

**INFORME  
FINAL  
ETAPA 1**

abril

**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**

**Morelia, Michoacán**

## **Grupo de trabajo**

Dra. Mayra Elena Gavito Pardo (Responsable del proyecto, CIEco, UNAM)

Dra. Marta Astier Calderón (Investigadora corresponsable del proyecto, CIGA, UNAM)

M.C. Juan Martínez Cruz (Especialista en Sistemática de plantas, CIEco, UNAM)

Dr. Ricardo Ayala Barajas (Especialista en Sistemática de abejas. I. Biología, UNAM)

M. C. Enrique Ramírez García (Especialista en Sistemática de moscas. I. Biología, UNAM)

M. C. Tamara Ortiz Ávila (Especialista en vinculación, CIEco, UNAM)

Personal contratado para el proyecto

M. C. Yair Merlín Uribe (Técnico coordinador de tiempo completo)

M. C. Miguel Prado López (Técnico asistente temporal de tiempo completo)

QFB. Ana Lidia Sandoval Pérez (Asistente temporal de laboratorio)

## **Estudiantes participantes**

Ecol. Laura Villamil Echeverri (becaria de maestría, proyecto de polinizadores del aguacate)

Alfredo Garciarreal Sánchez (estancia de investigación, encuestas para indicadores de agua y energía)

Juan Tenopala Carmona (servicio social, diseño de trampas de erosión y lixiviados, análisis de partículas del suelo)

Eloy Rubicel Pat López (verano de la investigación científica, variables de calidad del suelo)

Biól. Celina Lemus Herrera (Ayudante de laboratorio, análisis químicos del suelo)

Biól. Orlando Gutiérrez Morales (Ayudante de procesamiento de datos de diversidad vegetal)

## 1. Introducción

El sistema producto aguacate (*Persea americana*) es el principal cultivo de Michoacán ya que reúne a más de 20,000 productores y abarca más de 86,000 hectáreas en el Estado (COMA, 2007; Barcenas y Aguirre, 2005). La superficie dedicada a este cultivo cada año aumenta considerablemente. El grado del impacto de las huertas depende del tipo de prácticas de manejo, de la orografía, de la edad y de la posición de la huerta en la micro y macro cuenca hidrológica.

Aunque la cada vez mayor producción destinada a la exportación se encuentra bajo estrictos regímenes de regulación para la inocuidad y sanidad de la fruta que sale del país, en la huerta como en el empaque dichos mecanismos de control no incluyen la regulación de tipo ambiental además de que muchos estudios apuntan a que existen buenas y malas prácticas de manejo para la producción de este frutal. Existe una gran variedad de sistemas de manejo y prácticas, desde los más orgánicos hasta los más dependientes de agroquímicos; además, el grado del impacto del manejo depende sustancialmente de la orografía y la posición de la huerta en la micro y macro cuenca hidrológica, por lo tanto, una vez de tener los diferentes tipos de huerta caracterizados y geo-referenciados es imperante evaluar su impacto en el ambiente tanto al interior de la huerta como en los sistemas circundantes. Debido a lo anterior un grupo de productores del estado se acercaron a la UNAM, Campus Morelia, para hacer una evaluación del impacto de la producción de aguacate en el medio ambiente.

Los problemas en el medio ambiente que se suelen presentar en los sistemas agrícolas tienen que ver con la degradación de los suelos, el uso ineficiente de agua y energía y la contaminación de suelo y agua. En particular, en las huertas de frutales la degradación de los suelos. El uso ineficiente de energía y agua. La contaminación puede deberse al uso inadecuado de fertilizantes y/o plaguicidas. Las dosis excesiva de fertilizantes, además de ser costosa económicamente puede potencialmente contaminar cuerpos de agua con nutrientes en general y con fosfatos y nitratos en particular. Hay cada vez una mayor preocupación por la calidad del agua potable. En particular es preocupante la contaminación de mantos acuíferos ya que el movimiento lento del agua en los mantos hace que los contaminantes persistan periodos largo tiempo. El peligro es especialmente elevado en agricultura de riego (Weinbul et al., 1992). El fertilizante N aplicado en exceso se acumula en el suelo de sistemas de cultivos anuales y de huertos frutales y es altamente susceptible a perderse a través de mecanismos de lixiviación y desnitrificación (Broadbent, 1981; Weinbul et al., 1992).

Los agroecosistemas al ser ecosistemas intervenidos y demandantes de insumos externos, son sistemas donde el manejo que se haga de los recursos tanto como externos es fundamental para su mantenimiento y sostenibilidad. A grandes rasgos, existen dos manejos de los sistemas productivos de acuerdo al uso de insumos: la agricultura orgánica y la convencional. La agricultura orgánica se puede definir como un sistema de gestión de explotaciones agrícolas que implica la restricción de los fertilizantes y pesticidas sintéticos, donde estas prácticas han sido reemplazadas por el uso de agregados provenientes de la preparación de la materia orgánica (Baillieux y Scharpe, 1994; citado por Lampikin, et al., 1999; Pacini, et al., 2003). Por su parte, los sistemas productivos convencionales están fundamentados en el

modelo de revolución verde, el cual está basado en una alta productividad del sistema a base de la utilización de insumos artificiales como fertilizantes, plaguicidas y herbicidas sintéticos. Además se les encuentra asociado al uso de maquinaria y de monocultivo. Al parecer el impacto que las prácticas agrícolas ejercen sobre la biodiversidad depende del uso de los insumos como los pesticidas y del manejo de los componentes del ecosistema como las herbáceas, ya que a la agricultura orgánica se le encuentra más asociada con mayor biodiversidad (Gabriel y Tscharntke, 2007) y a la agricultura convencional se le atribuye pérdida de suelo, aumento de incidencia de plagas y enfermedades, alta demanda de recursos energéticos y pérdida de biodiversidad (Tilman, 1998).

Llama la atención la poca información que existe en la literatura nacional e internacional sobre los impactos en el medio ambiente de la producción del aguacate. Por lo mismo resulta muy pertinente la demanda hecha por los agricultores. Este proyecto se diseñó para diagnosticar, a nivel de parcela, el impacto ambiental que tienen los tipos más representativos de producción de aguacate de Michoacán y las fortalezas y debilidades de cada uno mediante la conjunción de tres ejercicios de diagnóstico: uno bibliográfico, uno basado en encuestas y otro basado en mediciones directas de indicadores. Se aplicaron encuestas diseñadas para capturar la información socio-ecológica más relevante mediante entrevistas a los productores que se seleccionaron. Se midieron en huertas algunos indicadores seleccionados para evaluar directamente el impacto ecológico de cada tipo de producción al nivel de parcela.

Los indicadores, variables que brindan información sobre otras variables más difíciles de medir, deben ser seleccionados y validados rigurosamente y conllevan un proceso identificación y selección para conseguir el grupo mínimo de datos que permiten evaluar el estado del sistema en evaluación casi siempre con respecto a una referencia (Janvier et al., 2007). En este proyecto se buscaron los mejores indicadores para evaluar las cinco áreas de impacto ecológico agua, biodiversidad, energía, contaminación y degradación de suelos que le fueron requeridas al proyecto.

## **2. Objetivo general:**

Generar un diagnóstico ambiental de la región a la parcela de los sistemas aguacateros en el cluster de Michoacán.

### **2.1. Objetivos particulares:**

- Evaluar el impacto ecológico de los tipos de manejo más representativos de los sistemas productivos de aguacate a través de la caracterización de huertas aguacateras,
- Seleccionar y formular los mejores indicadores de impacto ecológico, de manera participativa con productores y en huertas de Michoacán, para generar una herramienta de evaluación ambiental que permita monitorear el impacto de las huertas.

### 3. Diseño experimental y de las encuestas

En esta primera etapa se evaluaron algunos indicadores en cinco áreas de impacto ecológico solicitadas por los productores: agua, biodiversidad, energía, contaminación y degradación de suelos, en 45 huertas cooperantes.

Se decidieron, después de varias reuniones de trabajo al interior del equipo y con representantes de los productores, los criterios básicos para la selección de las huertas de aguacate a monitorear.

Se prepararon tres propuestas de zonas aptas para realizar el proyecto y con base en la ubicación de los agricultores que pudimos contactar más rápidamente se decidió centrar el trabajo en la zona Tingambato-Uruapan-Ziracuaretiro-Taretan. Gracias a la colaboración de los productores de AALPAUM, que facilitaron el contacto con las juntas locales, se identificaron las 36 huertas del diseño de base, más 9 huertas extra, con los siguientes criterios de selección (Figura 1):

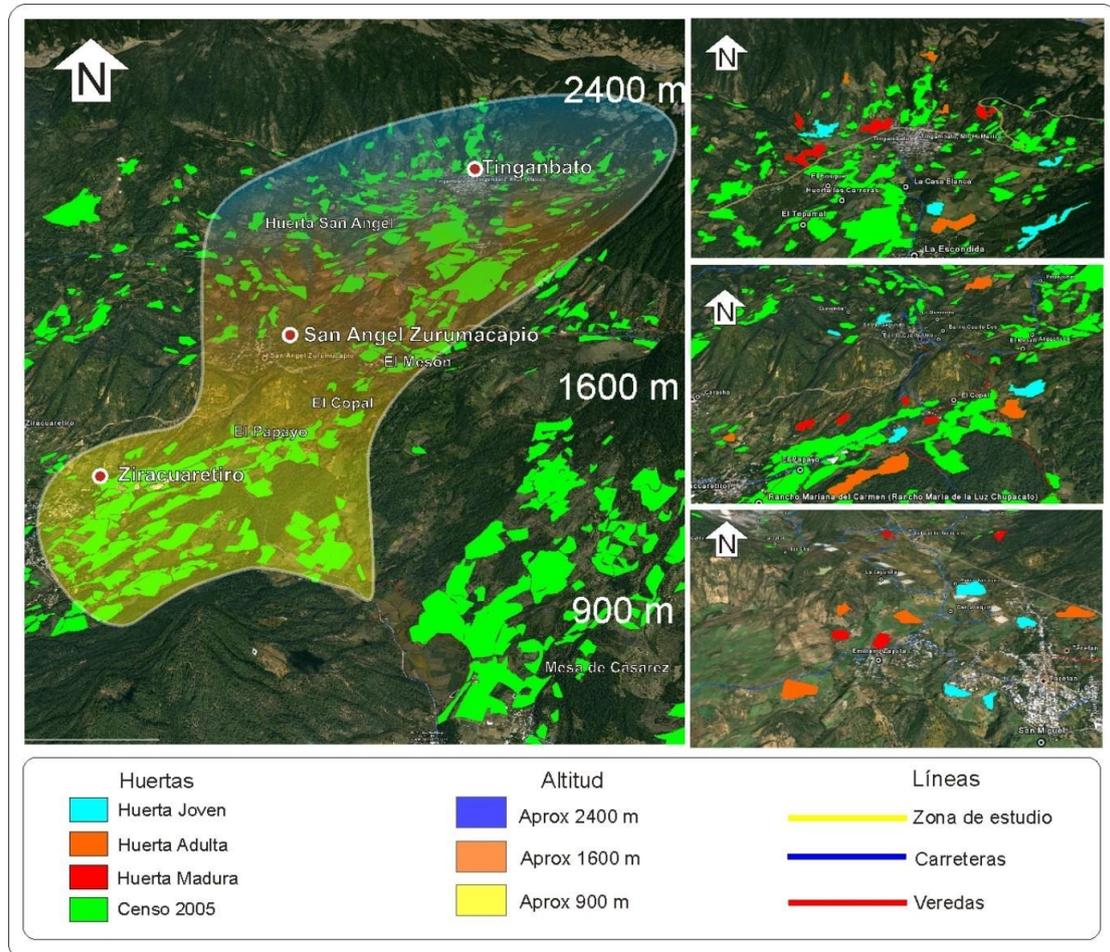
- 1) que cubrieran tres franjas altitudinales: Zona alta (altitudes mayores a los 2200 msnm), Zona media (altitudes entre los 1600 y los 2200 msnm) y Zona baja (altitudes menores a 1600 msnm)
- 2) que cubrieran tres rangos de edades de las huertas: jóvenes (0-5 años, adultas (6-10 años) y maduras (mayores de 11 años) dentro de cada franja altitudinal.

**Figura 1.** Criterios de selección de las huertas



El diseño contempló que hubiera al menos 4 repeticiones de cada tipo de huerta. La localización de las huertas se ilustra en la figura 2 y como se puede apreciar fue necesario incluir una zona pequeña adicional, dada la dificultad para ubicar huertas en la parte más baja. Se hizo también la revisión de literatura para identificar los indicadores ecológicos además de la metodología de medición de cada uno de estos indicadores seleccionados.

**Figura 2.** Representación de las huertas en zonas altitudinales



No todos los indicadores pudieron ser medidos en todas las huertas, por lo que se seleccionaron subgrupos para medir los indicadores más difíciles en tiempo o en costo solamente en algunas de ellas. En la tabla 1, se indican las huertas en las que ese trabajo ordenadas por categoría de altitud y las actividades realizadas en cada una. También se incluyen los sitios de bosque que se usaron como referencia para algunos indicadores.

**Tabla 1.** Listado de las huertas cooperantes con sus parámetros de altitud, orientación del descenso de la pendiente, edad y tipo de manejo. Se marca con palomillas el tipo de indicadores que se midió en cada huerta.

%													
Trampas Estacas													
Altura	Folio	Altitud	Orient	Pendiente	Edad	Manejo	erosión	erosión	Plantas	suelos	Poliniza	lixiviados	Encuesta
1600 - 2200	3	1526	SO	12	12	Convencional	√	√	√	√		√	√
	8	1552		12	1	Orgánica	√	√	√			√	√
	20	1469	S	7	18	Convencional	√	√	√				√
	21	1469	S	10	1	Convencional	√	√	√			√	√
	22	1450	S	8	1	Convencional	√	√	√	√	√		√
	24	1496	S	10	35	Convencional	√	√	√				√
	25	1498	S	7	3	Orgánica	√	√	√	√	√	√	√
	26	1524	S	7	0	Bosque	√	√	√	√	√	√	√
	27	1537	S	11	2	Orgánica	√	√	√				√
	30	1552	SE	12	8	Orgánica			√				
	32	1580	S	5	8	Orgánica			√	√			
	37	1505		S	9	Convencional			√				
	41	1450	NO	8	35	Convencional			√				
	50	1317	S	12	27	Convencional							
	51	1590	S	15	8	Convencional							
	53	1600	S	7	8	Orgánica							
	54	1576	S	5	25	Convencional							
	55	1576	S	10	3	Convencional							
56	1552	SE	12	1	Orgánica								
58	1521	SO	13	8	Convencional								
1600 - 2200	1	2103	S	13	0	Bosque	√	√	√	√	√	√	√
	2	2213	S	8	1	Convencional	√	√	√	√			√

	Folio	Altitud	Orient	Pendiente	Edad	Manejo	erosión	erosión	Plantas	suelos	Poliniza	lixiviados	Encuesta
	4	1998	SO	10	3	Orgánica	√	√	√		√	√	√
	5	2194	S	10	12	Orgánica	√	√	√	√	√		√
	6	2014	S	5	0	Bosque	√	√	√	√	√	√	√
	7	2006	S	8	11	Orgánica	√	√	√	√		√	
	9	1770	S	5	25	Convencional	√	√	√	√	√	√	√
	10	1927	S	8	3	Orgánica	√	√	√	√	√	√	√
	11	1908	S	11	25	Orgánica	√	√	√	√			√
	12	2397	E	9	1	Orgánica	√	√	√				
	14	2103	S	7	5	Orgánica	√	√	√				√
	23	2015	S	5	4	Orgánica	√	√	√				√
	28	1877	S	12	22	Orgánica	√	√	√	√		√	√
	31	2194	S	5	8	Orgánica			√				
	35	2057	S	8	8	Orgánica			√				
	36	2130	SO	17	8	Convencional			√				
	38	2198	S	6	7	Convencional			√				
	42	1927	SO	18	0	Bosque				√	√		
	44	1980	SO	8	13	Convencional				√	√		
	49	2000	S	8	2	Orgánica							
	52	2110	S	9	7	Orgánica							
<b>&gt; 2200</b>	13	2380	S	8	1	Convencional	√	√	√			√	√
	15	2368	S	8	5	Convencional	√	√	√	√		√	√
	16	2350	S	6	13	Convencional	√	√	√	√	√	√	√
	17	2463	S	9	15	Convencional	√	√	√	√			√
	18	2369	NO	9	15	Convencional	√	√	√	√			
	19	2228	E	8	12	Convencional	√	√	√	√	√		√
	29	2500	S	8	8	Convencional							
	33	2298	SO	4	8	Convencional			√				

	Folio	Altitud	Orient	Pendiente	Edad	Manejo	erosión	erosion	Plantas	suelos	Poliniza	lixiviados	Encuesta
	34	2415	SO	20	8	Convencional			√				
	39	2256	S	9	7	Convencional			√				
	40	2300	SO	14	3	Organica				√			
	43	2300	E	24	13	Organica				√	√		
	45	2228	E	16	0	Bosque				√	√		
	46	2400	S	7	8	Convencional							
	47	2401	S	8	13	Convencional							
	48	2298	S	6	6	Convencional							
	57	2429	S	9	1	Convencional							

