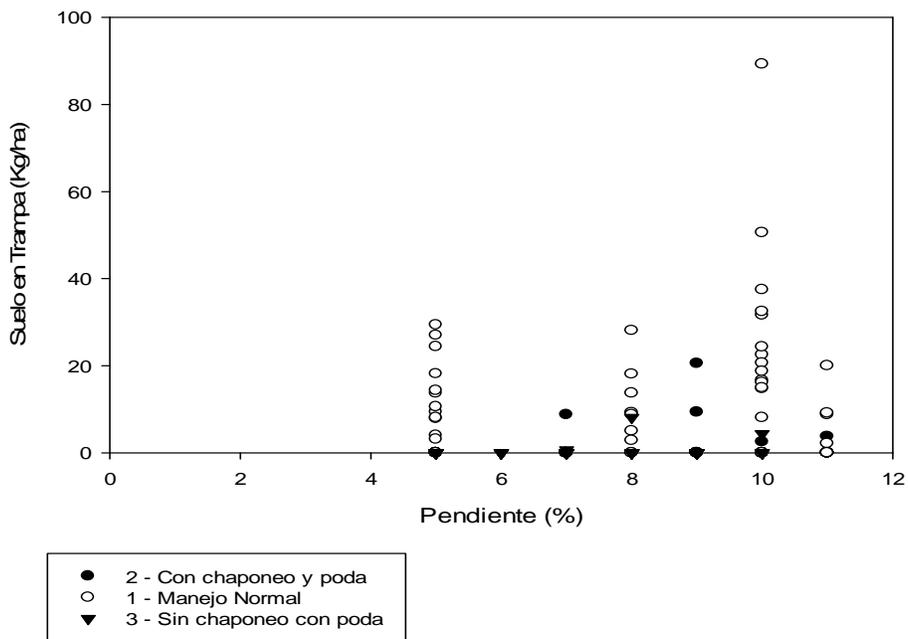


Figura 23. Pendiente (%) contra Erosión ($\text{kg ha}^{-1} \text{año}^{-1}$) medida en trampas en los tres tratamientos. Función exponencial: $y = a \cdot \exp^{(b \cdot x)}$; $R^2= 0.02$; $gl=2$; $F=3.12$; $p=0.08$.

8.6 Cobertura vegetal vs erosión en sistemas de estacas

El decremento en el nivel del suelo medido mediante los sistemas de estacas no tiene una relación significativa con las variables de cobertura vegetal general, cobertura herbácea, gramínoideas, no gramínoideas, precipitación o pendiente. Tampoco hay un patrón o tendencia entre estas variables.

8.7 Estimación de la erosión mediante la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo (EUPS)

La estimación de la erosión obtenida mediante la EUPS mostró valores muy elevados y contrarios a la erosión medida en las trampas de suelo. En este caso los tratamientos con poda de las copas presentan valores de erosión muy por encima que el tratamiento sin poda ($p < 0.001$) (Figura 24). Esto se debe a que los valores tabulados del factor C para bosque son más bajos que los que se proponen para huertas con árboles frutales manejados. Los otros valores considerados para los demás factores de la ecuación son similares dentro de cada huerta y por lo tanto no pueden señalar diferencias entre los tratamientos. Los datos generados mediante esta ecuación sí muestran diferencias entre el primero y el segundo año ($96\ 760\ \text{kg ha}^{-1}\ \text{año}^{-1}$ en 2011 y $146\ 389\ \text{kg ha}^{-1}\ \text{año}^{-1}$; $p = 0.015$).

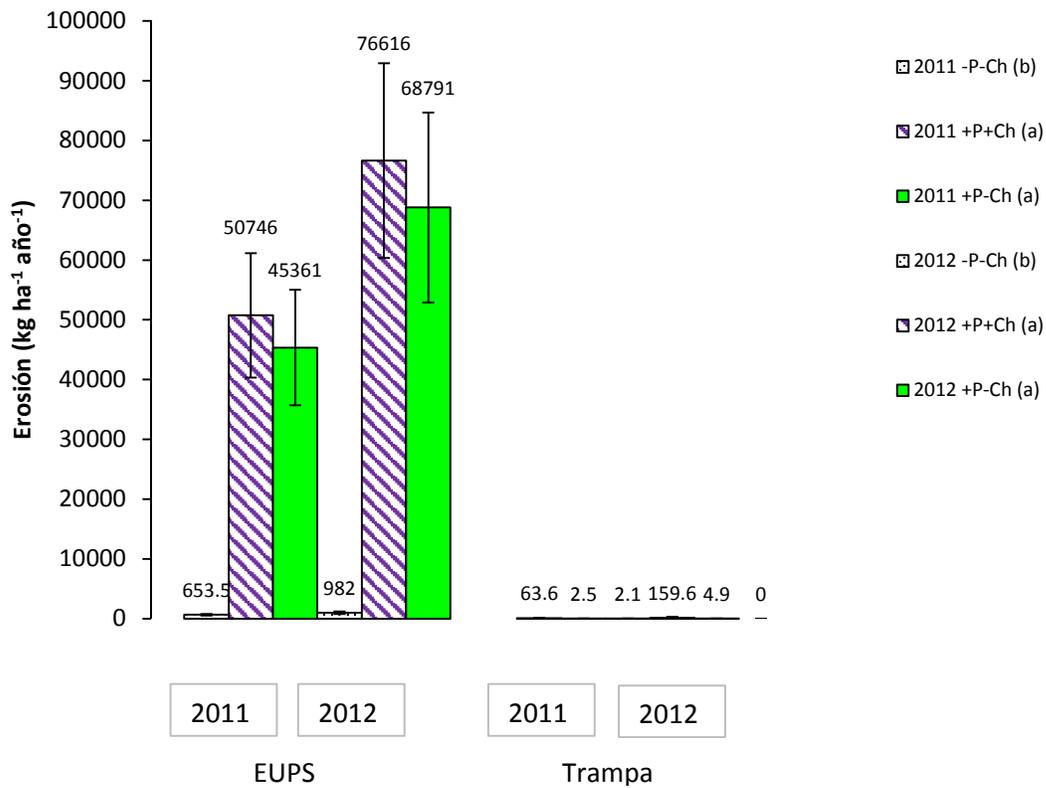


Figura 24. Erosión de suelo estimada (EUPS) y medida en trampas por año. Entre paréntesis en los tratamientos se muestra la agrupación resultante de la prueba de comparación múltiple de medias (Holm-Sidak).

Ante el problema evidente derivado de usar los valores tabulados para huertas que no consideran esas pequeñas variaciones de cobertura vegetal y que subestiman la protección de la cobertura herbácea, busqué utilizar la ruta inversa tratando de estimar el factor a partir de la ecuación con los valores medidos en campo para cada tratamiento. Al despejar el factor de manejo de cobertura (F. C) de la ecuación empleando los valores medidos de pérdida de suelo (factor A), se obtienen los valores exactos de C requeridos para realizar una estimación más adecuada de la pérdida de suelo bajo estas condiciones (Cuadro 12). Se observa que, a diferencia de los valores tabulados originales, el valor de este factor es mucho más bajo en los tratamientos con poda y mayor cobertura de hierbas. Entre más bajo sea el valor del factor de cobertura, menor será la cantidad de erosión estimada en la

ecuación. De esta manera los valores de estimación de la pérdida de suelo se acercan a los valores medidos mediante las trampas de suelo.