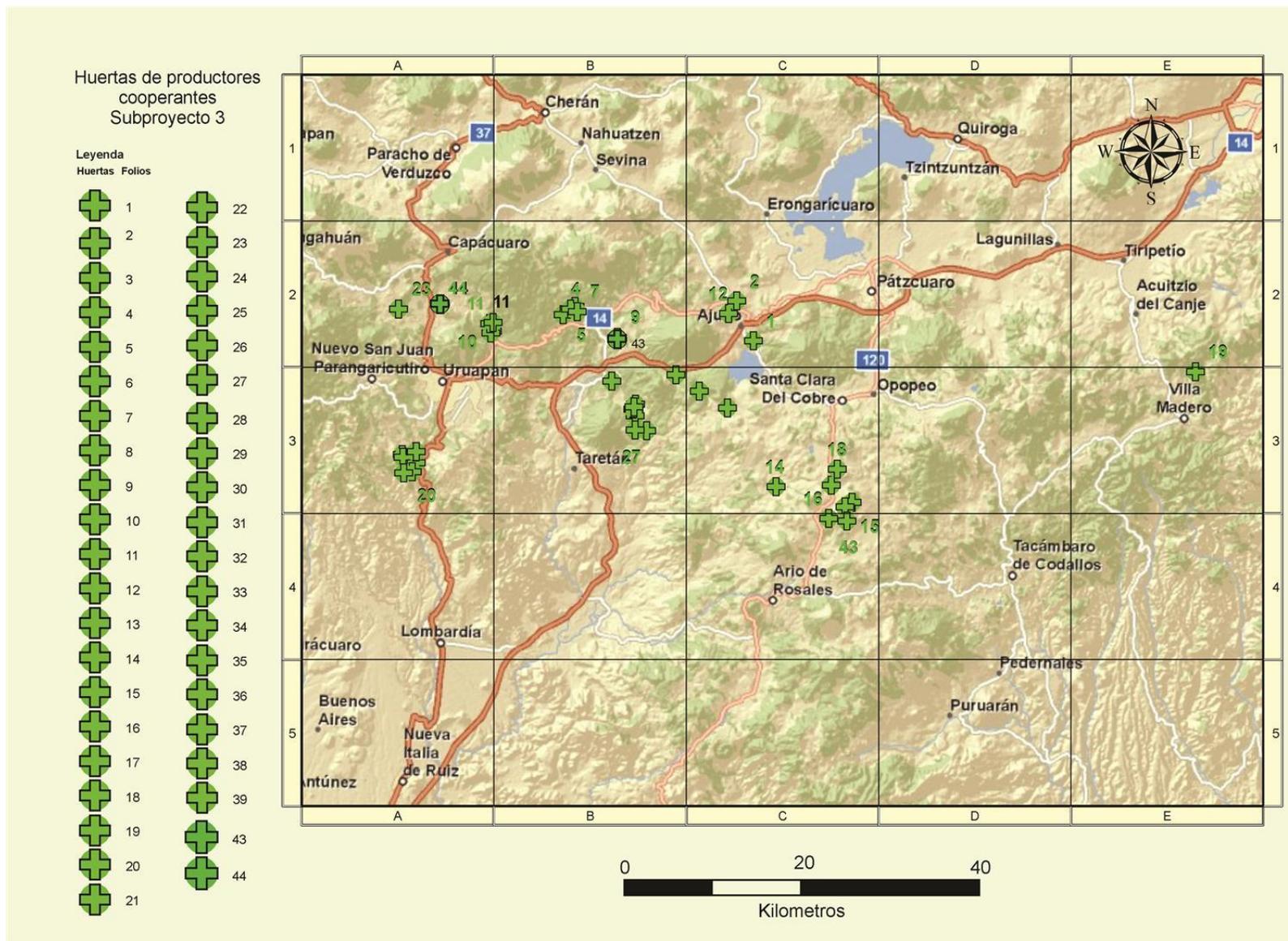
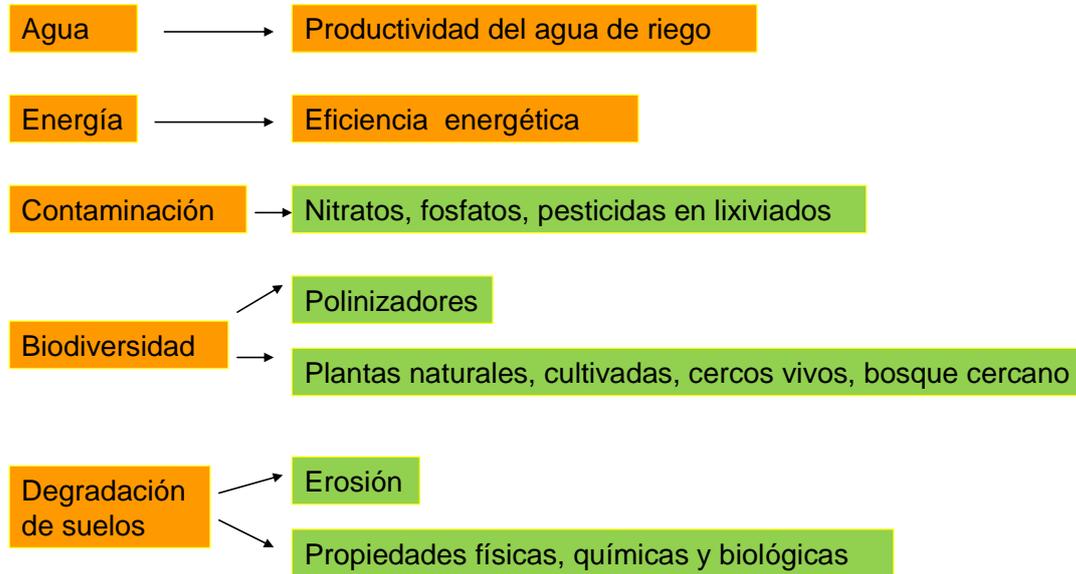


Figura 3. Mapa de localización de las huertas en el estado de Michoacán

# Indicadores de impacto ambiental

Aplicación de encuestas, estimaciones basadas en literatura especializada y **medición directa de algunos indicadores**



Los indicadores se midieron a través de una encuesta y realizando mediciones directas en el campo. Los indicadores de agua y energía marcados en naranja se midieron mediante encuestas y datos bibliográficos y los indicadores en verde, contaminación, biodiversidad y degradación de suelos se midieron directamente en las huertas cooperantes.

En el área de degradación de suelos se midió directamente la erosión, como medida de conservación física del recurso, y algunas propiedades químicas y biológicas.

En el área de biodiversidad se estudiaron los visitantes de las flores del aguacate, los acarreadores de polen de aguacate, las plantas presentes en las huertas incluyendo hierbas, arbustos y árboles presentes en los linderos, que son actores de procesos ecológicos importantes para la sostenibilidad del cultivo.

Siguiendo la metodología MESMIS (López-Ridaura et al., 2000), se realizó una entrevista semi-estructurada para poder caracterizar el sistema de manejo, los componentes del sistema y sus interacciones, las entradas y salidas en insumos y productos cosechados y el tipo de tecnología y condiciones biofísicas de la huerta (ver Anexo 5). Después de tener la información de la caracterización además de la revisión bibliográfica sistematizada, se formularon los diferentes indicadores a evaluar.

En el área de agua se calculó la eficiencia en el uso de agua calculando los metros cúbicos utilizados por kilogramo de fruta producido y se identificaron las mayores

fuentes de consumo para cada parcela. En el área de energía se hizo un cálculo del uso de energía fósil basado en el consumo e igualmente se identificaron las prácticas que más contribuyen al consumo de energía para cada huerta. Se hizo una revisión bibliográfica para tener los equivalentes energéticos de cada práctica realizada en las huertas y de cada insumo empleado.

En el área de contaminación se hicieron mediciones de nitratos, fosfatos y pesticidas en los lixiviados del suelo. Específicamente se calculó el balance de nitrógeno para determinar el potencial contaminante con este elemento que es el que se filtra más fácilmente y contamina los cuerpos de agua. Los contenidos de nitrógeno de cada insumo orgánico o sintético además del contenido en fruta se basaron en referencia bibliográficas.

Cada una de las cinco áreas de impacto ecológico investigadas se desarrollará a detalle en los siguientes capítulos.

#### 4. ÁREA 1: Degradación de suelos

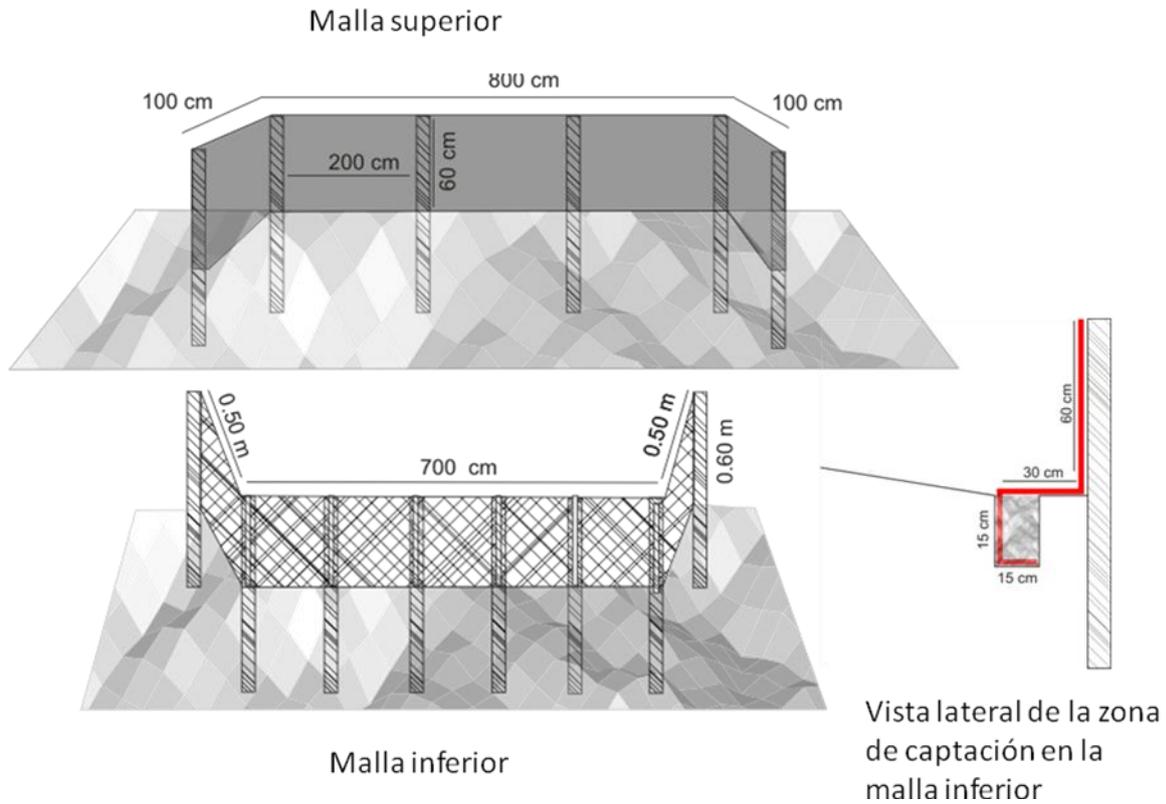
El suelo es el recurso básico para la producción en campo abierto. La pérdida de suelo depende de varios factores, entre ellos la precipitación, el tipo de suelo, el tipo de cultivo, la pendiente, las prácticas de conservación, etc. (Wischmeier y Smith, 1978). La desaparición del suelo trae como consecuencia la reducción de la capa efectiva de suelo para crecimiento vegetal, pérdida de nutrientes y materia orgánica, reducción de la velocidad de infiltración del agua y del agua disponible para las plantas (Lal, 2001). Esto sin considerar los daños *ex situ* por reducción de la calidad del agua que escurre, la deposición de sedimentos, la contaminación difusa de agroquímicos y el encostramiento (Lal, 1998).

Sin embargo, aunque el suelo no se pierda físicamente del lugar, puede perder su calidad o sus funciones por un manejo equivocado. El concepto de calidad del suelo surgió en los 1990s como la capacidad de un tipo de suelo específico para funcionar dentro de límites naturales o de manejo, para mantener la productividad animal y vegetal, mantener o mejorar la calidad del agua y del aire y mantener la vida humana (Karlen et al., 1997). Definir la calidad de suelo y sus posibles alteraciones no resulta nada trivial considerando la complejidad y la interconectividad de las funciones en el suelo, por lo que es necesario hacer una evaluación adecuada seleccionando el grupo de las variables más informativas y sólidas, las cuales seguramente dependen de cada contexto y deben ser evaluadas para cada caso (Andrews y Carroll, 2001).

##### 4.1. Erosión

La pérdida física del suelo se evaluó con dos métodos, uno que cuantifica el peso de suelo perdido de un área determinada y otro que cuantifica y muestra las zonas de donde se está perdiendo el suelo en un área vecina del mismo tamaño. Las trampas de colecta de suelo acarreado y sedimentos se colocaron en 28 huertas cubriendo las tres altitudes y huertas jóvenes y maduras (se excluyeron las intermedias adultas para reducir tiempo y costos), algunas de las cuales son convencionales y algunas son orgánicas. La trampa tenía un área de captación de  $8 \times 10 = 80 \text{ m}^2$ , con una malla limitando el borde superior y otra limitando el borde inferior en dirección de la pendiente como se muestra en la figura 4 (Robichaud y Brown 2002). Se colocó una trampa en una zona representativa de la huerta y se colectó, secó y pesó mensualmente el material retenido en la malla inferior (Figura 5).

**Figura 4.** Detalle de construcción de las trampas para recolección de suelo erosionado



**Figura 5.** Vista de las trampas de erosión montadas en campo



En un área vecina se instaló el sistema de estacas marcadas al nivel original del suelo en una parcela igual y paralela a las trampas de erosión (Vanwelleghem et al., 2010). Se colocaron las estacas en una cuadrícula de 2 x 2 m, con un total de 30 estacas en el área de 80 m<sup>2</sup> (Figura 6). Se midió el cambio de nivel con respecto a la marca original también mensualmente.

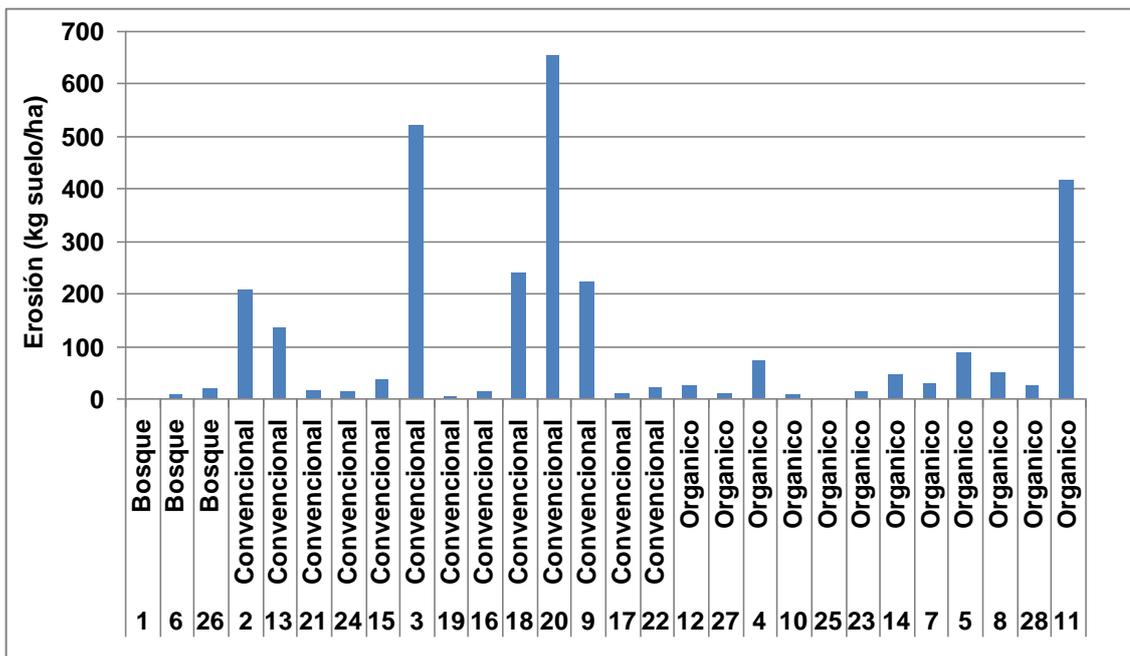
Adicionalmente se midió la precipitación de manera participativa con pluviómetros caseros que se instalaron en las huertas y que fue registrando el encargado de la huerta. También se determinó la pendiente, la textura (contenido de partículas del suelo) y se estimó la cobertura vegetal de la huerta, para usarlas como posibles variables explicativas de la erosión.

**Figura 6.** Vista de la zona con la cuadrícula de estacas en campo



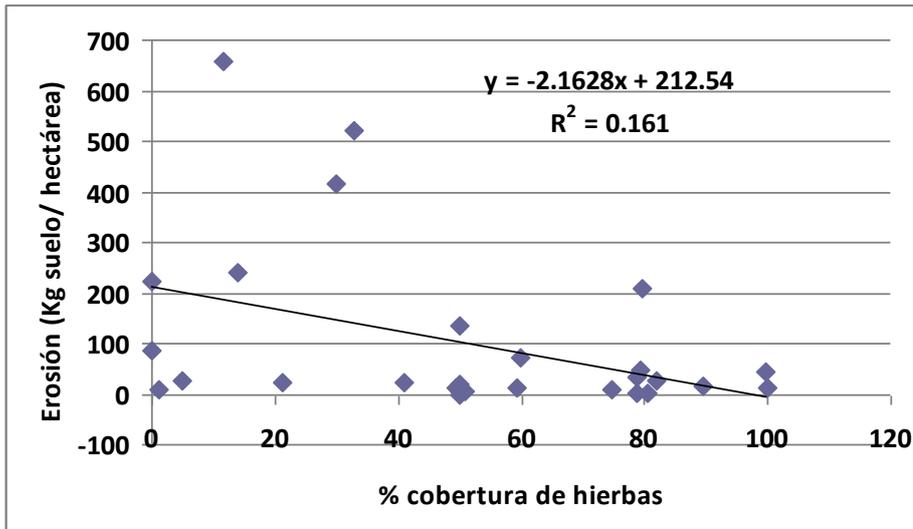
## Resultados

La pérdida de suelo en peso no tuvo relación con la zona altitudinal de las huertas, la edad de la huerta o el tipo de manejo. En la figura 6. se muestran los valores obtenidos para todas las huertas y como se puede apreciar los valores difieren mucho entre huertas, que se muestran organizadas por tipo de manejo. La comparación de valores por grupos de altitud, edad o manejo no dio ninguna diferencia significativa. Tampoco se encontró una relación de la cantidad erosionada con la pendiente del sitio o la precipitación.



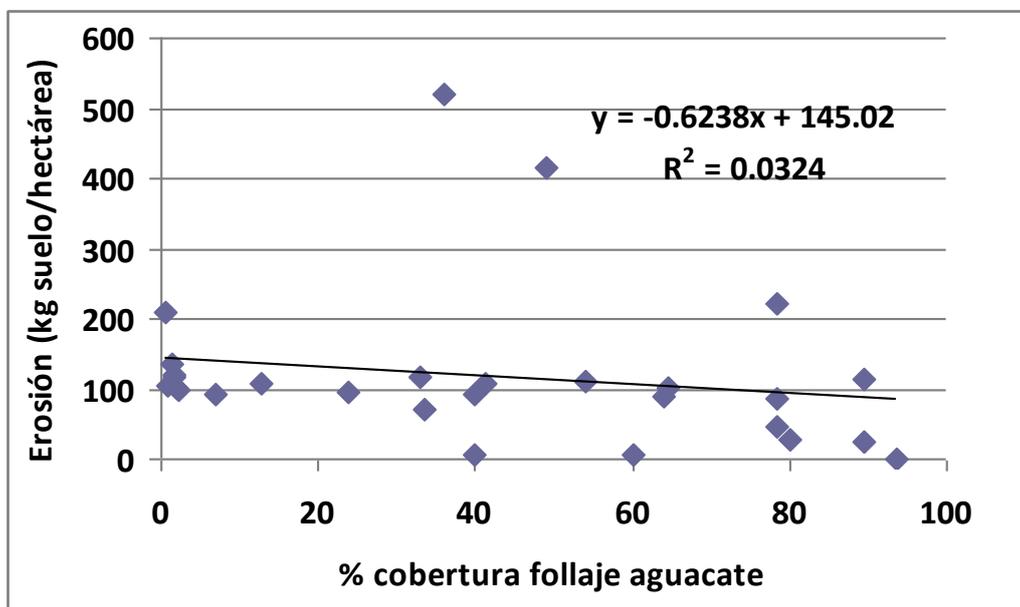
**Figura 6.** Cantidad de suelo perdida durante la temporada de lluvias en las 28 huertas con trampa de erosión.