No hay diferencias significativas entre tratamientos en los valores de la ecuación al quitar el factor de cobertura ($F= 1.56$; $p=0.26$), lo que confirma lo expuesto anteriormente en torno a que los tratamientos prácticamente no difieren más que en el factor cobertura (Cuadro 13). Sin embargo, estos valores, que toman en cuenta los suelos, la precipitación y las pendientes en estas huertas, fueron muy elevados, de más de 500 hasta casi 1000 toneladas por hectárea por año.

Cuadro 13. Pérdida de suelo ($\text{kg ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$) estimada con modificaciones al factor de cobertura. Se muestran los valores de erosión estimada obtenidos mediante la EUPS sin el factor C, con los valores para el factor C tabulados en Wischmeier y Smith (1975), la erosión que se midió en las trampas de suelo (para comparar) y finalmente el valor del factor C obtenido despejando usando los valores de la erosión medida en las trampas de suelo.

Tratamiento	Erosión Estimada (EUPS)		Erosión Medida en trampas	F. C Despejado $C = A/RKLSP$
	Sin F. C	F. C tabulado = 0.001 (Wischmeier y Smith)		
Manejo Normal				
año 2011	653, 562	654	64	1.27E-04
año 2012	982, 054	982	160	0.000156505
Con chaponeo y poda				
	Sin F. C.	F. C tabulado = 0.08 (Wischmeier y Smith)		
año 2011	634, 326	507, 46	2.5	3.96E-06
año 2012	957, 701	766, 16	5	5.30E-06
Sin chaponeo con poda				
	Sin F. C.	F. C tabulado = 0.08 (Wischmeier y Smith)		
año 2011	567, 013	453, 61	2	3.24E-06
año 2012	859, 897	687, 92	0	0

9. Discusión

Los datos muestran claramente que los tratamientos con poda del dosel favorecen el establecimiento de plantas herbáceas en general y que esto reduce la erosión a niveles mínimos, cercanos al cero. Sin embargo, no resulta del todo evidente si esto se debe a una mayor entrada de luz por las copas, o bien a la menor cantidad de hojas de aguacate, las cuales podrían contener compuestos que afectaran el establecimiento de estas plantas (Gavito *et al.*, 2009). En este estudio no intenté caracterizar el efecto de la hojarasca sobre el establecimiento de las plantas porque esto implicaría estudiar varios factores como el grosor de la capa de hojas, su temperatura, humedad y características químicas, lo cual estaba fuera del alcance de este proyecto. Sin embargo, se discuten algunos puntos en relación a la hojarasca y algunas observaciones relacionadas con los resultados.

Directamente en el sitio, pude observar que por debajo de los árboles con menor densidad de ramas en la copa, pero con una cobertura aparentemente similar de hojarasca, también hay una cobertura parecida de herbáceas. Esto apunta a que la luz es probablemente el factor limitante más importante para el establecimiento de herbáceas, más que la cantidad de hojarasca, ya que en estos sitios con la misma cobertura de hojarasca, las herbáceas sí logran establecerse. Aquí habría que mencionar también que la disminución en la cobertura de hojarasca en los tratamientos con poda seguramente no está relacionada con el efecto de los tratamientos sino más bien con el establecimiento de nuevas plántulas, las cuales como observé *in situ*, se establecen por encima de la hojarasca y la van cubriendo. Esto mostraría que estas plantas son capaces de establecerse en presencia de las hojas del aguacate, sin embargo no invalida que exista cierto efecto negativo de la hojarasca sobre el establecimiento de nuevas plántulas tal como lo encontraron Sydes y Grime (1981).

El tratamiento con manejo normal presentó los porcentajes más altos de hojarasca, sin embargo, hay que mencionar que la cubierta de hojas en general no fue muy espesa (5-8 cm aprox), lo cual puede disminuir el efecto protector que ésta tiene sobre el suelo (Wischmeier y Smith, 1978). Este factor podría explicar la diferencia en el efecto que tiene la hojarasca del aguacate sobre la erosión en contraste con el que se observa en un bosque natural; la hojarasca en dicho contexto es muy efectiva para disminuir la pérdida de suelo (Wischmeier y Smith, 1978; Zuazo y Pleguezuelo, 2008).

Las hierbas gramíneas no se extendieron sobre una mayor proporción de la superficie en el tratamiento con chaponeo como se había esperado, de hecho las hierbas no gramíneas tienen mayor presencia en cobertura y riqueza de especies en los tres

tratamientos; probablemente debido a diversos factores ambientales y biológicos. Sin embargo, puesto que los tratamientos con poda de las copas sí permiten con mayor facilidad el establecimiento de plantas gramíneas con respecto a los sitios sin poda, y tienden ligeramente a incrementar la riqueza de gramíneas sin afectar la de no gramíneas, parecería que dicha actividad podría ayudar a mantener un equilibrio en la superficie cubierta por los distintos tipos de herbáceas. La poda de las copas ayudaría entonces a mantener una mayor diversidad de herbáceas, las cuales cumplen con diferentes funciones dentro del ecosistema (Booth *et al.*, 2003; Gavito *et al.*, 2011).

La poda de las copas, así como el manejo convencional u orgánico que se lleva a cabo en las huertas (Gonzalez-Esquivel *et al.*, 2015), son capaces de modificar la proporción de hierbas de cada tipo y la riqueza de especies herbáceas. Esto podría implicar cambios en la comunidad natural de herbáceas y probablemente de polinizadores con la poda de las copas y por lo tanto el riesgo de una pérdida de riqueza funcional con respecto al equilibrio natural (bosque). Sin embargo, Gavito *et al.* (2011) encontraron que la proporción de especies en los bosques de la región tiene un promedio de 74% no gramíneas por metro cuadrado, lo cual es similar al promedio que se encontró en los tres tratamientos. En este caso, es poco probable que con la poda de las copas haya una disminución de funciones debido a que la cobertura y el número de especies no se ven afectadas negativamente. Aun así, habría que realizar un estudio detallado de la comunidad de herbáceas y su relación con polinizadores en los diferentes tratamientos para asegurar que esto sea así.

En cuanto al corte de la hierba, es evidente que dicha práctica afecta de inmediato la superficie cubierta por herbáceas, sin embargo, estas plantas comienzan a surgir nuevamente en un lapso de tiempo muy breve, de tal manera que a los pocos meses la riqueza y cobertura de estas plantas tiende a ser incluso ligeramente más alta a la que se encuentra en los sitios sin chaponeo. Sin embargo, el porcentaje de suelo desnudo tiende a ser más elevado con esta práctica. Debido al breve efecto del chaponeo sobre las plantas, es difícil decir si hay un efecto considerable de esta práctica sobre la comunidad de herbáceas.

Hay que considerar que el tratamiento duró solo dos años y las hierbas de ciclo anual no tuvieron más que un ciclo completo de reproducción con los tratamientos, por lo cual habría que analizar el efecto de esta práctica por más tiempo para determinar con mayor certeza si ésta tiene efecto sobre la comunidad de herbáceas. Más allá de esto, el chaponeo no parece tener un efecto positivo, ya que el porcentaje de suelo desnudo tiende a ser ligeramente más elevado con esta actividad.

Puesto que en el tratamiento con manejo normal hay una ausencia casi completa de graminoides, podemos suponer que en estos sitios existe un factor limitante para estas plantas; posiblemente la cantidad de luz, ya que muchas de éstas se encuentran adaptadas a ambientes con altas intensidades de luz, razón por la cual la fotosíntesis C_4 ocurre en casi la mitad de las especies de la familia Poaceae (Gibson, 2009). Como mencionan Gilles *et al.* (1999), la poda de la copa de los árboles puede fomentar la diversidad de microclimas y así aumentar la riqueza de herbáceas.

Otro posible factor limitante es la presencia de la hojarasca. La hojarasca en general puede dificultar el establecimiento de algunas especies de herbáceas (Sydes y Grime, 1981), sin embargo, también puede tratarse de algún factor específico de las hojas del aguacate. La discusión hecha anteriormente sobre la presencia de plantas herbáceas en sitios con hojas de aguacate no toma en cuenta las diferencias entre estos dos tipos de hierbas, por lo que no se puede descartar que las hojas del aguacate tengan compuestos que afectan el crecimiento de plantas graminoides específicamente.

Es poco probable que la competencia entre plantas sea un factor que limita el crecimiento de pastos en los sitios con manejo normal; esto se debe a que hay poca presencia de hierbas en términos generales. Sin embargo, es posible que la competencia por recursos, tales como la luz, el espacio y nutrientes, sí sea un factor que afecta a las graminoides en los tratamientos con poda, ya que en estos hay una mayor densidad de plantas. Por otro lado, es necesario que esto se investigue más a fondo, ya que los requerimientos de las gramíneas y otro tipo de hierbas varían, lo cual disminuye la competencia en términos generales (Zimdahl, 2007).

Sin importar el factor que dificulta el establecimiento de las graminoides bajo estas condiciones, su baja presencia las hace poco efectivas con respecto a otras hierbas para el control de la erosión. Aunque en otros trabajos se menciona la efectividad de los pastos para el control de la erosión superficial, también se menciona la efectividad de otro tipo de plantas herbáceas para estos propósitos (Norris, 2008). En general se considera importante contar con una buena diversidad de herbáceas ya que éstas ayudan de diferentes maneras para la protección del suelo (Reubens, 2007; Norris, 2008). Es probablemente la baja presencia de graminoides, y no tanto sus características morfológicas, lo que ocasiona que otras hierbas tienden a una mayor relación con la erosión en este caso.

Las pérdidas de suelo ocurren debido a la escorrentía, la cual ocasiona erosión laminar y en algunos casos el inicio de la formación de pequeños surcos; sin embargo, en

general la erosión es relativamente baja, en promedio no sobrepasa el umbral de impacto en la región ($2 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$) según el INIFAP (2009) y Alexander (1988).

Los tratamientos con poda de las copas presentaron menor erosión en trampas con respecto a los tratamientos sin poda como se había esperado, sin embargo, los datos sobre erosión colectados mediante los sistemas de estacas no coinciden con estos resultados. Las mediciones realizadas con este método indican que hay un incremento neto en el nivel del suelo. Esto puede deberse al crecimiento y expansión del sistema de raíces, lo cual podría ocasionar un ligero levantamiento de la superficie. Es poco probable que la práctica de abonamiento ocasione un incremento tan elevado en el nivel del suelo debido a que éste se realiza en un área pequeña y localizada alrededor de los troncos. En estos sitios, también se pudo observar una alta presencia de montículos de suelo ocasionados por la actividad de las tuzas (*Pappogeomys tylorhynus*, *Pappogeomys alcorni*), los cuales también afectaron las mediciones en estacas y sugieren que la actividad de estos animales es un factor que constantemente está exponiendo suelo, que anteriormente estaba protegido, directamente a la erosión. Es por esto que, en presencia de una cobertura herbácea, el método del sistema de estacas resulta poco adecuado para medir la erosión en términos cuantitativos. Los datos cuantitativos de pérdida de suelo obtenidos mediante este método son poco coherentes en este caso ya que no reflejan las diferencias contrastantes entre los tratamientos con y sin poda. Como consecuencia tampoco muestran un patrón o relación con la cobertura vegetal, lo cual como se discutió anteriormente, se encuentra ampliamente documentado. Debido a esto, en contextos donde hay presencia de cobertura herbácea, resulta más adecuado evaluar la relación entre la cobertura vegetal y la erosión mediante los datos obtenidos en las trampas de suelo.

Por otro lado, los sistemas de estacas resultaron útiles para observar la pérdida de suelo en términos espaciales ya que fue posible conocer los sitios que presentaron pérdidas e incrementos. Se registró que en las huertas existe mucho cambio y movimiento en el nivel del suelo. Como ya se mencionó, esto puede ser en parte producto del crecimiento del sistema de raíces o de las tuzas, sin embargo, no descarta que el movimiento se deba también al desplazamiento de suelo por escorrentía y puntos de goteo. Si bien esto no indica necesariamente una pérdida de suelo del sistema, sí podría reflejar una alta erodabilidad del suelo. Puesto que en este sistema se registraron puntos localizados de erosión en los tres tratamientos, podemos suponer que la cobertura vegetal de cualquier tipo (herbáceas, hojarasca y dosel) no impide por completo que el suelo se desplace por salpicadura en áreas de goteo.

La baja relación entre la erosión y la pendiente puede ser simplemente debido a que los sitios cuentan con pendientes ligeras que no sobrepasan el 11% (Tiscareño *et al.*, 1999).

Existe información contradictoria respecto al efecto de la pendiente sobre los niveles de erosión (Chaplot *et al.*, 2000); hay autores que reportan decrementos en la escorrentía conforme aumenta la pendiente debido a un incremento en la velocidad de infiltración, lo cual resulta en una disminución en la erosión de tipo laminar (Poesen, 1984). La baja relación con la precipitación se debe probablemente a que ésta no fue medida directamente en los sitios; los datos fueron obtenidos de las estaciones meteorológicas más cercanas. Sin embargo, puesto que los sitios con los diferentes tratamientos se encontraban en cercanía uno con el otro dentro de una misma huerta, la precipitación no podría explicar las diferencias entre éstos dentro de la misma huerta. La débil relación entre estas variables en este caso permite asegurar que las diferencias en el nivel de erosión entre tratamientos no se deben a los ligeros cambios en la pendiente o a la precipitación.

Existen sin embargo características físicas del suelo que comúnmente influyen en los niveles de erodabilidad y que por lo tanto podrían estar afectando los niveles de erosión, tales como la compactación del suelo y la velocidad de infiltración (Morgan, 2005; Gavito *et al.*, 2011). Youlton *et al.* (2010) han relacionado la erosión en huertas de aguacate con la disminución en la capacidad de infiltración en los suelos. Sin embargo, Bravo *et al.* (2009a) encontraron que la cobertura del suelo incrementa la infiltración del agua bajo condiciones similares en la región.