Las variables que sí se relacionaron con la erosión fueron las variables relacionadas con la cobertura vegetal de las huertas. La relación más alta que se encontró mostró que la erosión disminuye con el porcentaje de cobertura de hierbas (Figura 7).

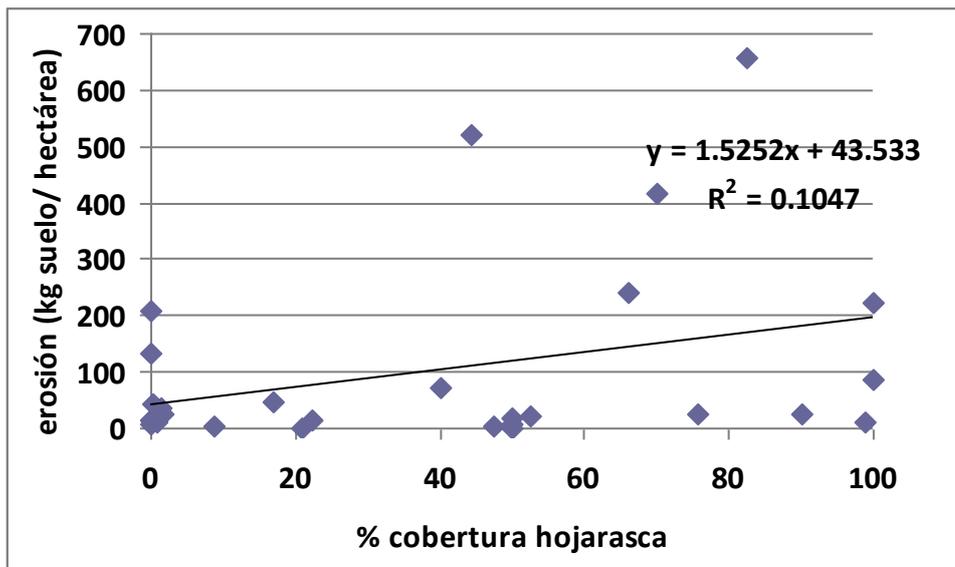


**Figura 7.** Regresión lineal del porcentaje de cobertura de hierbas y la cantidad de suelo perdida. Cada punto representa el valor de cobertura y de erosión medido en una huerta.

La cobertura de follaje, aunque también disminuye la cantidad de suelo perdida, no tuvo una relación tan fuerte con la erosión como la cobertura de hierbas (Figura 8). Por el contrario, al aumentar la cobertura de pura hojarasca también aumentó la cantidad de suelo perdida (Figura 9).

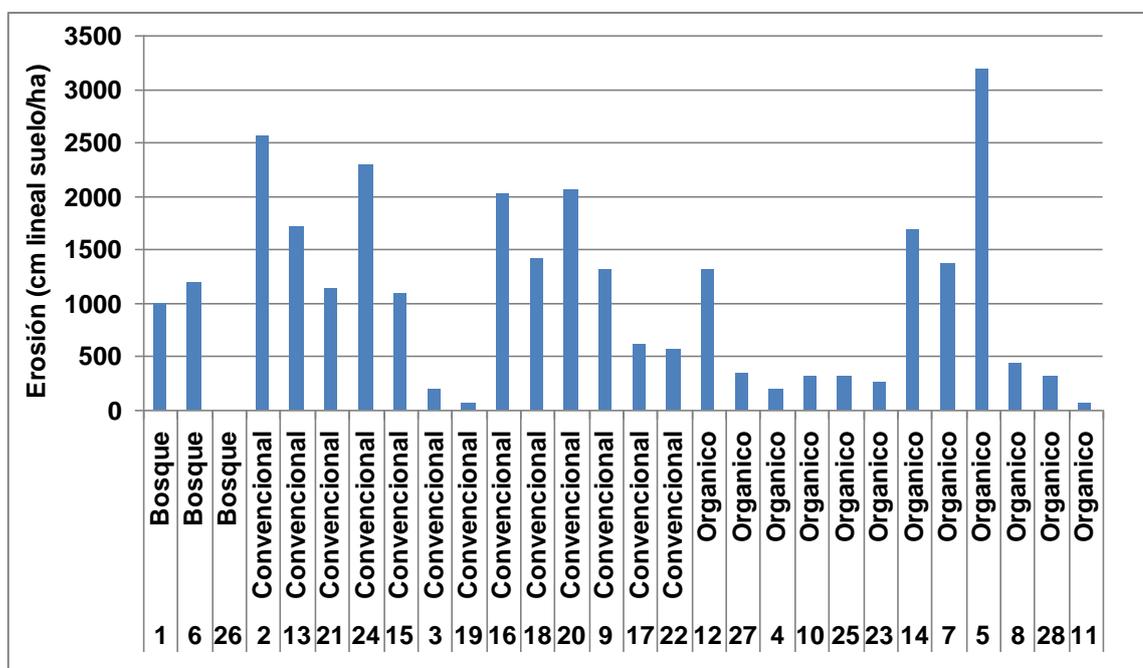


**Figura 8.** Regresión lineal del porcentaje de cobertura del follaje del aguacate y la cantidad de suelo perdida. Cada punto representa el valor de cobertura y de erosión medido en una huerta.



**Figura 9.** Regresión lineal del porcentaje de cobertura de hojarasca y la cantidad de suelo perdida. Cada punto representa el valor de cobertura y de erosión medido en una huerta.

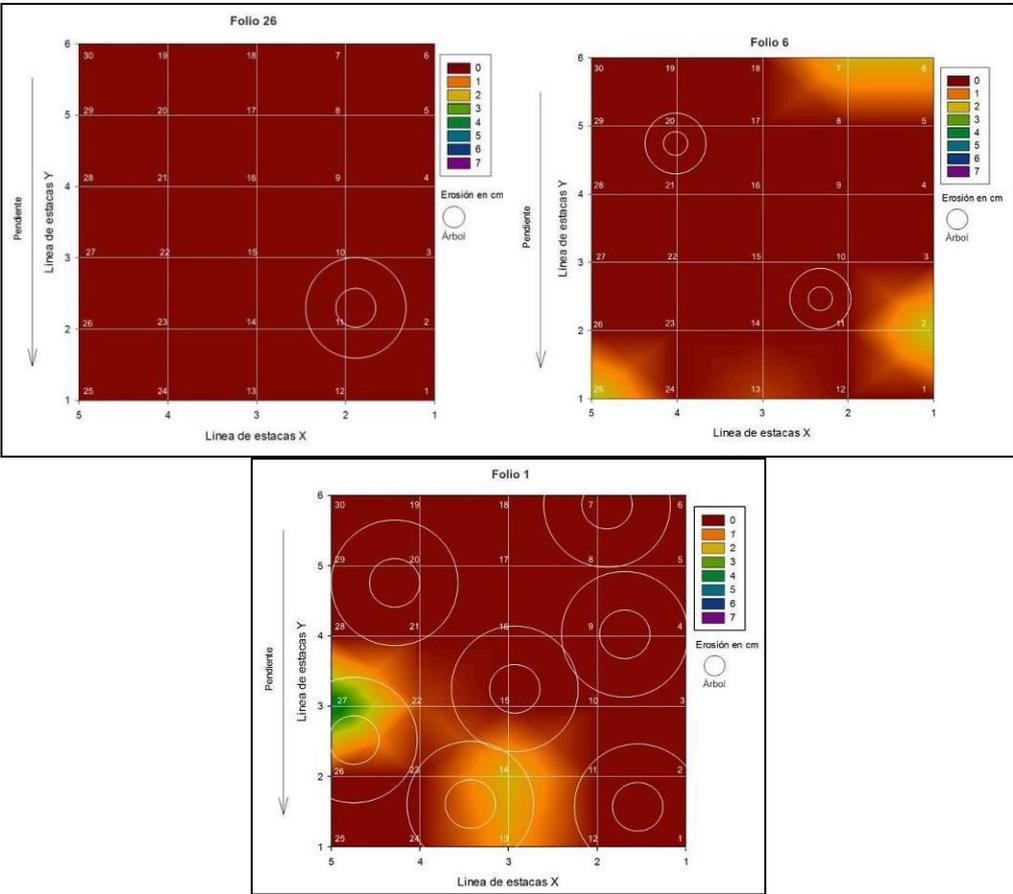
La pérdida espacial del suelo medida por los cambios de nivel en las estacas mostró igualmente que no había relación con la zona altitudinal de las huertas, la edad de la huerta o el tipo de manejo. En la figura 10 se representan los valores de erosión lineal, sumando los cambios de nivel de todas las estacas durante la temporada de lluvias. Dado que el sistema de estacas no puede cuantificar con certidumbre la cantidad de suelo perdida, sino más bien muestra de donde se está perdiendo el suelo, la figura 10 es principalmente ilustrativa de las diferencias entre huertas.



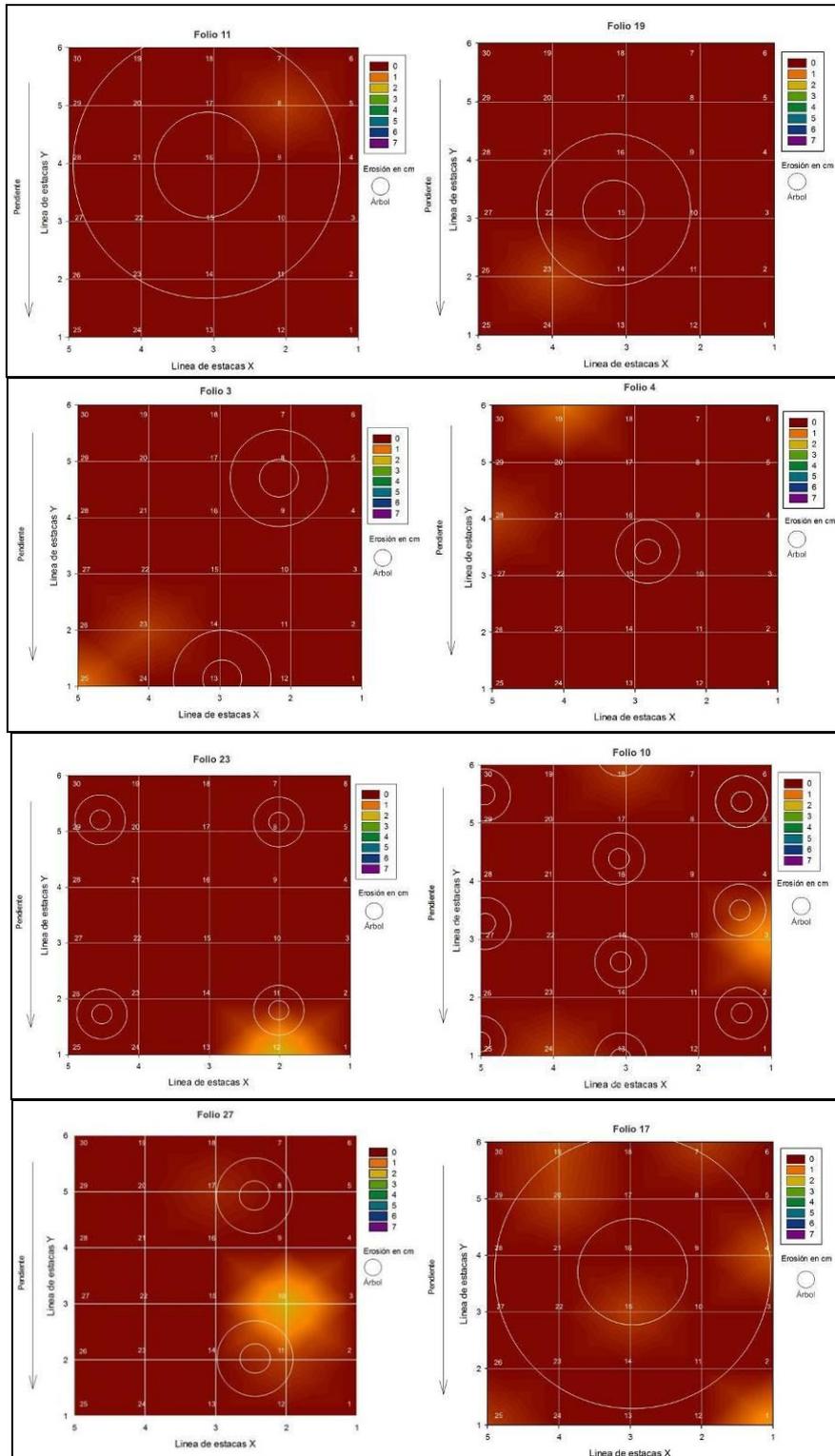
**Figura 10.** Sumatoria de la cantidad de suelo perdida durante la temporada de lluvias en las 28 huertas con cuadrícula de estacas.

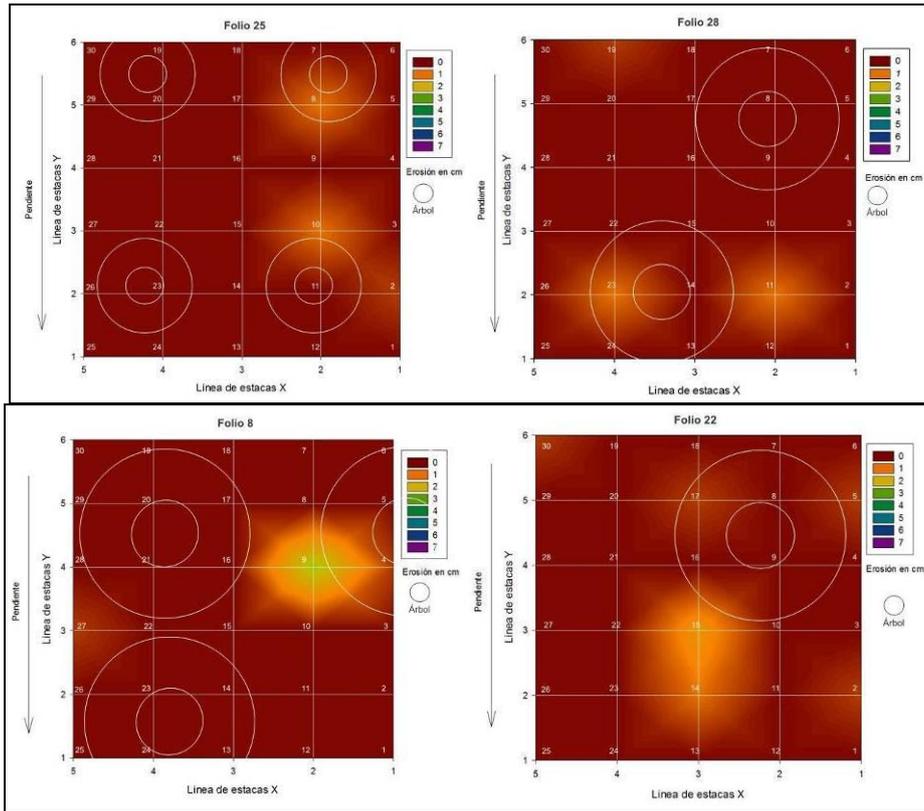
La forma en la que se perdió el suelo se representó en gráficas de contorno que muestran los patrones de pérdida de suelo en bosques de referencia, huertas con pérdidas bajas y huertas con pérdidas altas (Figura 11). La evaluación con estacas aunque es cuantitativa no tiene mucha certidumbre en cuantificación de pérdidas totales por las áreas que quedan sin estacas, pero lo más interesante de este método es que permitió observar que las zonas de pérdida más grandes son en la mayoría de los casos las orillas de las copas de los árboles. Esto indica que la forma en la que escurre el agua de los árboles desde que son pequeños genera chorros de agua con fuerza erosiva alta; además las orillas de la copa suelen ser el límite de la capa de hojarasca que cae de los árboles. Las hierbas rara vez llegan a cubrir el suelo debajo de la copa de los árboles y, como se vio en las regresiones anteriores, la cubierta de hojarasca no protege bien el suelo lo cual explica que estas sean las zonas de mayores pérdidas.

Bosques:

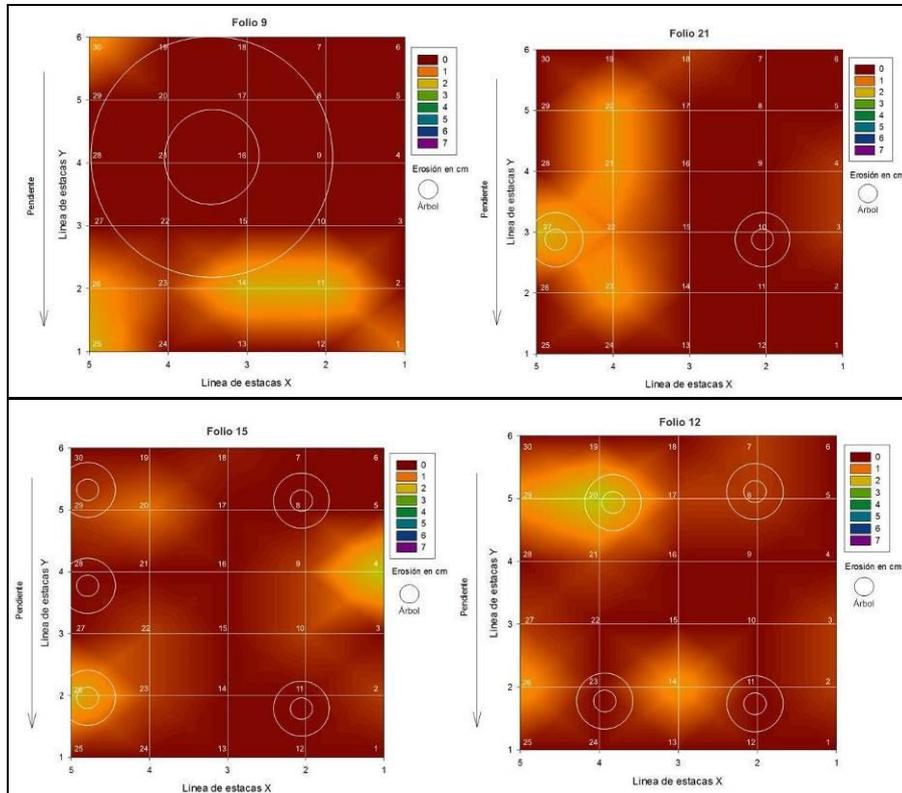


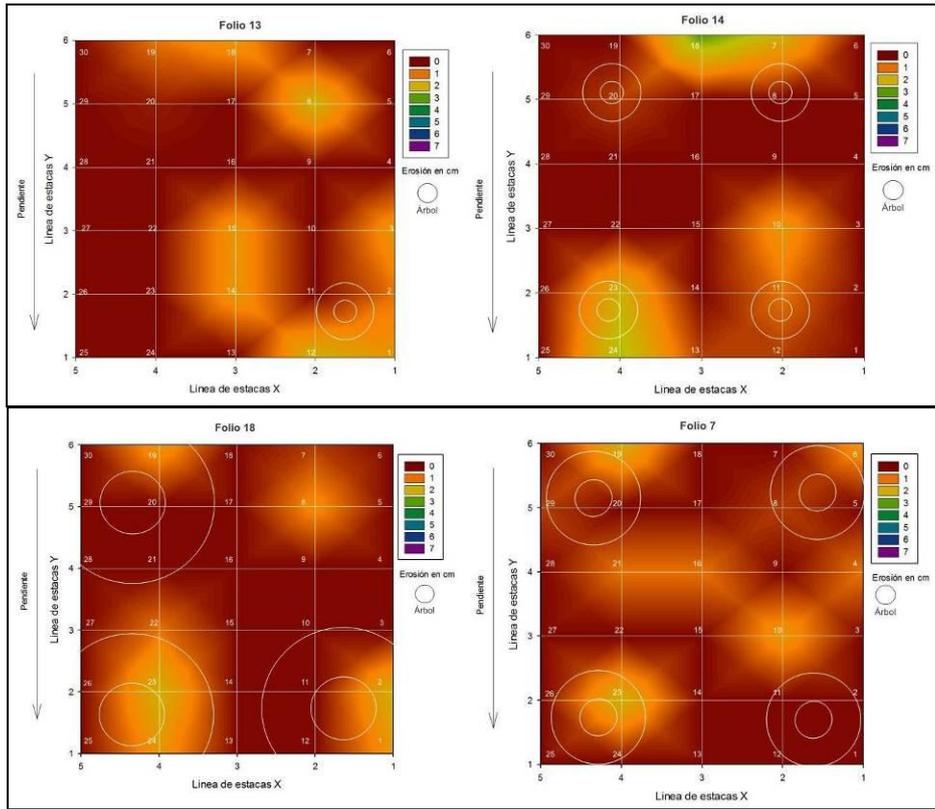
## Sitios con pérdidas bajas:



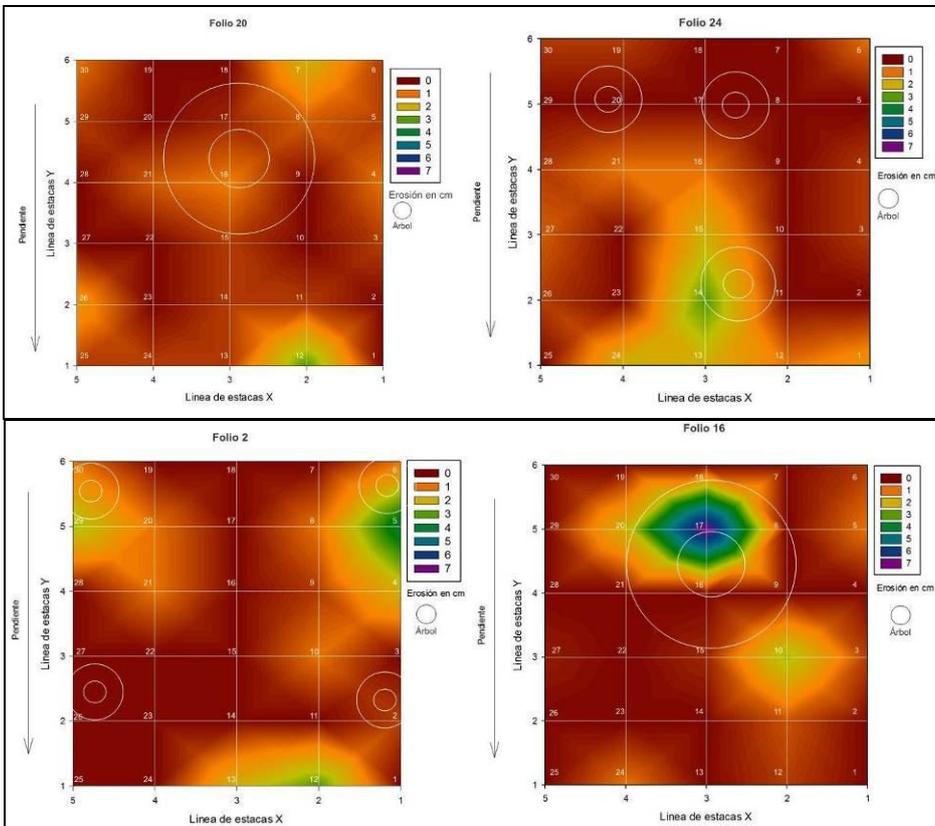


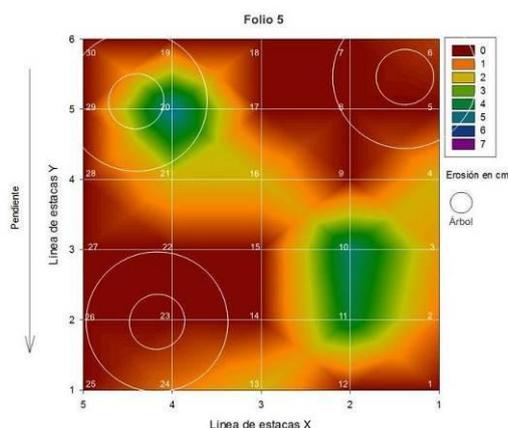
**Sitios con pérdidas medianas:**





**Sitios con pérdidas altas:**





**Figura 11.** Representación espacial de la pérdida de suelo en los sitios.

La pérdida física del suelo fue diferente entre los dos métodos utilizados porque uno evaluó la acumulación de pérdida en peso de toda la zona, pero sin saber de qué partes exactamente se perdió y el otro dibujó las áreas de pérdida pero sin poder cuantificar la pérdida total de suelo del área. Los dos métodos complementan la información pero no son comparables directamente.

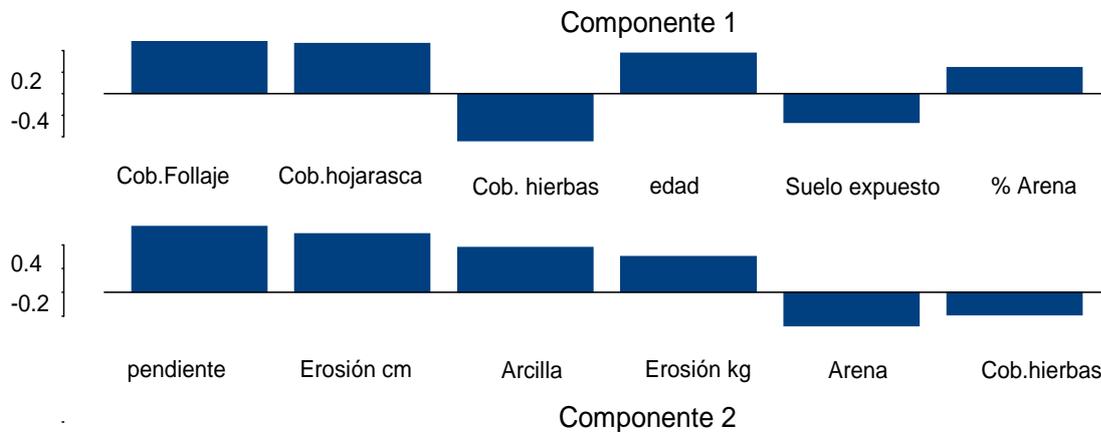
La pérdida de suelo en peso fue significativamente mayor en las huertas maduras que en las jóvenes y la zona altitudinal en la que se encuentra la huerta no tuvo efecto. La pérdida de suelo tampoco se relacionó con el tipo de manejo convencional u orgánico.

Para poder integrar la información de tantas variables relacionadas con la erosión, y ver si existen grupos de huertas parecidas dentro de las estudiadas, se hizo un análisis de componentes principales. Los resultados mostraron que, efectivamente, existen algunos grupos y que las variables que mejor explicaron las pérdidas de suelo en peso fueron las variables de cobertura vegetal. Las pérdidas en las estacas se asociaron con el aumento en la pendiente de las huertas y en el porcentaje de arcilla de los suelos (Figura 12). Sin embargo, ninguno de los coeficientes fue muy alto y la varianza explicada se repartió entre un grupo de variables.

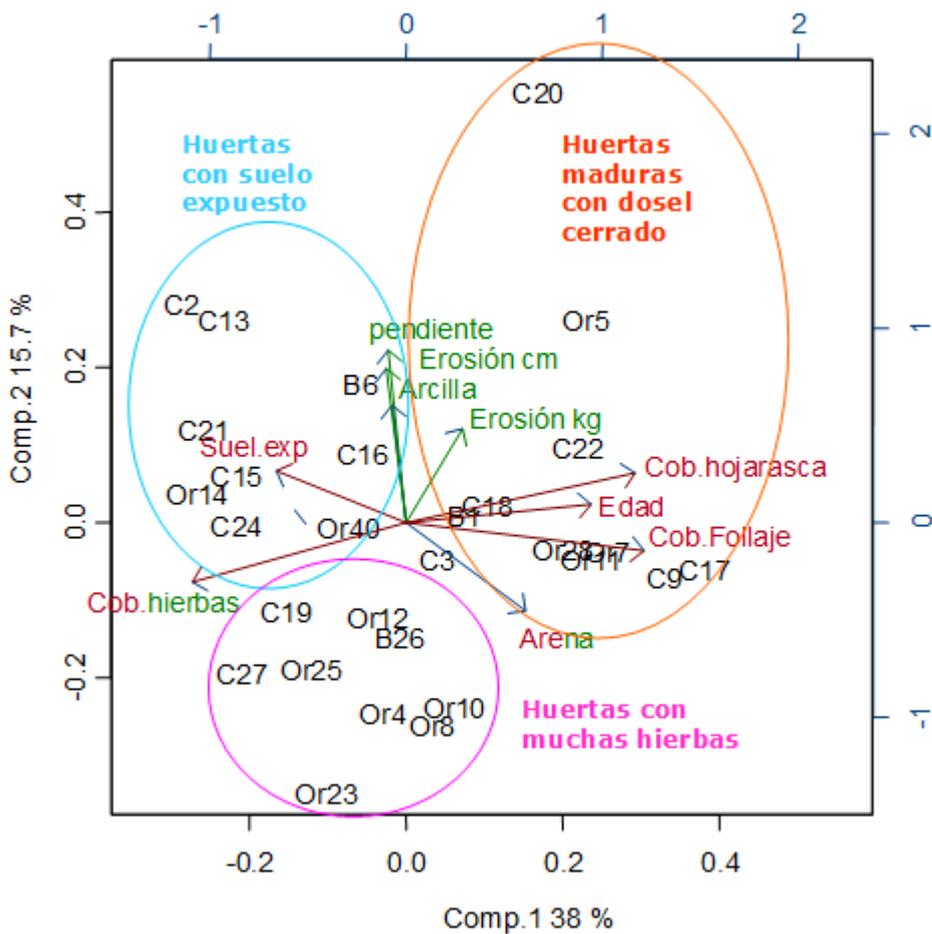
El análisis mostró que las huertas maduras con dosel cerrado fueron las que presentaron mayor erosión, asociada a alta cobertura de hojarasca y follaje, mayor edad y baja cobertura de hierbas (Figura 13, cuadrante derecho arriba). En el cuadrante izquierdo arriba se ubicaron las huertas con mayor cantidad de suelo expuesto. Las huertas con menos erosión (Figura 13, cuadrante izquierdo abajo) fueron las de mayor cobertura de hierbas, menor pendiente, menor porcentaje de arcilla y mayor porcentaje de arena en los suelos.

Cabe resaltar que en este estudio no se incorporaron otras variables que pueden afectar la erosión como la compactación del suelo o la velocidad de infiltración del agua, las cuales se ha demostrado que pueden ser importantes en algunos contextos. Youlton y Cols. (2010), por ejemplo, también encontraron alta erosión por escurrimiento superficial en huertas de aguacate maduras en Chile, lo cual se relacionó con pérdida de la capacidad de infiltración de los suelos. Sería deseable complementar las mediciones con otras variables, pero variables como la tasa de

infiltración o la escorrentía quedaron fuera del tiempo y el presupuesto de este proyecto.



**Figura 12.** Porcentaje de la varianza explicada por las variables dentro de los componentes. Se presentan las seis variables con mayor contribución.



**Figura 13.** Gráfica con los vectores y ubicación de las huertas en los componentes 1 (flechas y nombres en rojo) y 2 (flechas y nombres en verde). Los nombres en rojo y verde indican que la variable fue importante en los dos componentes. Los círculos

se dibujaron sobre la gráfica que resultó del análisis para resaltar los grupos formados a criterio de los autores, no son agrupaciones marcadas como parte o resultado del análisis.

#### 4.2. Características químicas y biológicas del suelo.

Se tomaron muestras bajo la copa y afuera de la copa, para tener representada la zona de fertilización intensa bajo los árboles y la zona exterior, de 5 árboles en cada huerta de 5 huertas maduras orgánicas, 5 maduras convencionales y tres sitios con bosque en la altitud media. Las muestras se tomaron removiendo la materia orgánica con un nucleador a 10 cm de profundidad en tres ejes a partir del tronco. Las tres muestras de la misma distancia, mitad de la copa y afuera de la copa se juntaron en una muestra compuesta de cada árbol pero las muestras compuestas de cada árbol se procesaron independientemente. Las muestras se mantuvieron en refrigeración hasta hacer las determinaciones, excepto las muestras para comunidades microbianas del suelo que se congelaron.

El pH se midió en una solución con agua en relación 10:1 agitada durante media hora. Para todas las determinaciones siguientes se molió el suelo previamente para tener una muestra representativa ya que la mayoría utilizan muy poco suelo. El contenido de materia orgánica se determinó con el método de Walkley y Black (1934). El nivel de nitratos y amonio se determinó extrayendo en KCL 2 M, filtrando y leyendo en un autoanalizador Bran-Luebbe después de desarrollar el color con ácido ascórbico (Robertson et al., 1999). El fósforo disponible se midió con la solución extractora Mehlich-3, filtrando y desarrollando el color (Murphy y Riley, 1962) para después leer en el mismo autoanalizador. La actividad enzimática fosfatasa ácida se midió con el método de Tabatabai y Bremner (1969) basado en el desarrollo de color por producción de paranitrofenol durante una hora de incubación.



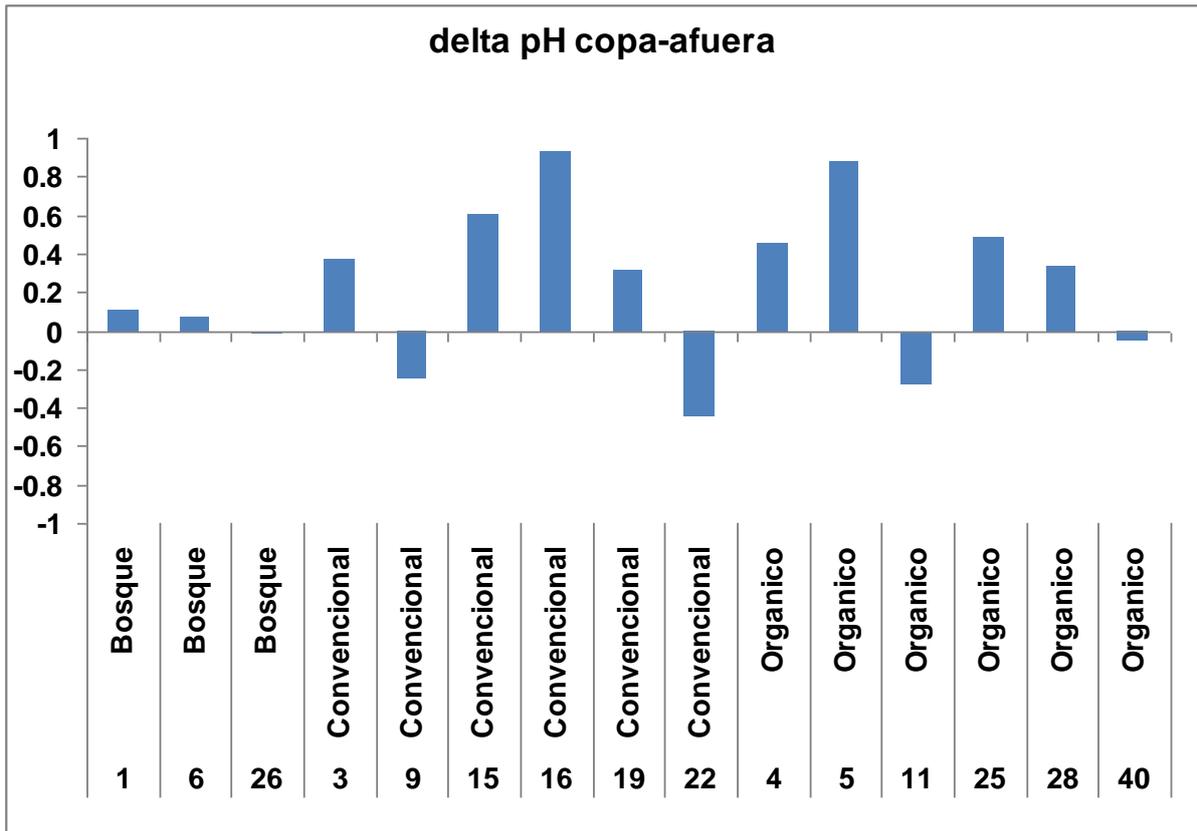
**Figura 14.** Toma de muestras bajo la copa y fuera de la copa del árbol y determinación del contenido de materia orgánica.

## **Abundancia de grupos funcionales microbianos en el suelo:**

Se usaron las mismas muestras colectadas como se explicó en la sección de calidad del suelo. Se extrajeron los ácidos grasos del suelo que se mantuvo congelado y se analizaron por cromatografía de gases (Sasser et al., 1990; Waldrop y Firestone, 2006) para cuantificar biomarcadores comunes a grupos bacterianos y fúngicos y determinar su abundancia relativa. La abundancia microbiana total y de algunos grupos funcionales (hongos simbióticos micorrízicos que ayudan a captar nutrientes y retener suelo, hongos descomponedores de la materia orgánica, bacterias que participan en reciclaje de nutrientes y actinobacterias/actinomicetos que incluyen muchos fijadores libres de nitrógeno) se estima con un biomarcador de ácidos grasos que es abundante en los lípidos de las células de los microorganismos. No se determina la riqueza de especies de microbios sino la abundancia de los grupos.