Puesto que en este trabajo los tratamientos constan de diferentes manejos de la cobertura vegetal, el factor de manejo de cultivo (C) es el único en la EUPS que permite hacer una distinción entre los tratamientos (a pesar de que cada tratamiento podría considerarse una práctica de apoyo para la conservación del suelo (factor p), debido a la poda de las copas y el corte de la hierba, Wischmeier y Smith (1978) mencionan que las prácticas de manejo y la cobertura vegetal no se pueden desligar debido a que su efecto para proteger el suelo está muy ligado. Los autores mencionan que los beneficios de las prácticas de manejo están incluidas en el factor C y por lo tanto tampoco existen valores del factor P tabulados para el manejo de la cobertura vegetal. También hay que aclarar que la cobertura herbácea que se encuentra presente en las huertas es aquella que se establece de manera natural, no ha sido sembrada con fines de proteger el suelo, y por lo tanto no hay una práctica para la conservación del suelo como tal). Es por este motivo que el factor C es determinante para realizar una correcta predicción de la pérdida de suelo. La propuesta original del factor C tabulado, no hace una distinción entre los tipos de coberturas vegetales en el suelo (hojarasca, rastrojo, herbáceas) y mucho menos considera el corte de la hierba. Los valores tabulados más cercanos a las condiciones presentes en este trabajo corresponden a pequeños árboles frutales manejados en el caso de los sitios con poda y de bosque para los sitios cerrados sin poda; quizá también se podrían considerar los valores para cultivos de gramíneas con cierto porcentaje de rastrojo (Wischmeier y Smith, 1972

citado en Blanco y Lal, 2005). Entre más bajo sea el valor del factor de cobertura (C) más bajos serán los resultados de la ecuación. Puesto que la propuesta original del factor de cobertura (C) le otorga mucha importancia a la hojarasca/rastrojo como forma de protección, al tratamiento con manejo normal le corresponden los valores tabulados más bajos de este factor (f. C Bosque = 0.001) y por ende también muestra los niveles más bajos de erosión en este tratamiento. Esto es contrario a lo que se midió en las trampas de suelo. Dicho factor debería reflejar que las condiciones con poda de las copas y altos porcentajes de cobertura herbácea son más efectivas para disminuir la erosión hídrica. De hecho el valor obtenido para el factor C al usar la ecuación universal para derivar este factor, mostró que en el tratamiento sin poda, que por su cobertura arbórea se supuso similar a la de los bosques, es un orden de magnitud más bajo que el sugerido en la literatura para bosques. Más aún, en los tratamientos con poda y alta cobertura herbácea el valor C obtenido es prácticamente cero, como las pérdidas que fueron medidas, que refleja una protección total.

Los resultados de este trabajo destacan la importancia de hacer una distinción entre la cobertura del dosel, hojarasca y la cobertura herbácea; la cual, como se mencionó en el primer informe del proyecto realizado por Gavito *et al.* (2011), resulta importante para controlar la erosión hídrica en este caso. Esto coincide con propuestas anteriores sobre la importancia de la morfología y el contacto directo con el suelo de la vegetación para el control de la erosión (Wischmeier, 1975; Wischmeier y Smith, 1978; Dissmeyer y Foster, 1981; Lang y McCaffrey, 1984; Styczen y Hogh-Schmidt, 1988; Morgan *et al.*, 1997; Bochet *et al.*, 2006; Stokes *et al.*, 2008).

Como puede verse en muchos trabajos relacionados con el efecto protector de la cobertura vegetal sobre el suelo (Meyer *et al.*, 1970; Wischmeier y Smith, 1975; Singer y Blackard, 1978; Amado, 1985; Langdale *et al.*, 1991), es común que no se mencione a las plantas herbáceas (o “malezas”) como forma adicional de protección (algunos de los trabajos que sí lo hacen son: Chisci y Martinez, 1993; Hernández *et al.*, 2005; Zuazo *et al.*, 2006; Stokes *et al.*, 2008; Youlton *et al.*, 2010; Atucha *et al.* 2012). En general se hace referencia al efecto protector del cultivo principal junto con los residuos del cultivo (rastrojo/hojarasca). En cultivos con árboles frutales, el dosel es considerado como la principal forma de cobertura vegetal junto con la hojarasca (Wischmeier y Smith, 1978; Blanco y Lal, 2008). Como se mencionó anteriormente, ésta es la razón principal por la cual la EUPS puede ser inefectiva para estimar la pérdida de suelo en un primer instante; ya que el valor del factor de manejo de cultivo (C) se determina sin hacer distinción entre la hojarasca/rastrojo y la cobertura herbácea.

Tomando en cuenta únicamente al dosel y hojarasca como cobertura vegetal, esta variable presentaría los valores más altos en el tratamiento con manejo normal, el cual también presentó los valores más elevados de pérdida de suelo. Sin embargo, es importante notar que en este trabajo no se midió directamente la erosión hídrica que ocurre en sitios sin cobertura vegetal (sin árboles, hojarasca o herbáceas), por lo que no se puede descartar que el dosel y hojarasca de los árboles de aguacate también ejercen un efecto protector importante para reducir la erosión hídrica del suelo (INIFAP, 2009; Youlton *et al.*, 2010; Atucha *et al.*, 2012,). Sin embargo las estimaciones hechas sin considerar el factor C (lo cual estima la erosión sin cobertura vegetal), dieron valores de más de 500 toneladas por hectárea por año, valores que no se midieron en ninguna de las 24 huertas con diversas coberturas que se estudiaron en Gavito *et al.* (2011). Por lo tanto es evidente que la cobertura de las huertas de un modo u otro protege el suelo y es razonable pensar que los resultados de la EUPS en este caso representan mejor el efecto protector del dosel y hojarasca, lo cual apoya que en efecto ambas contribuyen de manera importante para la conservación del suelo.

Bravo-Espinosa *et al.* (2005, 2009b) en efecto reportan un efecto protector importante del rastrojo de maíz (posiblemente similar a la hojarasca de aguacate) para el control de pérdida de suelo y la reducción en la escorrentía en una zona cercana a esta región y bajo condiciones similares. Sin embargo, encontraron que se requiere aún más protección (barreras biofísicas) para llevar la escorrentía y erosión a niveles cercanos a cero en campos con cultivos anuales que tienen menor cobertura y más suelo expuesto.

Es entonces recomendable diversificar el tipo de coberturas que protejan al suelo, ya que cada una ayuda a proteger contra diferentes factores que promueven la erosión.

Existen diferentes criterios para determinar el nivel de tolerancia a la erosión de un suelo específico (Stamey y Smith, 1964; Grossmann y Berdanier, 1982; Hurni, 1983; Blanco y Lal, 2008), sin embargo, algunos de los datos necesarios pueden ser difíciles de obtener. Para la región estudiada en este trabajo, el umbral de impacto se reporta en $2 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$, que es superior a lo que se midió en estas huertas. Sin embargo hay que tomar en cuenta que estos umbrales de tolerancia con frecuencia se basan en suposiciones, tasas de formación de suelo y condiciones ambientales, que no se han medido con solidez en nuestros ecosistemas y que pueden estimar valores tan aberrantes como los obtenidos con la EUPS cuando no hay un buen conocimiento de las características de cada lugar. El umbral de dos toneladas ha sido usado ampliamente sin haber sido revisado y corregido para las condiciones de nuestro país con un buen sustento de datos confiables y sólidos.

La pérdida de suelo tiene implicaciones económicas, ambientales y sociales que no se restringen al ámbito de las huertas y, por lo tanto, conciernen a diferentes actores dentro

de la sociedad. Es debido a esto que el valor de tolerancia puede cambiar dependiendo de si se trata de la perspectiva de un científico, de un productor, economista o un legislador.