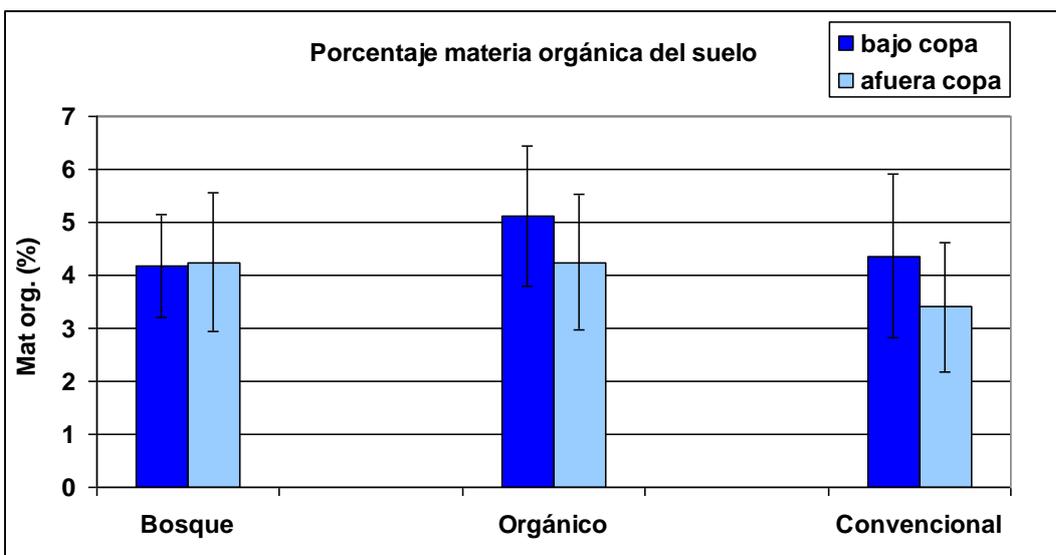
### **Resultados**

Las mediciones de pH bajo la copa y fuera de la copa de los árboles mostraron claramente las alteraciones provocadas por el manejo y la fertilización en las huertas. Considerando que el pH de los sitios varía de manera natural, se utilizó el cambio en el pH (delta) entre las muestras bajo la copa y fuera de la copa para reportar las diferencias. Los bosques mostraron un cambio mínimo entre la copa de los árboles y el suelo de afuera que refleja el efecto de las raíces y la actividad biológica promovida por el árbol. En las huertas, en cambio, exceptuando la huerta orgánica 40, todas mostraron alteración del pH ya sea hacia más acidez o hacia más alcalinidad (la mayoría) bajo la copa. En dos huertas, una orgánica y una convencional la alteración fue de casi una unidad de pH.



**Figura 15.** Cambio en el pH debajo de la copa de los árboles con respecto al de afuera de la copa en sitios de bosque y huertas convencionales y orgánicas.

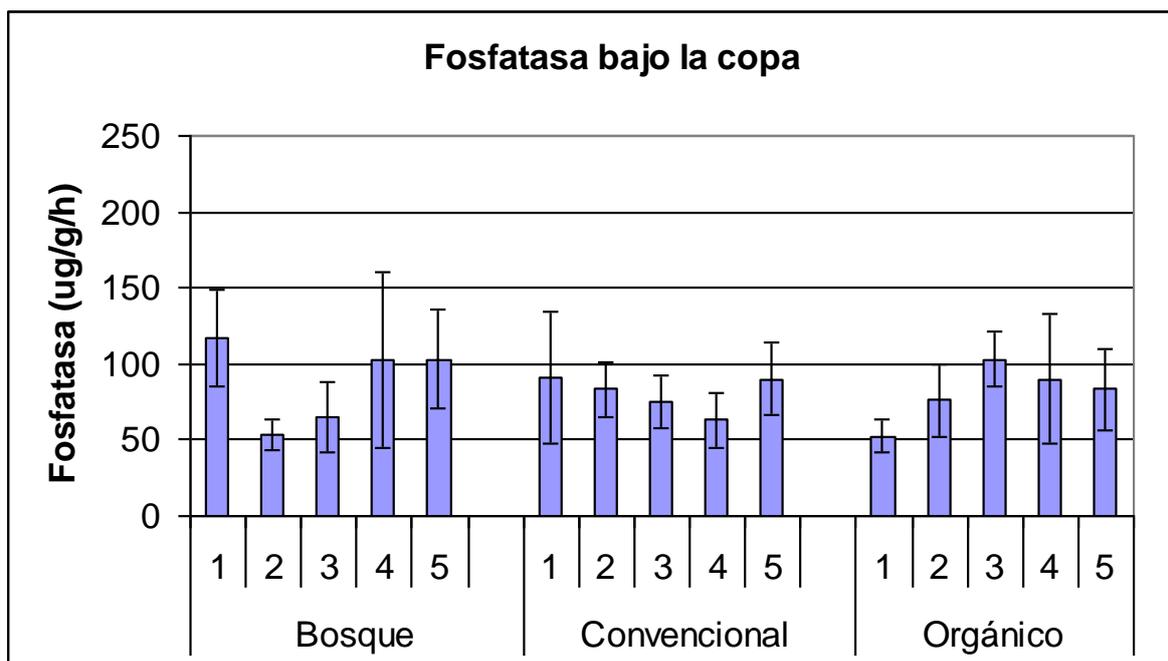
El porcentaje de materia orgánica fue bastante alto en casi todas las huertas, ligeramente más bajo fuera de la copa de los árboles (Figura 16). En los bosques los valores debajo y fuera de la copa fueron similares. La gran cantidad de hojarasca de aguacate en las huertas, que normalmente no se remueve, puede explicar la diferencia entre debajo y fuera de la copa en las huertas.



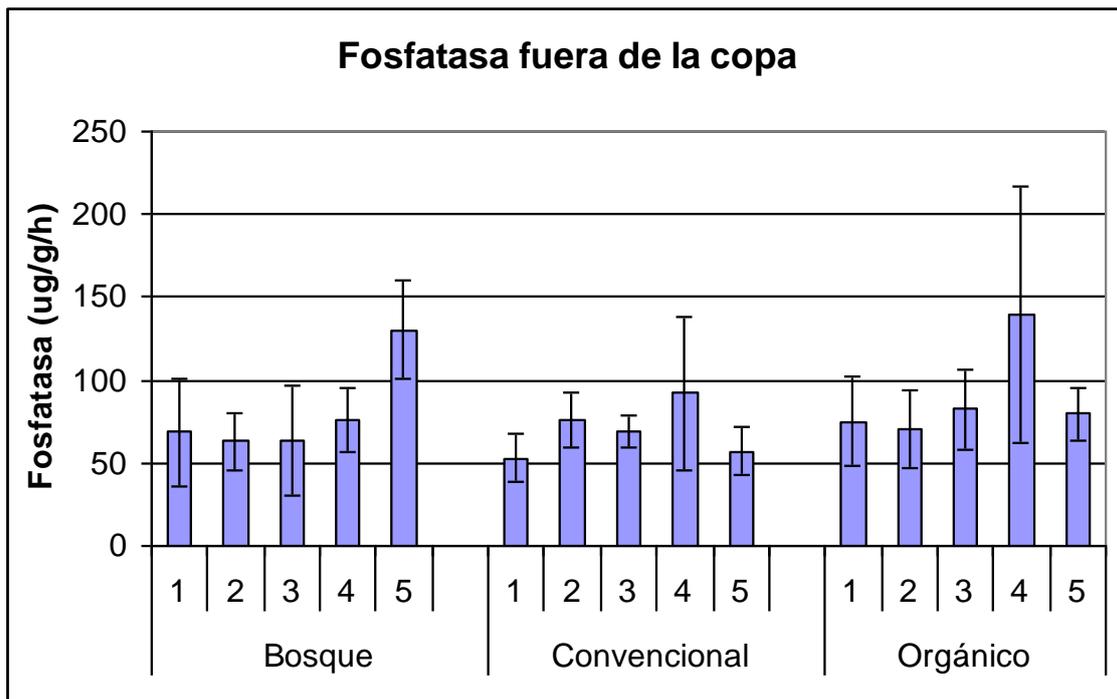
**Figura 16.** Porcentaje de materia orgánica en el suelo del área bajo la copa y fuera de la copa de los árboles en bosques y huertas con manejo convencional y orgánico.

Como una medida de la actividad biológica que contribuye a la descomposición de la materia orgánica y el reciclaje de nutrientes, se determinó la actividad de la enzima fosfatasa, la cual es una enzima producida por las raíces y algunos grupos de microbios que convierte compuestos de fósforo orgánico que no están disponibles para ser usados por las plantas en compuestos inorgánicos solubles que sí pueden ser asimilados por las plantas. Se determinó la actividad de fosfatasa ácida por los valores de pH de ligeramente ácidos a ligeramente alcalinos que predominaron en las huertas estudiadas.

Se observó que la actividad fosfatasa fue bastante similar en los bosques y en las huertas tanto convencionales como orgánicas, con valores ligeramente más altos bajo la copa de los árboles (Figuras 17 y 18). Esto refleja la gran cantidad de materia orgánica de los suelos y las buenas condiciones de fertilidad, aunque en algunas de las huertas donde se midió más fertilización en exceso, sobretodo de fósforo, se observó una reducción en la actividad de la enzima. En general, todas las huertas mostraron buena actividad de esta enzima.

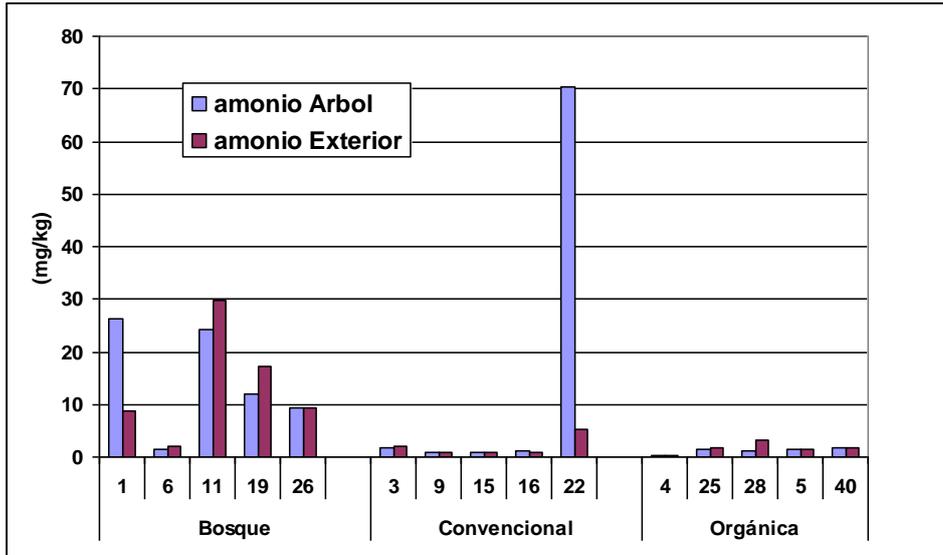


**Figura 17.** Actividad de la enzima fosfatasa en el área bajo la copa de los árboles en bosques y huertas con manejo convencional y orgánico.

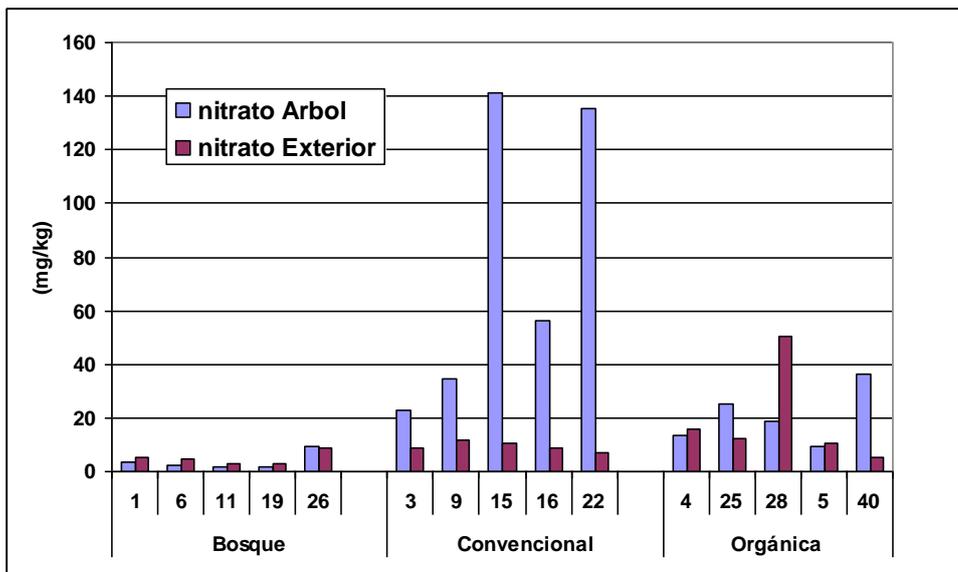


**Figura 18.** Actividad de la enzima fosfatasa en el área fuera de la copa de los árboles en bosques y huertas con manejo convencional y orgánico.

La evaluación de los nutrientes disponibles en el suelo de las huertas mostró claramente un cambio con respecto a la dinámica de fertilidad de los bosques cercanos. En los bosques la forma predominante de nitrógeno fue el amonio, que no contamina los cuerpos de agua (Figura 19) y en las huertas la forma más abundante fueron los nitratos (Figura 20), que sí pueden lixiviarse y contaminar el agua. Además, la diferencia entre los valores medidos bajo y fuera de la copa indica que esta diferencia es resultado de la fertilización, la cual se concentra en la zona bajo la copa. Este efecto fue más marcado en las huertas convencionales en las que predomina la fertilización con químicos. Al promediar estos valores se observa la alteración de las formas de nitrógeno en las huertas, con diez veces más nitrato y diez veces menos amonio en el suelo de las huertas que en los bosques.

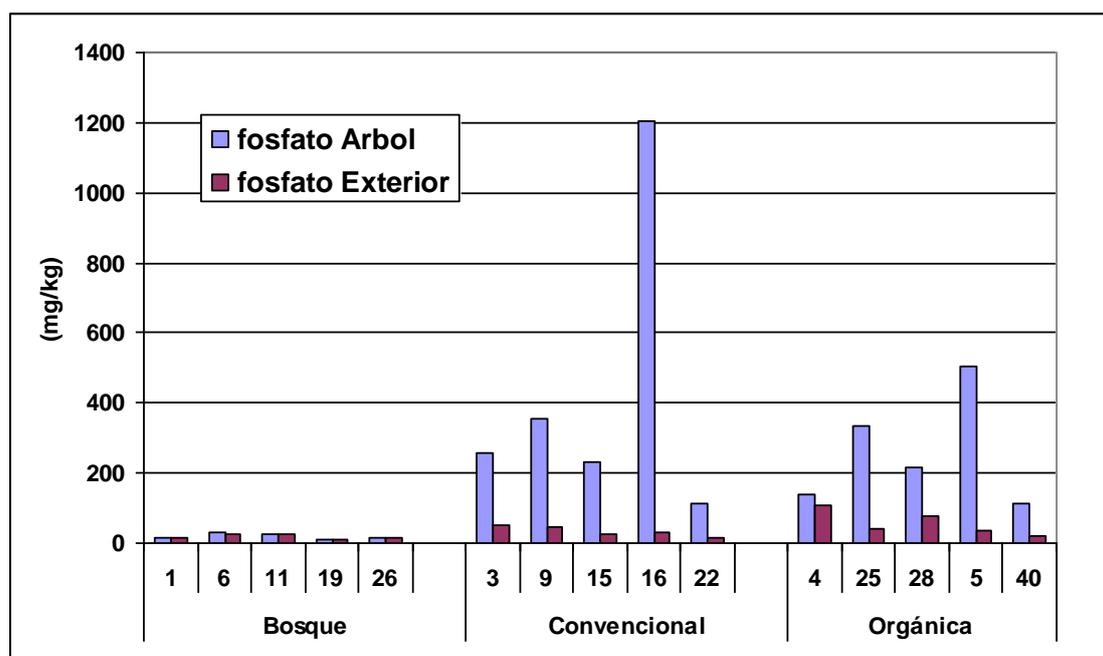


**Figura 19.** Concentración de amonio en el suelo del área bajo la copa y fuera de la copa de los árboles en bosques y huertas con manejo convencional y orgánico.



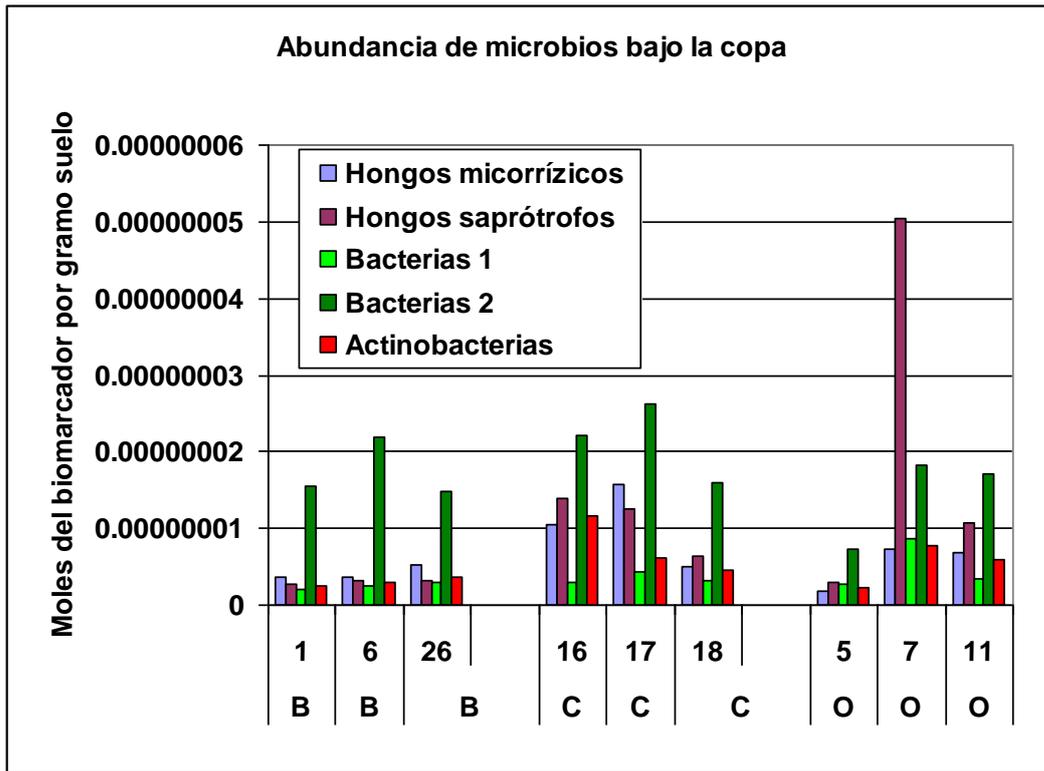
**Figura 20.** Concentración de nitratos en el suelo del área bajo la copa y fuera de la copa de los árboles en bosques y huertas con manejo convencional y orgánico.

Se observó una alteración similar en el nivel de ortofosfatos, es decir las formas de fósforo más disponibles para las plantas en el suelo, como resultado de la fertilización tanto química como orgánica. La fertilización en exceso ha provocado que en algunas huertas se mida en promedio diez veces más ortofosfatos en el suelo de las huertas que en el de los bosques (los cuales no son pobres en P disponible y tienen en promedio 20 mg de ortofosfatos por kilo de suelo). En una de las huertas convencionales se encontraron más de cincuenta veces más ortofosfatos que en los bosques.

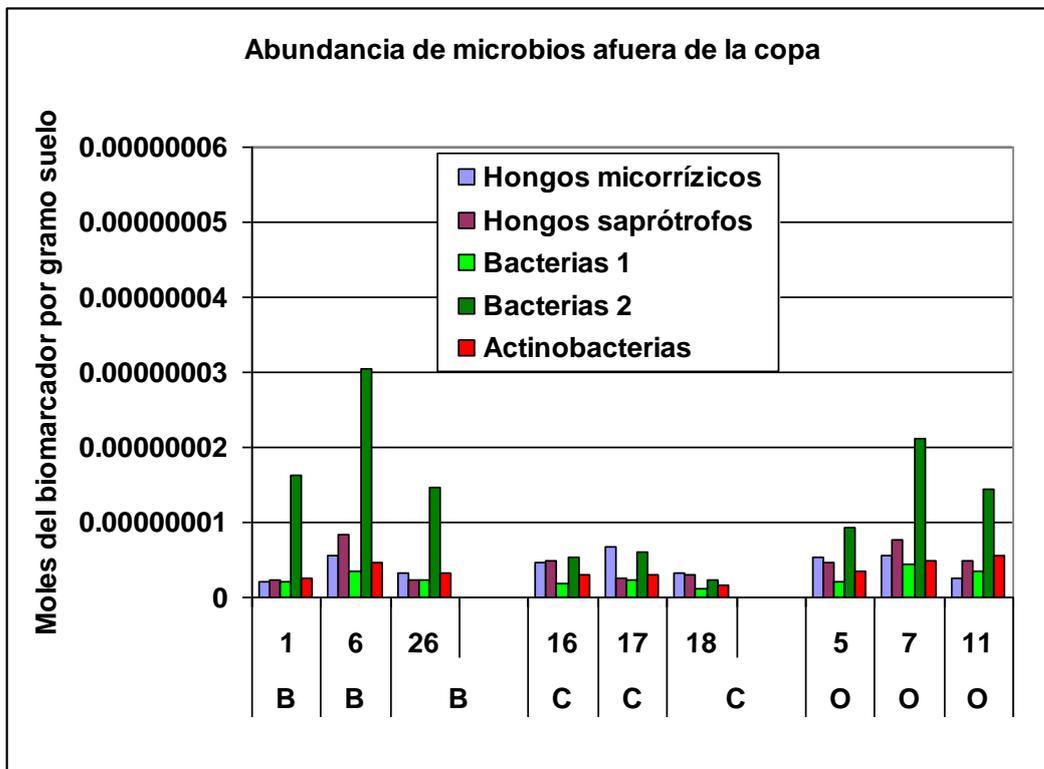


**Figura 20.** Concentración de ortofosfatos en el suelo del área bajo la copa y fuera de la copa de los árboles en bosques y huertas con manejo convencional y orgánico.

La abundancia de grupos funcionales microbianos en el suelo no fue muy diferente en los bosques y las huertas, aunque al igual que en el caso de la actividad enzimática, el exceso de fertilización con nitrógeno y fósforo en las huertas sí redujo la abundancia de algunos grupos en algunas huertas en comparación con los bosques (Figura 21). En cambio, en la zona afuera de los árboles se observó que los bosques tenían la misma abundancia que bajo la copa de los árboles mientras que en las huertas, sobretudo las convencionales, se midió menor abundancia de microbios afuera que bajo la copa de los árboles (Figura 22). También en este análisis la gran cantidad de materia orgánica y la alta disponibilidad de los macronutrientes bajo los árboles podrían ser la razón de la mayor abundancia de los microorganismos bajo los árboles en la mayoría de las huertas.



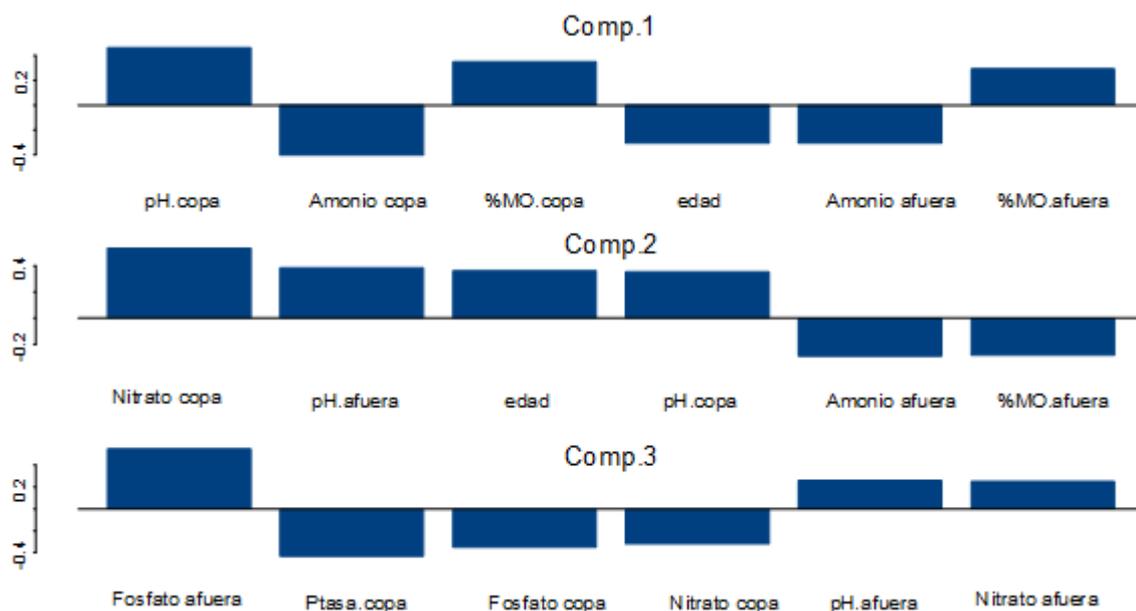
**Figura 21.** Abundancia de grupos funcionales microbianos en el suelo del área bajo la copa en bosques y huertas con manejo convencional y orgánico.



**Figura 22.** Abundancia de grupos funcionales microbianos en el suelo fuera de la copa en bosques y huertas con manejo convencional y orgánico.

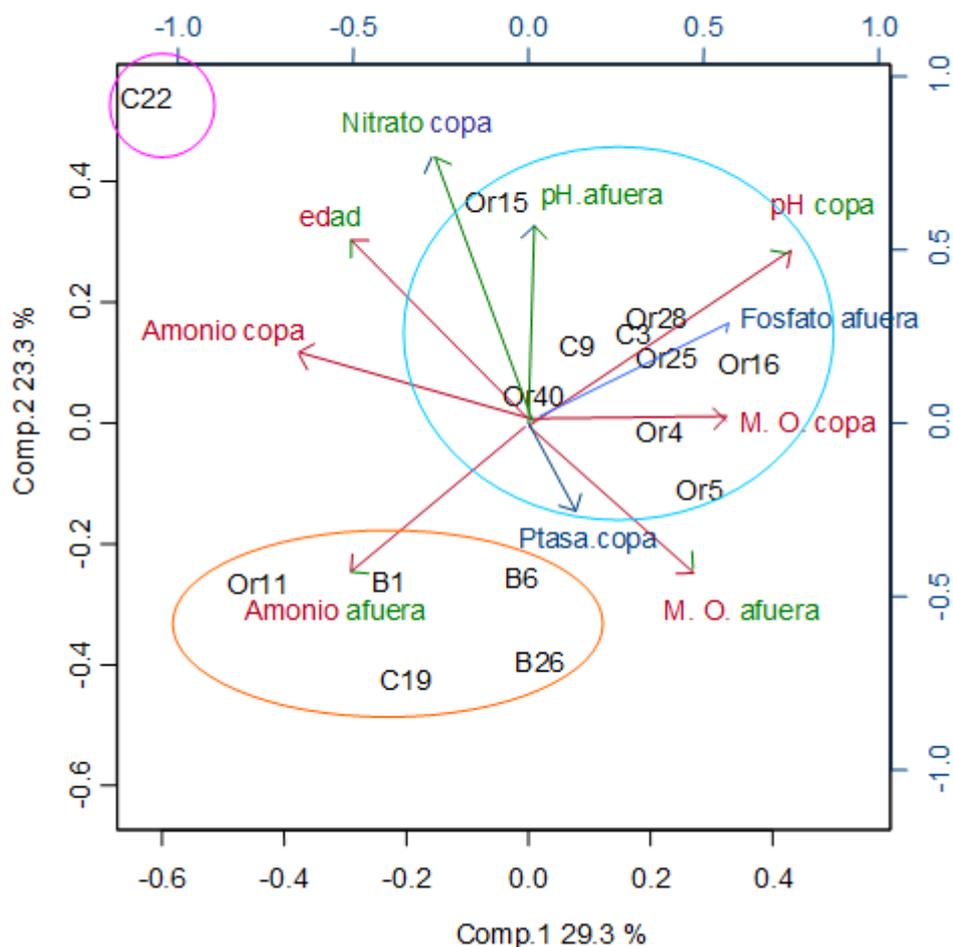
Para poder integrar la información de tantas variables relacionadas con la calidad del suelo, y ver si existen grupos de huertas parecidas dentro de las estudiadas, se hicieron primero análisis de varianza para ver si había diferencias significativas dentro de cada variable y las que mostraron mayores diferencias se incluyeron en un análisis de componentes principales.

Este análisis hecho con las variables de calidad del suelo mostró que las variables que más diferenciaron a los bosques de la mayoría de las huertas fueron el pH, el amonio, el nitrato y la materia orgánica, con más peso en los componentes 1 y 2, en el tercer componente que explicó poco de la variación fueron importantes las variables de ortofosfatos y actividad enzimática fosfatasa (Figura 23).



**Figura 23.** Porcentaje de la varianza explicada por las variables dentro de los componentes. Se presentan las seis variables con mayor contribución en cada uno.

De este grupo de variables, las de los coeficientes más altos y más fáciles, rápidas y económicas de medir se seleccionaron como las mejores indicadoras de alteración de la calidad del suelo en las huertas. Del componente 1 el pH y el amonio, del componente 2 los nitratos y del componente 3 los fosfatos.



**Figura 24.** Gráfica con los vectores y ubicación de las huertas en los componentes 1 (flechas y nombres en rojo), 2 (flechas y nombres en verde) y 3 (flechas y nombres en azul). Los nombres en dos colores indican que la variable fue importante en los dos componentes. Los círculos se dibujaron sobre la gráfica que resultó del análisis para resaltar los grupos formados a criterio de los autores, no son agrupaciones marcadas como parte o resultado del análisis.

De estos análisis se concluye que la mayoría de las huertas tiene una calidad de suelo diferente a la de los bosques, basada principalmente en pHs más altos, mayores concentraciones de nitratos y ortofosfatos y menores concentraciones de amonio y mayor cantidad de materia orgánica bajo la copa (Figura 24).

Los bosques se separaron principalmente por tener más amonio y bajas concentraciones de nitratos y ortofosfatos, menos materia orgánica y pHs más bajos. Dos huertas, una convencional y una orgánica, las dos únicas huertas en las que no se fertiliza en exceso, mostraron una calidad de suelo similar a la de los bosques. Los valores medidos de nitrógeno y fósforo en los suelos superan por mucho los niveles considerados adecuados de 15 ppm de N y 20 ppm de P para el cultivo de aguacate en andosoles arenosos (Tapia-Vargas et al., 2009).

## **5. ÁREA 2: Biodiversidad**

Las prácticas utilizadas en los sistemas productivos inciden directamente sobre la fauna y flora local (Tscharrntke y Vidal, 2005), señalando efectos positivos como negativos sobre los ecosistemas y el paisaje (Stolze, et al., 2000) que desencadenan como consecuencia cambios físicos, químicos y biológicos en los componentes bióticos y abióticos. Particularmente el uso creciente de fertilizantes minerales, pesticidas y el monocultivo que conduce a la simplificación de los paisajes, generalmente son señaladas como las causas directas de la pérdida de la biodiversidad y los servicios ecosistémicos (MEA, 2005, Kuldna, et al., 2009).

### **5.1. Biodiversidad de plantas**

Las huertas aguacateras son principalmente monocultivos pero difieren en sus prácticas de manejo, las cuales incluyen la presencia de otras especies vegetales en las huertas. Algunas se mantienen con muy baja cobertura de herbáceas y otras permiten que la mayoría de la superficie esté cubierta por herbáceas. El manejo de la cobertura arbórea y el uso de agroquímicos, insumos orgánicos y podas periódicas para el corte de la fruta pueden influir en la composición de la comunidad de herbáceas.

En este trabajo se evaluó la diversidad de las herbáceas en las 36 huertas localizadas en tres zonas altitudinales, con edades jóvenes, adultas y maduras y tipos de manejo orgánico y convencional.

Se realizó un muestreo de vegetación arvense en 5 cuadrantes de 1 m<sup>2</sup> localizados en los vértices de los ángulos en cuatro transectos en zigzag de 30 m (Flores y Álvarez-Sánchez, 2004) para obtener la lista total de especies y el número de especies por metro cuadrado. Las especies de los cercos, si estaban presentes también se identificaron. Los ejemplares se fotografiaron y se prensaron para continuar la determinación en el laboratorio. También se evaluaron 5 bosques aledaños como testigos de vegetación primaria.

Las 234 especies identificadas fueron separadas en dicotiledóneas, monocotiledóneas y fijadoras de nitrógeno. Con la lista de especies se calcularon los índices de diversidad de Shannon, Alpha y Simpson (Magurran, 1998) para explorar diferencias entre las huertas. Se calculó también el cociente del número de especies dicotiledóneas y especies monocotiledóneas para explorar cambios inducidos por el manejo en las huertas por uso de herbicidas y cortes, ya que ambos son comunes en las huertas y promueven a las especies monocotiledóneas con gran capacidad de reproducción vegetativa y rebrote en comparación con las dicotiledóneas.

Se elaboró una guía de plantas asociadas a las huertas de aguacate con fotos y nombres para entregar a los productores y que estos pudieran identificar las especies que se encontraron en sus huertas y ver las especies que son dicotiledóneas, monocotiledóneas o fijadoras de nitrógeno. Así pueden monitorear ellos mismos las especies que tienen en su huerta (Tabla 2 y Anexo 3).

**Tabla 2. Lista total de arvenses encontradas**

No.	Familia	Especies	Monocot.	Dicot.	Gimnosp.	Fija doras de 'N2.	Foto
1	Acanthaceae	<i>Dicliptera</i> sp. 1		*			
2		<i>Ruellia</i> sp. 1		*			√
3	Amaranthaceae	<i>Amaranthus</i> sp. 1		*			√
4		<i>Gomphrena</i> sp. 1		*			√
5		<i>Iresine diffusa</i>			*		√
6	Anacardiaceae	<i>Rhus virens</i>		*			√
7	Apiaceae	<i>Apium leptophyllum</i>		*			√
8		<i>Eryngium carlinae</i>		*			√
9		<i>Micropleura renifolia</i>			*		√
10	Asteraceae	<i>Ageratina</i> sp. 1		*			√
11		<i>Ageratina</i> sp. 2		*			√
12		<i>Ambrosia</i> sp. 1			*		
13		<i>Arnica</i> sp. 1			*		√
14		<i>Astranthium orthopodium</i>			*		√
15		<i>Baccharis heterophylla</i>			*		√
16		<i>Baccharis pteronioides</i>			*		
17		<i>Baccharis</i> sp. 1			*		
18		<i>Baccharis trinervis</i>			*		√
19		<i>Barkleyanthus salicifolius</i>			*		√
20		<i>Bidens aequisquama</i>			*		√
21		<i>Bidens aurea</i>			*		
22		<i>Bidens odorata</i>			*		√
23		<i>Conyza</i> sp. 1			*		√
24		<i>Conyza</i> sp. 2			*		√
25		<i>Conyza</i> sp. 3			*		√
26		<i>Eupatorium</i> sp. 1			*		√
27		<i>Eupatorium</i> sp. 2			*		√
28		<i>Eupatorium</i> sp. 3			*		√
29		<i>Galinsoga quadriradiata</i>			*		√
30		<i>Gamochaeta americana</i>			*		√
31		<i>Gnaphalium luteoalbum</i>			*		
32		<i>Gnaphalium</i> sp. 1			*		√
33		<i>Melampodium divaricatum</i>			*		√
34		<i>Melampodium perfoliatum</i>			*		√
35		<i>Melampodium</i> sp. 1			*		
36		<i>Melampodium</i> sp. 2			*		
37		<i>Montanoa</i> sp. 1			*		√
38		Morfoespecie 1			*		√
39		Morfoespecie 2			*		√
40		Morfoespecie 3			*		√
41	Morfoespecie 4			*		√	

42		Morfoespecie 5		*			√
43		Morfoespecie 6		*			√
44		Morfoespecie 7		*			√
45		Morfoespecie 8		*			√
46		Morfoespecie 9		*			√
47		Morfoespecie 10		*			√
48		Morfoespecie 11		*			√
49		Morfoespecie 12		*			√
50		Morfoespecie 13		*			√
51		Morfoespecie 14		*			√
No.	Familia	Especies	Monocot.	Dicot.	Gimnosp.	Fija doras de 'N2.	Foto
52		<i>Parthenium</i> sp. 1		*			
53		<i>Pinaropappus roseus</i>		*			√
54		<i>Piqueria trinervia</i>		*			√
55		<i>Senecio</i> sp. 1		*			
56		<i>Tagetes filifolia</i>		*			√
57		<i>Tagetes lucida</i>		*			
58		<i>Tagetes micrantha</i>		*			√
59	Begoniaceae	<i>Begonia gracilis</i>		*			√
60	Betulaceae	<i>Alnus jorullensis</i>		*			√
61	Boraginaceae	<i>Ehretia latifolia</i>		*			√
62	Brassicaceae	<i>Brassica nigra</i>		*			√
63		<i>Capsella bursa-pastoris</i>		*			√
64		<i>Cardamine hirsuta</i>		*			√
65		<i>Eruca sativa</i>		*			√
66		<i>Lepidium virginicum</i>		*			√
67		<i>Raphanus raphanistroides</i>		*			√
68	Callitrichaceae	<i>Callitriche peploides</i>		*			
69	Campanulaceae	<i>Lobelia fenestralis</i>		*			√
70		<i>Lobelia laxiflora</i>		*			√
71	Capparaceae	<i>Cleome</i> sp. 1		*			√
72	Caryophyllaceae	<i>Arenaria aff. lycopodioides</i>		*			√
73		<i>Cerastium nutans</i>		*			√
74		<i>Cerdia</i> sp. 1		*			√
75		<i>Drymaria</i> sp. 1		*			√
76	Chenopodiaceae	<i>Chenopodium ambrosioides</i>		*			√
77	Cistaceae	<i>Helianthemum glomeratum</i>		*			√
78	Commelinaceae	<i>Commelina coelestis</i>	*				√
79		<i>Commelina</i> sp. 3	*				√
80		<i>Tinantia erecta</i>	*				
81	Convolvulaceae	<i>Evolvulus prostratus</i>		*			√
82		<i>Ipomoea</i> sp. 2		*			√
83	Cucurbitaceae	<i>Cayaponia</i> sp. 1		*			√
84	Cupressaceae	<i>Cupressus</i> sp. 1			*		