Este problema es considerado sumamente complejo y debe ser abordado desde una perspectiva multidisciplinaria (Sparovek y DeMaria, 2003), considerando no solo los efectos de la erosión en las huertas, sino a nivel del paisaje y con todas sus repercusiones en el ambiente. El suelo perdido, conteniendo altas cantidades de nutrientes derivados de la fertilización, puede representar un aporte importante de nitratos y fosfatos que se acumulan en los cauces y drenan hacia los mantos acuíferos causando eutroficación y problemas de salud (González-Esquivel *et al.* en prensa; Bravo *et al.* 2009a). Eso representa un argumento adicional muy importante para reducir la pérdida de suelo al mínimo en las huertas.

En este caso el productor es quien puede tomar la decisión de disminuir la pérdida de suelo en su propiedad. Es por esto que es importante realizar estudios a escala de huerta para así comprender la perspectiva del productor sobre la erosión en su terreno y así adecuar la información generada para que ésta sea comprensible para él y para un sector más amplio de la sociedad en general (Sparovek y DeMaria, 2003). Hay que tomar en cuenta que los suelos con cultivo de aguacate en esta región presentan mayor resistencia mecánica a la penetración que los suelos con vegetación natural (bosque de pino y pino-encino), lo cual los hace más susceptibles al escurrimiento y la erosión hídrica en general (Bravo-Espinosa *et al.*, 2012). La erosión formada mediante el escurrimiento en pendientes poco pronunciadas (laminar y por surcos) suele ser menos visible que otros tipos de erosión (El-Swaify *et al.*, 1982; Sparovek y DeMaria, 2003). Esto puede ocasionar que los productores no observen la erosión directamente y por lo tanto no se percaten de la importancia de tomar medidas para disminuirla (Sparovek y DeMaria, 2003).

Como se puede observar en este trabajo, pueden existir grandes diferencias entre la erosión medida, estimada y tolerada. El valor tolerado de erosión puede cambiar dependiendo de quién lo proporcione, además de que es probable que no exista la información suficiente para establecer valores confiables. Al no ser medida directamente, la erosión también puede ser sobreestimada, sobre todo en regiones tropicales (Sparovek y DeMaria, 2003), por lo que podría ocurrir que el productor no llegue a observar lo que afirma el investigador. Es por esto que es importante realizar la medición de la erosión de forma directa en las huertas (Bravo *et al.*, 2009a).

A pesar de que por el momento no se puede afirmar que existe un problema severo de erosión en huertas maduras, es importante entender cómo funciona el sistema agroecológico para poder prevenir antes de que exista la necesidad de remediar (Vandermeer, 2011). Aun cuando los suelos de la región suelen tener más de un metro de

profundidad y que, con las tasas de erosión medidas las pérdidas podrían considerarse irrelevantes, el suelo es un recurso invaluable que debe ser conservado todo lo posible. En el futuro sería pertinente medir directamente la pérdida de suelo que ocurre en un sitio sin cobertura vegetal (árboles, hojarasca y herbáceas) para así determinar la contribución real de la copa de los árboles de aguacate y la hojarasca para el control de la erosión.

Puesto que en este caso parece ser la menor presencia de plantas gramíneas lo que tiende a disminuir la relación que éstas tienen con la erosión, no se logra determinar si existe realmente un efecto de la morfología de las herbáceas sobre la pérdida o conservación del suelo. Con esto en mente, sería relevante comparar más a fondo la relación que tienen la morfología de las hierbas gramíneas y no gramíneas con la erosión del suelo. Será también importante determinar la fracción de la región aguacatera que se encuentra cubierta por cada uno de estos tratamientos para así generar una perspectiva más general sobre el impacto que podrían tener estas prácticas de manejo sobre la erosión del suelo en esta región. Para poder estimar la pérdida de suelo mediante la EUPS en los diferentes tratamientos de manera más efectiva sería importante plantear una modificación a los valores tabulados del factor de manejo de coberturas (C) propuestos por Wischmeier y Smith (1978) de manera que se haga una correcta distinción entre la cobertura herbácea enraizada y la hojarasca en el suelo.

10. Conclusiones

La poda de los árboles tiene mayor influencia en el tipo de cobertura del suelo que el corte periódico de la hierba. Esta práctica disminuye el nivel de hojarasca y suelo desnudo mientras que facilita el aumento de la extensión de cobertura herbácea general (gramíneas y no gramíneas) y la riqueza de especies, las cuales otorgan diferentes beneficios al sistema.

El corte periódico de la hierba no produce cambios significativos en el tipo de cobertura en el suelo. Sin embargo se encontró una tendencia hacia un aumento de la riqueza de especies herbáceas en general.

El corte de la hierba (chaponeo) tampoco influyó en los niveles de erosión.

La poda de los árboles es la práctica de manejo de cobertura que tiene mayor influencia en la disminución de los niveles de erosión al incrementar la cobertura de plantas herbáceas en general.

El dosel y hojarasca probablemente ayudan a disminuir la erosión en cierto grado, sin embargo es indispensable mantener una buena cobertura herbácea, y diversificar las formas de cobertura en general, para combatir de manera efectiva la erosión causada por escorrentía.

La EUPS no fue efectiva para estimar la erosión al emplear valores tabulados del factor de cobertura vegetal (C) para condiciones similares a las que se encuentran en los sitios con y sin poda de las copas. Es necesario que la ecuación represente más efectivamente el efecto protector de la copa de los árboles y hojarasca por sí solos. Al modificar este factor (C), se obtienen valores muy cercanos a los que fueron medidos en las trampas de suelo por lo que, afinando los otros factores como las características del suelo y la erosividad de la lluvia, los valores medidos en este trabajo pueden contribuir a mejorar los parámetros de la ecuación y por ende las estimaciones de erosión.

Literatura citada

- Alcalá de Jesús M., C. A. Ortiz Solorio y M. C. G. Castorena (2001). Clasificación de los suelos de la Meseta Tarasca, Michoacán. *Terra*, 19, 227–239.
- Alcalá de Jesús M., C. Hidalgo Moreno y M. C. G. Castorena (2009). Mineralogía y retención de fosfatos en andisoles. *Terra*, 27, 275-286.
- Alexander, E. B. (1985). Rates of soil formation from bedrock or consolidated sediments. *Physical Geograpy*. 6:25-42.
- Alexander, E. B. (1988). Rates of soil formation: implications for soil-loss tolerance, *Soil Sci.*, no. 145, pp. 37-45.
- Altieri, M. A., & Nicholls, C. I. (2005). *Agroecology and the search for a truly sustainable agriculture*. Primera edición. Berkeley: University of California. 290 pp.
- Amado T. J. C. (1985). Relacoes da erosao hidrica dos solos com doses e formas de manejo do residuo da cultura da soja. Porto Alegre. Tesis de maestría en agronomía. Fac. Agronomía, Universidad Federal de Rio Grande del sur, Porto Alegre. 104 pp.
- Anderson C. R., O. L. Loucks y A. M. Swain (1968). Herbaceous response to canopy cover, light intensity, and throughfall precipitation in coiniferous forests. *Ecology*, 50(2): 255-263.