85	Cyperaceae	<i>Carex</i> sp. 1	*				√
86		<i>Cyperus hermaphroditus</i>	*				√
87		<i>Cyperus odoratus</i>	*				√
88		<i>Cyperus seslerioides</i>	*				√
89		<i>Kyllinga pumila</i>	*				√
90	Dennstaedtiaceae	<i>Pteridium aquilinum</i> *					√
91	Euphorbiaceae	<i>Acalypha</i> aff. <i>adenostachya</i>		*			√
92		<i>Acalypha infesta</i>		*			√
93		<i>Euphorbia dentata</i>		*			√
94		<i>Euphorbia hirta</i>		*			√
95		<i>Euphorbia nutans</i>		*			√
96		<i>Euphorbia</i> sp. 1		*			√
97		<i>Euphorbia</i> sp. 2		*			√
98		<i>Euphorbia</i> sp. 3		*			√
99		<i>Euphorbia</i> sp. 4		*			√
100		<i>Euphorbia</i> sp. 5		*			√
101		<i>Euphorbia stictospora</i>		*			
102		<i>Phyllanthus</i> sp. 1		*			
<b>No.</b>	<b>Familia</b>	<b>Especies</b>	<b>Monocot.</b>	<b>Dicot.</b>	<b>Gimnosp.</b>	<b>Fija doras de 'N2.</b>	<b>Foto</b>
103	Fabaceae	<i>Acacia farnesiana</i>		*		F	
104		<i>Acacia pennatula</i>		*		F	
105		<i>Chamaecrista nictitans</i>		*		F	√
106		<i>Chamaecrista rotundifolia</i>		*		F	√
107		<i>Chamaecrista</i> sp. 1		*		F	√
108		<i>Cologania</i> sp. 1		*		F	√
109		<i>Cologania</i> sp. 2		*		F	√
110		<i>Cologania</i> sp. 3		*		F	√
111		<i>Cologania</i> sp. 4		*		F	√
112		<i>Crotalaria</i> aff. <i>polyphylla</i>		*		F	√
113		<i>Crotalaria pumila</i>		*		F	√
114		<i>Crotalaria rotundifolia</i>		*		F	
115		<i>Crotalaria sagittalis</i>		*		F	√
116		<i>Crotalaria</i> sp. 1		*		F	
117		<i>Dalea foliolosa</i>		*		F	√
118		<i>Desmodium cordistipulum</i>		*		F	
119		<i>Desmodium</i> sp. 1		*		F	√
120		<i>Desmodium</i> sp. 2		*		F	√
121		<i>Desmodium</i> sp. 3		*		F	√
122		<i>Leguminosae</i> sp. 1		*			√
123	<i>Lupinus</i> sp. 1		*		F	√	
124	<i>Mellilotus</i> sp. 1		*		F	√	
125	<i>Mimosa albida</i>		*		F	√	
126	<i>Mimosa</i> sp. 1		*		F	√	
127	<i>Phaseolus micranthus</i>		*		F	√	

128		<i>Phaseolus pauciflorus</i>		*		F	√
129		<i>Phaseolus</i> sp. 1		*		F	
130		<i>Teramnus uncinatus</i>		*			√
131		<i>Trifolium repens</i>		*		F	√
132		<i>Vigna</i> sp. 1		*		F	√
133	Fagaceae	<i>Quercus castanea</i>		*			√
134		<i>Quercus</i> sp. 1		*			
135		<i>Quercus tuberculata</i>		*			√
136	Familia 1	Genero 1					
137	Geraniaceae	<i>Erodium moschatum</i>		*			√
138		<i>Erodium</i> sp. 1		*			√
139		<i>Geranium</i> sp. 1		*			√
140	Hypericaceae	<i>Hypericum</i> sp. 1		*			√
141	Iridaceae	<i>Sisyrinchium convolutum</i>	*				√
142	Labiatae	<i>Salvia mexicana</i>		*			√
143		<i>Salvia</i> sp. 1		*			√
144	Lamiaceae	<i>Lepechinia caulescens</i>		*			√
145		<i>Prunella vulgaris</i>		*			
146		<i>Vitex</i> sp. 1		*			
147	Lauraceae	<i>Persea americana</i>		*			
148	Liliaceae	<i>Allium</i> sp. 1	*				
149		<i>Echeandia flavescens</i>	*				√
150		Morfoespecie 1	*				√
151	Lythraceae	<i>Cuphea aequipetala</i>		*			√
152		<i>Cuphea jorullensis</i>		*			√
153		<i>Cuphea wrightii</i>		*			√
<b>No.</b>	<b>Familia</b>	<b>Especies</b>	<b>Monocot.</b>	<b>Dicot.</b>	<b>Gimnosp.</b>	<b>Fija doras de IN2.</b>	<b>Foto</b>
154	Malvaceae	<i>Anoda crenatiflora</i>		*			√
155		<i>Anoda pubescens</i>		*			√
156		<i>Anoda</i> sp. 1		*			√
157		<i>Malva parviflora</i>		*			
158		<i>Sida rhombifolia</i>		*			√
159	Myrtaceae	<i>Psidium guajava</i>		*			
160	Onagraceae	<i>Gaura coccinea</i>		*			√
161		<i>Gaura hexandra</i>		*			√
162		<i>Lopezia racemosa</i>		*			
163		<i>Lopezia</i> sp. 1		*			√
164		<i>Oenothera pubescens</i>		*			√
165		<i>Oenothera rosea</i>		*			√
166	Oxalidaceae	<i>Oxalis aff. hernandezii</i>		*			√
167		<i>Oxalis aff. latifolia</i>		*			√
168		<i>Oxalis corniculata</i>		*			√
169	Phytolaccaceae	<i>Phytolacca icosandra</i>		*			√
170	Pinaceae	<i>Pinus patula</i>			*		

171		<i>Pinus</i> sp. 1			*		
172	Piperaceae	<i>Peperomia galioides</i>		*			√
173	Plantaginaceae	<i>Plantago australis</i>		*			√
174		<i>Plantago lanceolata</i>		*			√
175	Poaceae	<i>Aegopogon cenchroides</i>	*				√
176		<i>Agrostis hyemalis</i>	*				√
177		<i>Avena sativa</i>	*				
178		<i>Brachiaria plantaginea</i>	*				√
179		<i>Bromus anomalus</i>	*				√
180		<i>Cenchrus echinatus</i>	*				√
181		<i>Cynodon</i> sp. 1	*				√
182		<i>Eleusine indica</i>	*				√
183		<i>Eragrostis aff. mexicana</i>	*				√
184		Morfoespecie 1	*				√
185		Morfoespecie 2	*				√
186		Morfoespecie 3	*				√
187		Morfoespecie 4	*				√
188		Morfoespecie 5	*				√
189		Morfoespecie 6	*				√
190		<i>Muhlenbergia macroura</i>	*				√
191		<i>Oplismenus aff. burmannii</i>	*				√
192		<i>Panicum commutatum</i>	*				√
193		<i>Paspalum squamulatum</i>	*				√
194		<i>Pennisetum</i> sp. 1	*				√
195	<i>Poa annua</i>	*					
196	<i>Rhynchelytrum repens</i>	*				√	
197	<i>Setaria geniculata</i>	*				√	
198	<i>Sorghum halepense</i>	*					
199	<i>Trisetum deyeuxioides</i>	*				√	
200	<i>Zea mays</i>	*					
201	Polygalaceae	<i>Monnina ciliolata</i>		*			√
202	Polygonaceae	<i>Rumex obtusifolius</i>		*			√
203	Portulacaceae	<i>Portulaca oleracea</i>		*			
204	Primulaceae	<i>Anagallis arvensis</i>		*			√
<b>No.</b>	<b>Familia</b>	<b>Especies</b>	<b>Monocot.</b>	<b>Dicot.</b>	<b>Gimnosp.</b>	<b>Fija doras de 'N2.</b>	<b>Foto</b>
205	Ranunculaceae	<i>Ranunculus</i> sp. 1		*			√
206	Resedaceae	<i>Reseda luteola</i>		*			√
207	Rhamnaceae	<i>Ceanothus</i> sp. 1		*			√
208	Rosaceae	<i>Alchemilla aphanoides</i>		*			√
209		<i>Alchemilla procumbens</i>		*			√
210		<i>Crataegus mexicana</i>		*			
211		<i>Prunus serotina</i>		*			
212		<i>Rubus</i> sp. 1		*			
213	Rubiaceae	<i>Borreria latifolia</i>		*			√

214		<i>Borreria verticillata</i>		*		√
215		<i>Galium uncinulatum</i>		*		√
216		Morfoespecie 1		*		√
217		Morfoespecie 2		*		√
218		Morfoespecie 3		*		√
219		<i>Richardia scabra</i>		*		√
220	Scrophulariaceae	<i>Bacopa procumbens</i>		*		√
221	Solanaceae	<i>Datura</i> sp. 1		*		
222		<i>Physalis</i> sp. 1		*		√
223		<i>Physalis</i> sp. 2		*		√
224		<i>Physalis volubilis</i>		*		√
225		<i>Solanum cervantesii</i>		*		√
226		<i>Solanum erianthum</i>		*		
227		<i>Solanum lanceolatum</i>		*		√
228		<i>Solanum nigrescens</i>		*		√
229		<i>Solanum</i> sp. 1		*		√
230		<i>Solanum torvum</i>		*		
231	Urticaceae	<i>Urtica</i> sp. 1		*		
232	Verbenaceae	<i>Glandularia bipinnatifida</i>		*		√
233		<i>Verbena carolina</i>		*		√
234	Vitaceae	<i>Vitis tiliifolia</i>		*		√

La diversidad de plantas encontradas en las huertas fue alta, varias huertas tuvieron valores más altos de riqueza de especies que los bosques (Tabla 3). Como en muchas otras variables no se encontró una relación entre la zona altitudinal, la edad, o el tipo de manejo de la huerta, sino que fue el manejo específico de cada huerta el que determinó su riqueza y composición florística. Por lo tanto, las huertas muestran diferencias en los tres índices de diversidad que se calcularon y que dan diferente peso a las diferencias (Figuras 25, 26 y 27) y se encontraron varias huertas con valores superiores a los del bosque.

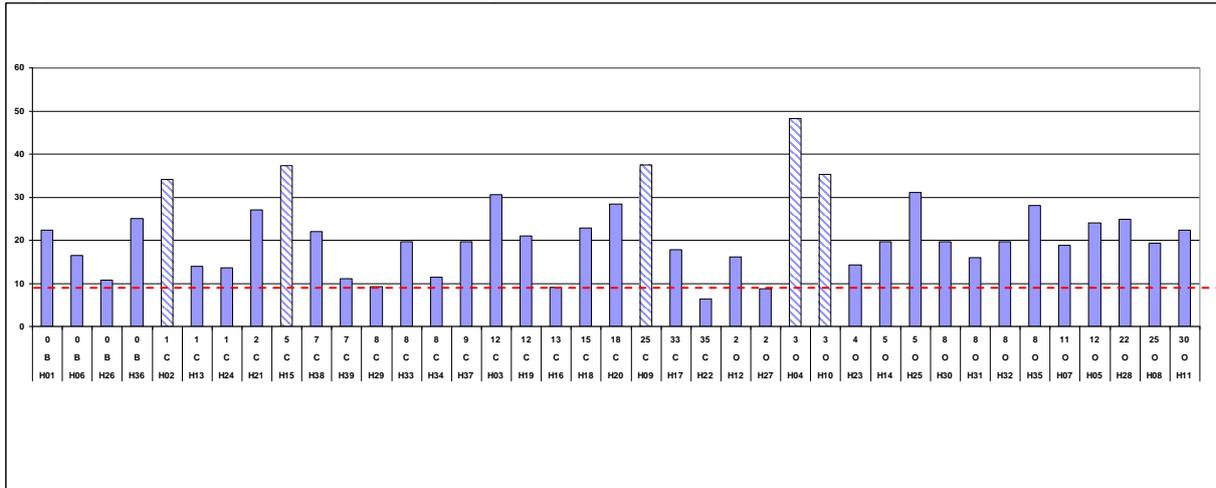
Sin embargo, el cociente dicotiledóneas/monocotiledóneas sí mostró diferencias importantes entre huertas y casi todas ellas tuvieron valores debajo del promedio de los bosques (Figura 28). Los bosques presentaron más de cuatro veces más dicotiledóneas que monocotiledóneas, lo que refleja que el manejo con herbicidas en algunas huertas y con cortes periódicos en todas ellas, ha ido reduciendo a las dicotiledóneas tanto en las huertas convencionales como en las orgánicas.

Las especies fijadoras de nitrógeno, en cambio, sí fueron más en promedio en las huertas orgánicas que en las convencionales (Figura 29). En varias huertas convencionales no se encontró ninguna especie fijadora. Dado que tanto las convencionales como las orgánicas se fertilizan en exceso, se puede deducir que no solo es la abundancia de nitrógeno sino el tipo de químicos aplicados lo que reduce la presencia de fijadoras de nitrógeno.

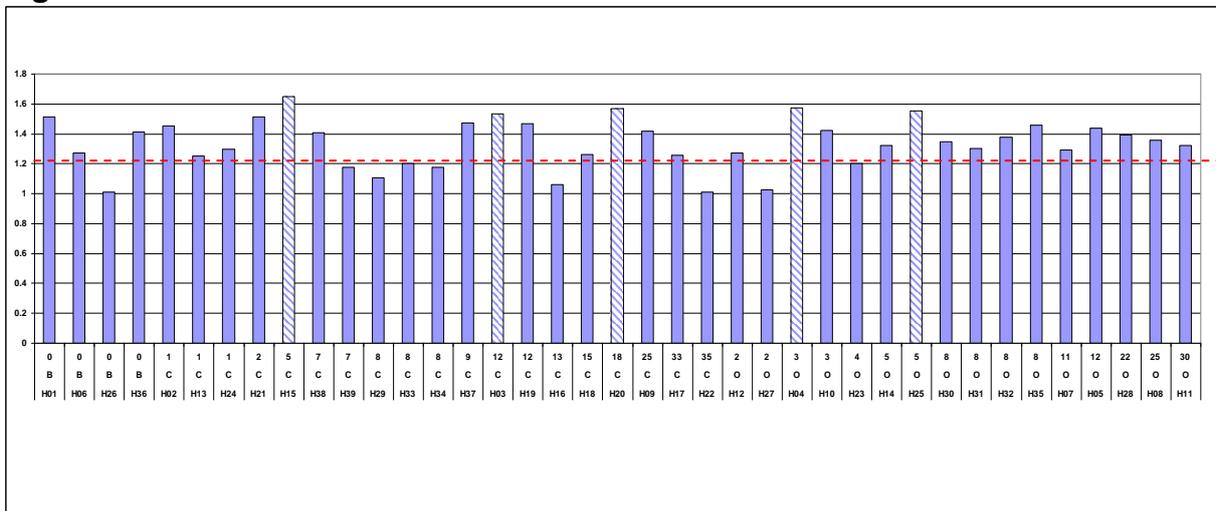
**Tabla 3.** Resumen de diversidad de plantas encontradas por huerta (folio).

Folio	Familias	Géneros	Especies	Dicot.	Gimnosp.	Monocot.	Pteridof.	F. Nitrogeno	No. Esp. Lindero
1	18	28	30	23	0	5	0	4	0
2	22	43	45	30	0	12	1	5	3
3	16	21	22	13	1	7	0	1	1
4	15	27	30	20	0	7	0	6	0
5	16	27	29	22	0	5	0	3	1
6	15	25	29	20	0	4	1	5	1
7	15	24	24	16	0	8	0	4	1
8	10	17	18	10	0	7	0	5	0
9	8	11	11	6	0	5	0	0	0
10	16	22	23	15	1	6	0	2	2
11	12	18	18	12	0	6	0	2	0
12	15	31	34	20	1	10	0	5	1
13	15	23	26	18	1	4	0	2	3
14	20	35	38	27	1	7	0	3	4
15	20	37	42	29	0	9	0	0	0
16	15	21	21	16	0	5	0	1	0
17	12	13	13	9	0	4	0	0	0
18	22	34	35	29	0	5	0	2	9
19	12	22	24	13	0	9	0	1	0
20	11	13	14	10	0	3	0	0	0
21	14	27	29	20	0	7	0	4	0
22	8	13	13	6	0	7	0	1	0
23	23	35	41	26	2	7	0	5	3
24	10	12	12	9	0	3	0	1	0
25	11	21	21	14	1	5	1	4	2
26	10	17	17	13	0	3	1	4	0
27	11	26	34	20	0	6	0	7	6
29	22	39	42	27	0	12	0	2	1
30	11	22	22	13	0	9	0	5	0
31	15	26	28	18	0	8	0	4	1
32	16	23	23	18	0	5	0	1	0
33	14	22	22	16	0	6	0	2	0
34	25	46	49	34	1	11	0	5	1
35	20	34	38	26	0	8	0	5	0
36	17	26	28	20	0	6	0	2	0
37	18	28	28	20	1	7	0	3	6
38	18	31	33	23	0	8	0	5	0
39	19	33	33	25	0	8	0	4	0
41	12	17	17	12	0	5	0	0	0

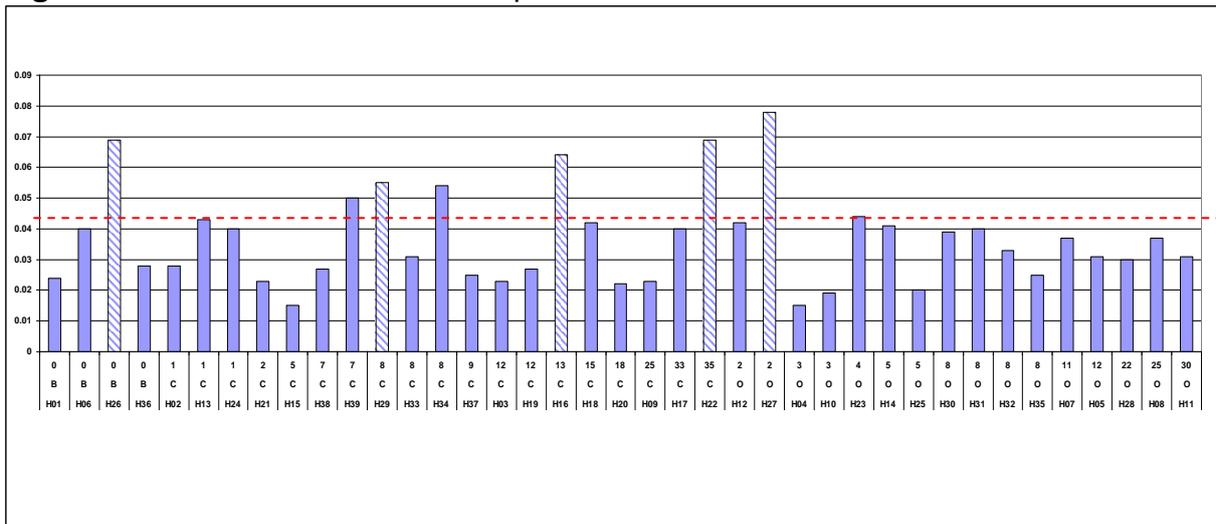
**Figura 25.** Índice de diversidad Alpha medido en cada huerta