- Asociación de Productores y Empacadores Exportadores de Aguacate de México, A. C. (APEAM) (2013). Página en red: <http://www.apeamclima.org/>. Consultada en 2013.
- Astier M., Y. Merlín-Uribe, L. Villamil-Echeverri, A. Garciarreal, M. E. Gavito y O. R. Maser. (2014). Energy balance and greenhouse gas emissions in organic and conventional avocado orchards in México. *Ecological Indicators* 43: 281-287.
- Atucha A., I. A. Merwin, M. G. Brown, F. Gardiazabal, F. Mena, C. Adriazola y J. Lehmann (2012). Soil erosion, runoff and nutrient losses in an avocado (*Persea americana* Mill) hillside orchard under different groundcover management systems. *Plant Soil*. DOI 10.1007/s 111 04-012-1520-0.
- Blanco H. y R. Lal (2008). Principles of soil conservation and management. Springer. Kansas, E.U.A. 626 pp.
- Bochet E., J. Poesen y J. L. Rubio (2006). Runoff and soil loss under individual plants of a semi-arid Mediterranean shrubland: influence of plant morphology and rainfall intensity. *Earth Surface Processes and Landforms*, 31: 536-549.
- Booth D. B., S. D. Murphy y C. J. Swanton (2003). Weed ecology in natural and agricultural systems. CABI Publishing. Oxon, UK. 303 pp.
- Branson F. A. (1956). Quantitative effects of clipping treatments on five range grasses. *Journal of range Management*, 9:86-88.
- Bravo E. M., J. Ruiz Vega, V. Volke Haller (2005). Cultivo de maíz en sistemas de labranza con barreras biofísicas en andosoles de ladera. *TIERRA Latinoamericana*. 23(3): 371-380.
- Bravo E. M., J. L. Sánchez Pérez, J. A. Vidales Fernández, J. T. Sáenz Reyes, J. G. Chávez León, S. Madrigal Huendo, H. J. Muñoz Flores, L. M. Tapia Vargas, G. O. Orozco Gutiérrez, J. J. Alcántar Rocillo, I. Vidales Fernández, y E. Venegas González (2009) (a). Impactos ambientales y socioeconómicos del cambio de uso del suelo forestal a huertos de aguacate en Michoacán. INIFAP, Publicación Especial No. 2, 2009.
- Bravo E. M., M. E. C. Mendoza, L. E. O. Medina (2009) (b). Escenarios de erosión bajo diferentes manejos agrícolas en la cuenca del lago de Zirahuén, Michoacán, México. *Boletín del Instituto de Geografía*, UNAM. 68: 73-84.
- Bravo E. M. M. E. Mendoza, T. Carlón Allende, L. Medina, J. T. Sáenz Reyes y R. Páez (2012). Effects of converting forest to avocado orchard on topsoil properties in the Trans-Mexican Volcanic System, Mexico. *Land Degradation & Development*. Published online in Wiley Online Library. 16 pp.
- Cabrera, C.F.(1988). Algunos criterios para evaluar los sistemas de labranza aplicados a dos suelos de México. M.Sc. Tesis, Colegio de Postgraduados, Mexico. 140 pp.

- Centro de Investigación en Geografía Ambiental (CIGA). (2011). Evaluación del impacto ecológico del cultivo de aguacate a nivel regional y de parcela en el estado de Michoacán: Informe final etapa 1 junio 2011. CIGA. 138 pp.
- Chaplot, V., Bissonnais, Y. L. E., & Sol, S. (2000). Field measurements of interrill erosion under different slopes and plot sizes. *Earth Surface Processes and Landforms*, 25(2), 145–153.
- Chesworth, W. (2008). Encyclopedia of. (W. Chesworth, Ed.). Dordrecht, Netherlands: Springer. 902 pp.
- Chisci G. y V. Martínez (1993). Environmental impact on soil erosion under different cover and management systems. *Soil Technology*. 6: 239-249.
- Coutts M.P. (1983) Root architecture and tree stability. *Plant Soil* 71:171-88 .
- Day, P.R. (1965). Particle fractionation and particle size-analysis. In C.A. Black *et al.*, Eds. *Methods of Soil Analysis*. Agronomy No. 9, Part 1. American Society of Agronomy, Madison, WI. 545–567.
- DGG (Dirección General de Geografía) (1983). Cartas Edafológicas E 14A21 Cherán, E 14A31 Taretan, E13B29 Paracho. Escala 1:50 000 y E 133 Colima. Escala 1:250 000. México.
- Dissmeyer G. E. y G. R. Foster (1981). Estimating the cover-management factor (C) in the Universal Soil Loss Equation for forest conditions. *Journal of Soil and Water Conservation*. 36: 235-40.
- Durán Z. V. H., P. C. R. Rodríguez, M. J. R. Francia, R. B. Cárceles, R. A. Martínez y G. P. Pérez (2008). Harvest intensity of aromatic shrubs vs. soil-erosion: an equilibrium for sustainable agriculture. *Catena*, 73(1): 107-116.
- El Economista (2012). El PIB agropecuario en el 2012. Página en red: <http://eleconomista.com.mx/columnas/agro-negocios/2013/02/25/pib-agropecuario-2012>. Consultado en Julio 2014.
- El-Swaify S. A., E. W. Dangler y C. L. Armstrong (1982). Soil erosion by water in the tropics. College of Tropical Agriculture and Human Resources, University of Hawaii, E.U.A. Research Extension Series 24. 173 pp.
- Elwell, H.A. (1981). A soil loss estimation technique for southern Africa. En Morgan, R.P.C. (ed.), *Soil conservation: problems and prospects*. Wiley, Chichester: 281–92.
- Fang H., L. Sun y Z. Tang (2014). Effects of rainfall and slope on runoff, soil erosion and rill development: an experimental study using two loess soils. *Hydrological Processes*. Wiley Online Library, 10 pp.
- Figueroa, S., B., A. Amante O., H. G. Cortés T., J. Pimentel L., E. S. Osuna C., J. M. Rodríguez O., F. J. y F. Morales (1991), *Manual de predicción de pérdidas de suelo por erosión*, Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos, Colegio de Postgraduados CREZAS, San Luis Potosí, México.
- Food and Agriculture Organization of the United Nations (2001). Lecture notes on the major soils of the world. *World Soil Resource Reports* 94. ISSN 0532-0488. 14 pp.

- FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations) (1997). Manual on integrated soil management and conservation practices. FAO Land and Water Bulletin, 8. ISSN: 1024-6703. 214 pp.
- FAOSTAT (Food and Agriculture Organization of the United Nations, statistics division) (2011). Avocado Production data. Página en red: http://faostat3.fao.org/home/index.html#SEARCH_DATA. Consultada mayo 04, 2013.
- Gavito M. E., M. A. Calderón, J. Martínez, R. Ayala, E. Ramírez, T. Ortiz, Y. Merlín, M. Prado y A. L. Sandoval (2011). Evaluación del impacto ecológico del cultivo de aguacate a nivel regional y de parcela en el estado de Michoacán: validación de indicadores ambientales en los principales tipos de producción. Informe final etapa 1. CIECO, UNAM. 86 pp.
- Gavito M. E., M. A. Calderón, J. Martínez, R. Ayala, E. Ramírez, T. Ortiz, Y. Merlín, M. Prado y A. L. Sandoval (2012). Evaluación del impacto ecológico del cultivo de aguacate a nivel regional y de parcela en el estado de Michoacán: validación de indicadores ambientales en los principales tipos de producción. Informe final etapa 2. CIECO, UNAM. 85 pp.
- Gibson, J. D. (2009). Grasses and Grassland Ecology. Oxford University Press. Nueva York, E.U.A., 303 pp.
- Gillet, F., B. Murisier, A. Buttler, J. Gallandat, & J. M. Gobat (1999). Influence of tree cover on the diversity of herbaceous communities in subalpine wooded pastures. *Applied Vegetation Science*. 2: 47–54.
- Gómez Tagle, A.(1994). Tres niveles de erosión en la cuenca de Pátzcuaro, Michoacán, como base para acciones y obras de conservación. Folleto Técnico Núm. 26. SARH-INIFAP-CIRPAC. Uruapan, Mich. 28 p.
- González-Esquivel C., Astier M., Gavito M.E., del Val E., Cadena-Salgado M., Villamil-Echeverri L., Merlín-Uribe Y., Balvanera P. (2015). Ecosystem service trade-offs, perceived drivers and sustainability in contrasting agroecosystems in central Mexico. *Ecology and Society*. In Press.
- Gray DH, Sotir RB (1996). Biotechnical and soil bioengineering slope stabilization: A practical guide for erosion control. Wiley & Sons, Inc., New York
- Grossmann R. B. y C. R. Berdanier (1982). Erosion tolerance for cropland: application of the soil survey data base. En: Karl, D. M. Determinants of erosion tolerance. Madison: ASA. 113-130.
- Gysels G, J. Poesen, E. Bochet, Y. Li (2005) Impact of plant roots on the resistance of soils to erosion by water: a review. *Physical and Regional Geography* 29:189–217.
- Haynes, R. J. (1980). Influence of soil management practice on the orchard agroecosystem. *Agro-Ecosystems*, 6(3): 32.
- Hernández A.J., C. Lacasta y J. Pastor (2005). Effects of different management practices on soil conservation and soil water in a rainfed olive orchard. *Agricultural Water Management*, 77: 232-248.

- Hurni H. (1983). Soil erosion and soil formation in agricultural ecosystems Ethiopia and Northern Thailand. *Mountain Research and Development*. 3 (2): 131-142.
- Hurni H. (1985). Ecosystem approach to soil conservation. En: El-Swafy W.C (editor). Soil erosion and conservation. American society of Agronomy. Ankeny E.U.A. 759-771 pp.
- INIFAP (Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias) (2009). Impactos ambientales y socioeconómicos del cambio de uso de suelo forestal a huertos de aguacate en Michoacán. INIFAP. Uruapan, Mich, México. Publicación especial Num. 2. 87 pp.
- INIFAP (2013). Página en red: <http://clima.inifap.gob.mx/redinifap/>. Consultada en 2013.
- Kendall H. W. y D. Pimentel (1994). Constraints on the expansion of the global food supply. *Ambio* 23(3):198-205.
- Kohnke N. y A. R. Bertrand. 1959. Soil conservation. McGraw-Hill. Nueva York, E.U.A. 298 pp.
- Kroetsch, D., and C. Wang (2006). Particle size distribution. Ch. 55. in M. R. Carter and E. G. Gregorich, editors. Soil sampling and methods of analysis. Taylor & Francis / Canadian Society of Soil Science, Boca Raton, FL, USA.
- Laflen, J. J., W. J. Elliott, D. C. Flanagan, C. R. Meyer y M. A. Nearing (1997). WEPP-Predicting water erosion using a process-based model. *Journal of soil and water conservation*, 52:96-102.
- Lang R. D. Y L. A. H. McCaffrey (1984). Ground cover: its effects on soil loss from grazed runoff plots, Gunnedah. *Journal of the Soil Conservation Service NSW* 40:56-61.
- Langdale G. W., R. L. Blevis, D. L. Karlen, D. K. McCool, M. A. Nearing, E. L. Skidmore, A. W. Thomas, D. D. Tyler, y J. R. Williams (1991). Cover crop effects on soil erosion by wind and water. En Cover crops for clean water. *Soil and Water Conservation Society*. 15-40.
- Lavelle, P., & Spain, A. V. (2003). Soil ecology. Nueva York: Kluwer Academic Publishers. 654 pp.
- Maass J. M., F. García-Oliva (1990). La conservación de suelos en zonas tropicales: el caso de Mexico. *Ciencia y Desarrollo*, 15(90): 21-36.
- Meyer L. D., W. H. Wischmeier y G. R. Foster (1970). Mulch rates required for erosion control on steep slopes. Soil Science Society of America. Proc., *Madison*. 34:928-31.
- Montes León M. A., M. A. D. Cortazar y E. V. Ramos (2001). Metodología para la estimación del riesgo de erosión hídrica en cuencas hidrográficas utilizando un sig. Facultad de Ingeniería-División de Postgrado, Universidad Autónoma de Querétaro. 9 pp.

- Morgan R.P.C., H. J. Finney, H. Lavee, E. Merritt, C. A. Noble (1986). Plant cover effects on hillslope runoff and erosion: evidence from two laboratory experiments. En *Hillslope Processes*, Abraham A. D. Allen & Unwin: Londres. 77-96.
- Morgan R. P. C., K. McIntyre, A. W. Vickers, J. N. Quinton y R. J. Rickson (1997). A rainfall simulation study of soil erosion on rangeland in Swaziland. *Soil Technology* 11: 291-9.
- Morgan R. P. C., J. N. Quinton, R. E. Smith, G. Govers, J. W. A. Poesen, K. Auerswald, G. Chisci, D. Torri y M. E. Styczen (1998). The European Soil Erosion Model (EUROSEM): A dynamic approach for predicting sediment transport from fields and small catchments. *Earth Surface Processes and Landforms*, 23: 527-544.
- Morgan R. P. C. 2005. *Soil erosion & conservation*, 3era edición. Blackwell Publishing Ltd. Oxford UK. 304 pp.
- Naylor L. A., H. A. Viles y N. E. A. Carter (2002). Biogeomorphology revisited: Looking towards the future. *Geomorphology*, 47: 3-14.
- Norris E. Joanne, A. Stokes, S. Mickovski, E. Cammeraat, R. van Beek, B. Nicoll, A. Achim (2008). *Slope stability and erosion control: ecotechnological solutions*. Dordrecht, Netherlands. Springer. 287 pp
- PASOLAC (Programa para la agricultura sostenible en laderas de América central) (2005). *Manual de métodos sencillos para estimar la erosión hídrica: Basado en experiencias nacionales*. Universidad Nacional Agraria. No. 502. 61 pp.
- Pimentel D., C. Harvey, P. Resosudarmo, K. Sinclair, D. Kurz, M. McNair, S. Crist, L. Shpritz, L. Fitton, R. Saffouri, R. Blair (1995). Environmental and economic costs of soil erosion and conservation benefits. *Science*, 267: 1117-1123.
- Pimentel D. y N. Kounang (1998). Ecology and soil erosion in ecosystems. *Ecosystems*, 1(5): 416-426.
- Poesen, J. (1984). The influence of slope angle on infiltration rate and Hortonian overland flow volume. *Zeitschrift für Geomorphologie*. 49: 117-131.
- Raven H. P., Evert E. R. y Eichhorn E. S. (1999). *Biology of Plants*. 6ta edición. W. H. Freeman and Company Worth Publishers. Nueva York, E.U.A. 944 pp.
- Reubens, B., J. Poesen, F. Danjon, G. Geudens, & B. Muys (2007). The role of fine and coarse roots in shallow slope stability and soil erosion control with a focus on root system architecture: a review. *Trees*, 21(4), 385–402.
- Robichaud R. P. y R. E. Brown (2002). *Silt Fences: An economical technique for measuring hillslope soil erosion*. Rocky Mountain Research Station. United States Department of Agriculture. RMRS-GTR-94. 24 pp.
- Rogers R. D., S. A. Schumm (1991). The effect of sparse vegetative cover on erosion and sediment yield. *Journal of Hydrology*, 123: 19-24.
- Ryszkowski, L. (2002). *Landscape ecology in agroecosystems management*. (L. Ryszkowski, Ed.). Florida, E.U.A.: CRC Press. 366 pp
- Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA) y Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y

- Pecuarias (INIFAP) (2012). Impacto del cambio de uso de suelo forestal a huertos de aguacate. Centro de Investigación Regional Pacífico Centro, Campo Experimental Uruapan. Uruapan, Mich, México. Libro Técnico Num. 13. 115 pp.
- Secretaría de Economía (2012). Monografía del sector aguacate en México: situación actual y oportunidades de mercado. Página en red: http://www.economia.gob.mx/files/Monografia_Aguacate.pdf. Consultada en Julio, 2014.
 - Schultze J. H. (1952). Uber das Verhaltnis von Denudation und Bodenerosion. Die Erde. – 1952, Die Bodenerosion in Thuringen, Justus Perthes Gotha, Jena.
 - SEMARNAT (2003). Evaluación de la degradación de los suelos causada por el hombre en la República Mexicana, escala 1:250 000. Memoria Nacional 2001-2002. Colegio de Postgraduados. México.
 - Shirley H. L. (1935). Light as ecological factor and its measurement. Bot. Re. 1 (9): 497-532.
 - Singer M. J. y J. Blackard (1978). Effect of mulching on sediment in runoff from simulated rainfall. Soil Science Society of America. Proc., *Madison*. 42:481-86.
 - Soil Science Society of America. Glossary of soil science terms. Página en red: <https://www.soils.org/publications/soils-glossary/>. Consultada Mayo 2013.
 - Sparovek G. y I. C. De Maria (2003). Multiperspective analysis of erosion tolerance. *Scientia Agricola*. 60(2): 409-416.
 - Stamey Y. y R. M. Smith (1964). A conservation definition of erosion tolerance. *Soil Science*. 97: 183-186.
 - Stokes A., J. E. Norris, L. P. H. Van Beek, T. Bogaard, E. Cammeraat, S. B. Mickovski, A. Jenner, A. Di Iorio y T. Fourcaud (2008). How vegetation reinforces soil on slopes. En: *Slope Stability and Erosion Control: Ecotechnological Solutions*. 2008. Springer. Dordrecht, Holanda. 65-118 pp.
 - Styczen M. y K. Hogh-Schmidt (1988). A new description of splash erosion in relation to raindrop size and vegetation. En *Erosion Assessment and Modelling*. Morgan R. P. C. y R. J. Rickson. CEE: 147-184.
 - Sydes C. y J. P. Grime (1981). Effects of tree leaf litter on the herbaceous vegetation in deciduous woodland. *Journal of Ecology*, 69: 237-248.
 - Tiscareño López, M., A. D. Báez-González, M. V. Velázquez, K. N. Potter, J. J. Stone, M. Tapia-Vargas y R. Claverán-Alonso (1999). Agricultural research for watershed restoration in central Mexico. *Journal of Soil and Water Conservation* 54(4): 686-692.
 - Troeh F.R., J. A. Hobbs, R.L. Donahue (1999) Soil and water conservation. Prentice Hall, New Jersey.
 - Van Groenendael J. M., L. Klimes, J. Klimesova y R. J. J. Hendriks (1996). Comparative ecology of clonal plants. *Phil. Trans. R. Soc. B*. 351: 1331-1339.
 - Vandermeer H. J. (2011). The ecology of agroecosystems. Jones and Bartlett Publishers. Massachusetts, E.UA. 387 pp.
 - Villamil-Echeverri L. (2014). Incidencia del manejo agronómico convencional y orgánico sobre la biodiversidad en sistemas productivos de aguacate (*Persea*

americana Mill.) en el estado de Michoacán, México. Tesis Maestría en Ciencias. Universidad de Buenos Aires, Argentina.

- Walkley, A. y I. A. Black (1934). An examination of Degtjareff method for determining soil organic matter and a proposed modification of the chromic acid titration method. *Soil Sci.* 37:29-37.
- Weaver J. E. (1950). Effects of different intensities of grazing on depth and quantity of roots of grasses. *Journal of Range Management*, 3: 100-113.
- Wilding L.P., N. E. Smeck y G. F. Hall (editores) (1983). Pedogenesis and soil taxonomy, 1. Concepts and interactions. *Developments in Soil Science*, 11A. Elsevier Science Publishers B. V. Amsterdam, Holanda. 319 pp.
- Wischmeier W.H., y D.D. Smith (1965). Predicting rainfall erosion losses from cropland east of the Rocky Mountains. *Agriculture Handbook*. No. 282. US Department of Agriculture, Washington, DC. 47 pp.
- Wischmeier W. H. (1975). Estimating the soil loss equation's cover and management factor for undisturbed area. En *Present and prospective technology for predicting sediment yields and sources*. USDA ARS Publication ARS-S-40: 118-24.
- Wischmeier W.H., y D.D. Smith (1978). Predicting rainfall erosion losses: A guide to conservation planning, USDA-ARS *Agricultural Handbook*. No. 537. US Department of Agriculture, Washington, DC. 58 pp.
- Youlton C., P. Espejo, J. Biggs, M. Norambuena, M. Cristernas, A. Neaman y E. Salgado (2010). Quantification and control of runoff and soil erosion in avocado orchards on ridges along steep-hillslopes. *Ciencia e Investigación Agraria*. 37(3): 113-123.
- Zachar D. (1982). *Soil Erosion. Developments in soil science*. vol. 10. Elsevier. Nueva York, E.U.A. 549 pp.
- Zar J. H. (2010). *Biostatistical analysis*. 5ta edición. Prentice Hall. Inc. Nueva Jersey. E.U.A. 944 pp.
- Zentmyer A. G. (1987). Avocados around the world. *California avocado society Yearbook*, 71: 63-77.
- Zimdahl, R.L. (2004). *Weed-crop competition—A Review*, 2da ed. Blackwell Pub. Ames, IA. 220 pp.
- Zimdahl, R. L. (2007). *Fundamentals of weed science*, 3era ed. Elsevier. Oxford, UK. 666 pp.
- Zuazo D. V. H. J. R. F. Martínez, C. R. R. Plegazuelo, A. M. Raya y B. C. Rodríguez (2006). Soil-erosion and runoff prevention by plant covers in a mountainous area (se Spain): Implications for sustainable agriculture. *Environmentalist*. 26: 309-319.
- Zuazo D. V. H. y C. R. R. Plegazuelo (2008). Soil-erosion and runoff prevention by plant covers: A review. *Agronomy for Sustainable Development*, 8(1): 65-86.