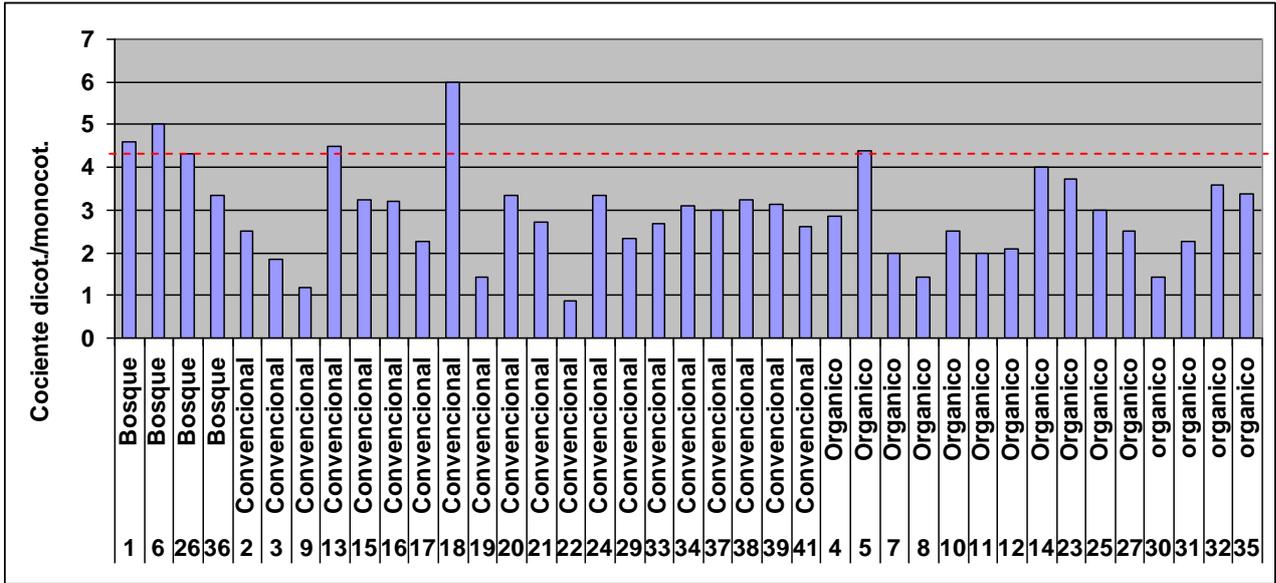


**Figura 26.** Índice de diversidad Shannon medido en cada huerta

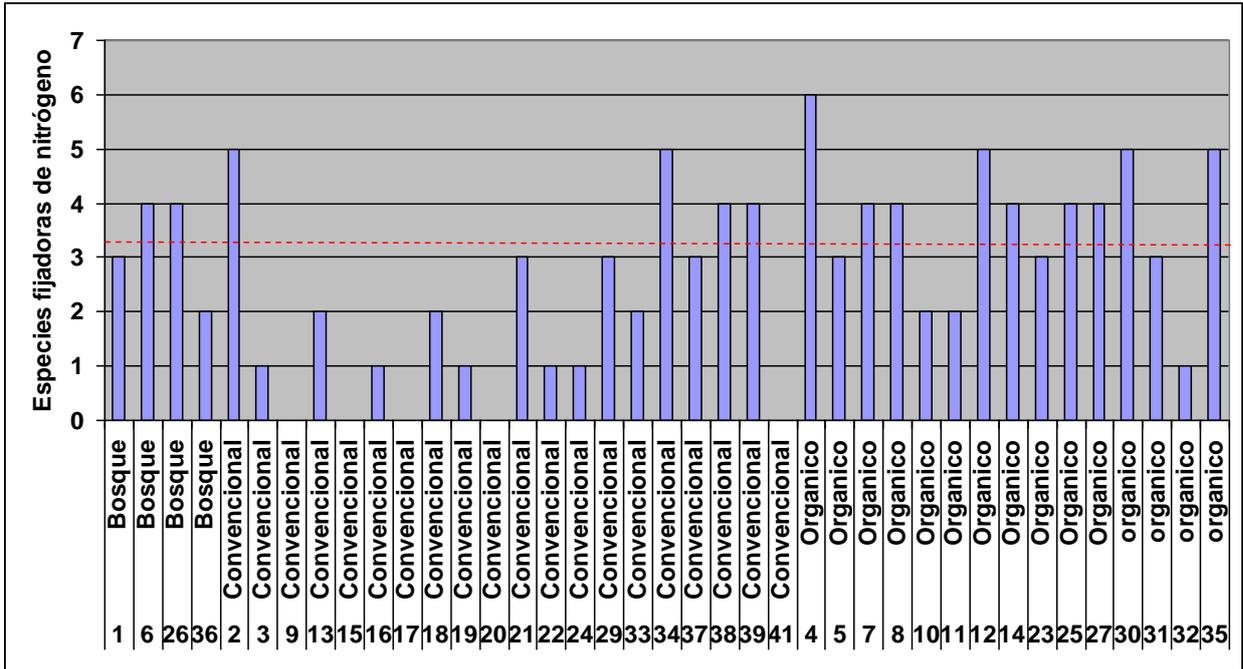


**Figura 27.** Índice de diversidad Simpson medido en cada huerta





**Figura 28.** Cociente del número de especies dicotiledóneas y especies monocotiledóneas. La línea roja muestra el promedio del cociente medido en los bosques.



**Figura 29.** Número de especies fijadoras de nitrógeno. La línea roja muestra el promedio del cociente medido en los bosques.

## 5.2. Biodiversidad de visitantes de las flores de aguacate y polinizadores:

El incremento de las áreas de cultivo y por ende el fraccionamiento y disminución de los ecosistemas naturales puede generar cambios en las comunidades como la de los polinizadores nativos al ser los bosques reservorios potenciales de insectos (Blanche, *et al.*, 2006; Kremen, 2002).

La polinización es un proceso relevante en el funcionamiento de los ecosistemas terrestres incluidos los agroecosistemas (Kevan, 1999). Este proceso consiste en la transferencia de polen de la antera de una flor al estigma ya sea de la misma u otra flor. Dependiendo de la especie vegetal involucrada, la polinización es facilitada por vectores bióticos y/o abióticos. La polinización abiótica ocurre por el viento, el agua y la gravedad, mientras la polinización biótica es mediada por animales, como insectos, aves y murciélagos (Kevan, 1999). Los insectos son uno de los principales grupos que se abastecen de los recursos proporcionados por las flores como el néctar y el polen y a su vez transportan los granos de polen en su cuerpo favoreciendo la polinización.

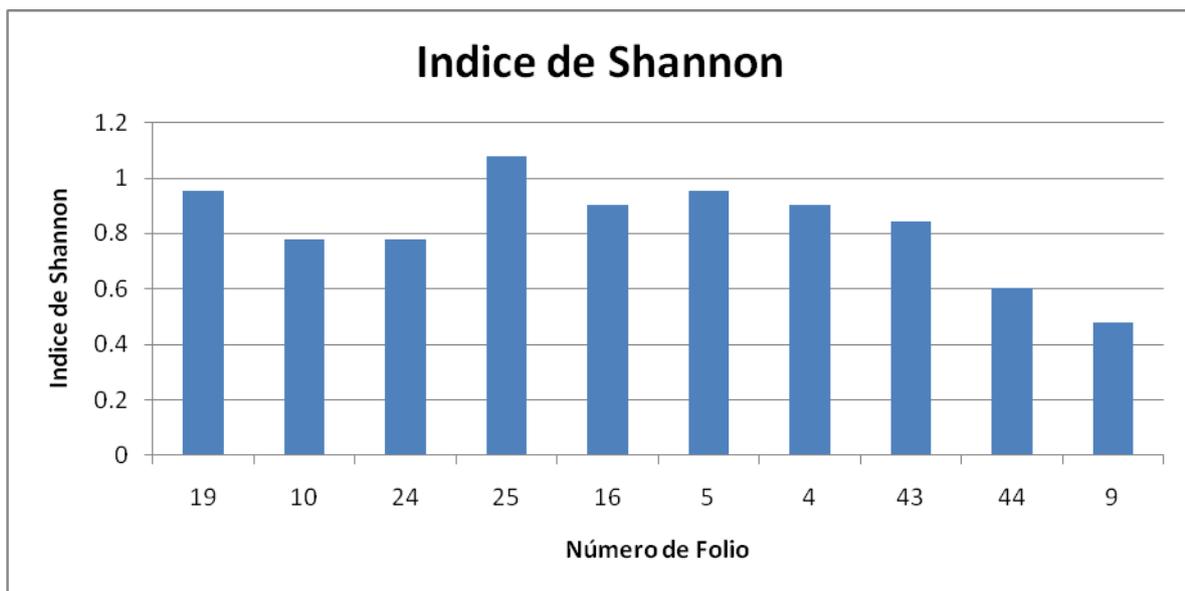
La polinización como servicio ecosistémico es entendida como el beneficio que proveen tanto los organismos silvestres (insectos y otros invertebrados, aves y algunos mamíferos) como los manejados a nivel comercial, (Kremen, *et al.*, 2007) a la producción de al menos el 35% de los cultivos a nivel mundial (Klein, *et al.*, 2007). Como resultado de este servicio varias especies de abejas se han introducido de forma generalizada en agroecosistemas sin considerar los impactos que podrían ocasionarse (Goulson, 2003). Aunque aun no son claros los impactos en las interrelaciones entre las poblaciones de los polinizadores introducidos y los nativos, si se evidencia un reemplazo de los primeros sobre los segundos en áreas más disturbadas como pueden ser los sistemas productivos (Kremen, *et al.*, 2002; Sout y Morales, 2009). La fructificación del aguacate depende de la polinización cruzada y la fertilización (Ish-Am, 2004). La importancia de los polinizadores en este cultivo es imperante ya que se atribuye casi exclusivamente el éxito de la fructificación a la presencia de polinizadores (Stout, 1933; Ish-Am, 1995; Ish-Am y Eisikowitch, 1998; Davenport, 2003; Can, *et al.*, 2005; Cabezas y Cuevas, 2007; Alcaraz y Hormaza, 2009; Ashwort, *et al.*, 2009), aunque trabajos realizados por Davenport (1998) sugieren al viento como vector en la transferencia y dispersión de polen con una ocurrencia entre 4.5% a 7.4%.

La diversidad de visitantes de las flores de aguacate se estudió por observación directa en flores estaminadas y pistiladas de cinco huertas orgánicas y cinco convencionales. La recolección de los insectos se realizó por medio de redes entomológicas en cada huerta, donde se observaron 10 árboles distribuidos en la huerta, durante 10 minutos por árbol. Las observaciones se hicieron de 9 de la mañana a 6 de la tarde. Los insectos recolectados fueron almacenados, para posteriormente obtener el polen que llevaban en el cuerpo con un gel y determinar si correspondía a polen de aguacate en el microscopio (Castañeda *et al.*, 1999; Alcaraz y Hormaza 2009).

Durante el año en el que se realizó el estudio se pudo cubrir un solo periodo de floración, ya que ésta se retrasó considerablemente y estuvo presente en todas las huertas hasta finales de noviembre. Se realizó un muestreo en diciembre de 2010 y

otro en febrero de 2011, pero la floración además de retrasarse fue muy corta y para el muestreo de febrero ya se encontraron pocas flores.

Para el análisis comparativo de la diversidad de insectos visitantes de las flores del aguacate en las 10 huertas donde se realizó el muestreo, se consideró el índice de biodiversidad de Shannon, ya que este índice muestra la relación entre la totalidad de especies recolectadas en cada huerta (riqueza) y el número de individuos de cada especie (abundancia). El valor expresado por dicho índice (Figura 30) entre las huertas muestreadas no indicaron una diferencia significativa, a pesar que el rango de la riqueza de especies en estas huertas va de 3 a 13 especies, pero con una media de 6.7 especies por huerta.



**Figura 30.** Valores del índice de Shannon para la comunidad de visitantes florales del aguacate.

En cuanto a la abundancia de las especies, la más abundante en todas las huertas fue la abeja europea (*Apis mellifera*) con 174 individuos, seguida de una avispa mexicana (*Parachartergus mexicanus*) con 17 individuos (Figura 31). Aunque la abundancia observada de la abeja europea le da un papel importante en la comunidad, vale la pena resaltar el papel fundamental de las otras especies, ya que a pesar de contar con un número más reducido de individuos en comparación con la abeja europea, el 40% de estas especies se consideraron como acarreadoras de polen además de realizar otras funciones en el agroecosistema como el de ser parasitoides y controladoras de plagas.

**Tabla 4.** Lista de especies encontradas visitando las flores de aguacate en las huertas muestreadas.

No.	Orden	Familia	Especies	Descripción	Polen	Foto
1	HYMENOPTERA	APIDAE	<i>Apis mellifera</i> Lineo	Abejas visitadoras de flores, consumidora de polen y néctar. Son abejas sociales con aguijón. Si acarrearón de polen de aguacate.	√	√
2			<i>Lasioglossum (Dialictus) sp.</i>	Abejas visitadoras de la flor, consumidora de polen y néctar. Pueden ser solitarias o comunales. No acarrearón polen de aguacate.		√
3			<i>Megachile sp.</i>	Abejas visitadoras de la flor, consumidora de polen y néctar. Pueden ser solitarias o comunales. No acarrearón polen de aguacate.		√
4		VESPIDAE	<i>Vespula squamosa</i> Drury	Avispas predadoras de otros insectos, construyen sus nidos bajo tierra. Es social. Algunas acarrearón polen de aguacate.	√	
5			<i>Polistes carnifex</i> Fabricius	Avispas sociales. Son predadoras de otros insectos. También visitan las flores de aguacate para consumir el néctar. Algunas acarrearón polen de aguacate.	√	√
6			<i>Polistes pacificus</i> Fabricius	Avispas sociales. Son predadoras de otros insectos. También visitan las flores de aguacate para consumir el néctar y el polen. Algunas acarrearón polen de aguacate.	√	√

7		<i>Polistes instabilis</i> Saussure	Avispas sociales. Son predadoras de larvas de otros insectos. También visitan las flores de aguacate para consumir el néctar y el polen. Algunas acarrearón polen de aguacate.	√	√
8		<i>Polybia diguetana</i> Buysson	Avispas sociales. Son predadoras de otros insectos. También visitan las flores de aguacate para consumir el néctar. Pueden ser acarreadoras de polen de aguacate.	√	√
9		<i>Brachygastra mellifica</i> Say	Avispa social, conocida como la avispa mexicana melífica, ya que produce y almacena miel. Construye los nidos en los troncos de los árboles y ramas . No acarrearón polen de aguacate.		√
10		<i>Parachartergus mexicanus</i>	Avispa social. Pueden ser predadoras de otros insectos o generar relaciones mutualistas. Si acarrearón de polen aguacate.	√	√
11	EUMENIDAE	<i>Zethus sp.1</i>	Avispas. Construyen sus nidos en troncos y ramas de los árboles o en el suelo . Pueden ser biocontroladores de algunas plagas ya que consumen sus larvas. No acarrearón polen de aguacate.		√
12	POMPILIDAE	<i>Especie 1</i>	Avispas solitarias. Vistan las flores para consumir néctar. Son predadoras de arañas. No acarrearón polen de aguacate.		

No.	Orden	Familia	Especies	Descripción	Polen	Foto
13		TIPHIDAE	<i>Tiphia sp.</i>	Especie de avispa social. Son parasitoides de larvas de otros insectos (gusanos blancos). También visitan las flores de aguacate para consumir el néctar. Algunas acarrearon polen de aguacate.	√	√
14			<i>Morfoespecie A1</i>	Avispas parasitarias.		
15			<i>Morfoespecie A2</i>	Avispas parasitarias.		
16			<i>Morfoespecie A3</i>	Avispas parasitarias.		
17	DIPTERA	SYRPHIDAE	<i>Toxomerus mutuus</i>	Moscas visitadoras de flores. Pueden consumir néctar y polen. No acarrearon polen de aguacate.		√
18			<i>Toxomerus marginatus</i>	Moscas visitadoras de flores. Pueden consumir néctar y polen. No acarrearon polen de aguacate.		√
19			<i>Allograpta obliqua</i>	Moscas visitadoras de flores. Los adultos consumen néctar y polen, y las larvas son predadoras de áfidos y pulgones. Si acarrearon polen de aguacate.	√	
20			<i>Allograpta sp. 1</i>	Moscas visitadoras de flores. Los adultos consumen néctar y polen, y las larvas son predadoras de áfidos y pulgones. Si acarrearon polen de aguacate.	√	

21		<i>Allograpta sp. 2</i>	Moscas visitadoras de flores. Pueden consumir néctar y polen, son predadoras de áfidos y pulgones. Si acarrearón polen de aguacate.	√	
22		<i>Pseudodoros clavatus</i>	Moscas visitadoras de flores. Pueden consumir néctar y polen, son predadoras de áfidos y pulgones. Si acarrearón polen de aguacate.	√	
23		<i>Palpada sp. 1</i>	Moscas visitadoras de flores. Pueden consumir néctar y polen. No acarrearón polen de aguacate.		
24		<i>Ocyptamus sp. 1</i>	Moscas visitadoras de flores. Pueden consumir néctar y polen, pueden ser parasitoides. No acarrearón polen de aguacate.		
25	MUSCIDAE	<i>Especie 1</i>	Moscas visitadoras de flores. Pueden consumir néctar y polen. No acarrearón polen de aguacate.		
26		<i>Especie 2</i>	Moscas visitadoras de flores. Pueden consumir néctar y polen. No acarrearón polen de aguacate.		
27	MUSCIDAE	<i>Especie 3</i>	Moscas visitadoras de flores. Pueden consumir néctar y polen. No acarrearón polen de aguacate.		
28	DOLICHOPODIDAE	<i>Especie 1</i>	Moscas visitadoras de flores. Pueden consumir néctar y polen. Si acarrearón polen de aguacate.	√	

No.	Orden	Familia	Especies	Descripción	Polen	Foto
29		CALLIPHORIDAE	<i>Especie 1</i>	Moscas azules o verdes metálicas visitadoras de flores. pueden consumir néctar y polen, son necrófagas. no acarrearon polen de aguacate.		√
30		TACHINIDAE	<i>Especie 1</i>	Moscas visitadoras de flores, consumen néctar y polen, pueden ser parasitoides. No acarrearon polen de aguacate.		
31	<i>Especie 2</i>		Moscas visitadoras de flores, consumen néctar y polen, pueden ser parasitoides. Si acarrearon polen de aguacate.	√		
32	<i>Especie 3</i>		Moscas visitadoras de flores, consumen néctar y polen, pueden ser parasitoides. Si acarrearon polen de aguacate.	√		
33	<i>Especie 4</i>		Moscas visitadoras de flores, consumen néctar y polen, pueden ser parasitoides. Si acarrearon polen de aguacate.	√		
34	BIBIONIDAE		<i>Especie 1</i>	Moscas visitadoras de flores. Pueden consumir néctar y polen. No acarrearon polen de aguacate.		
35	TEPHRITIDAE	<i>Especie 1</i>	Moscas visitadoras de flores, pueden consumir néctar y polen. Si acarrearon polen de aguacate.			

36		TIPULIDAE	<i>Especie 1</i>	Conocidos como t�pulas, moscas grúa o zancudos. Son visitantes de las flores, pueden consumir néctar. No acarrearon polen de aguacate.		
37	HEMIPTERA		<i>Morfoespecie HE1</i>	Pueden alimentarse de plantas, de polen y de otros insectos. No acarrearon polen de aguacate.		
38			<i>Morfoespecie HE2</i>			
39	COLEOPTERA		<i>Morfoespecie C1</i>	Escarabajo visitador de la flor, consumidor de polen y néctar. Si acarreo polen del aguacate.	√	√
40			<i>Morfoespecie C2</i>	Escarabajo visitador de la flor, consumidor de néctar. No acarreo polen del aguacate.		

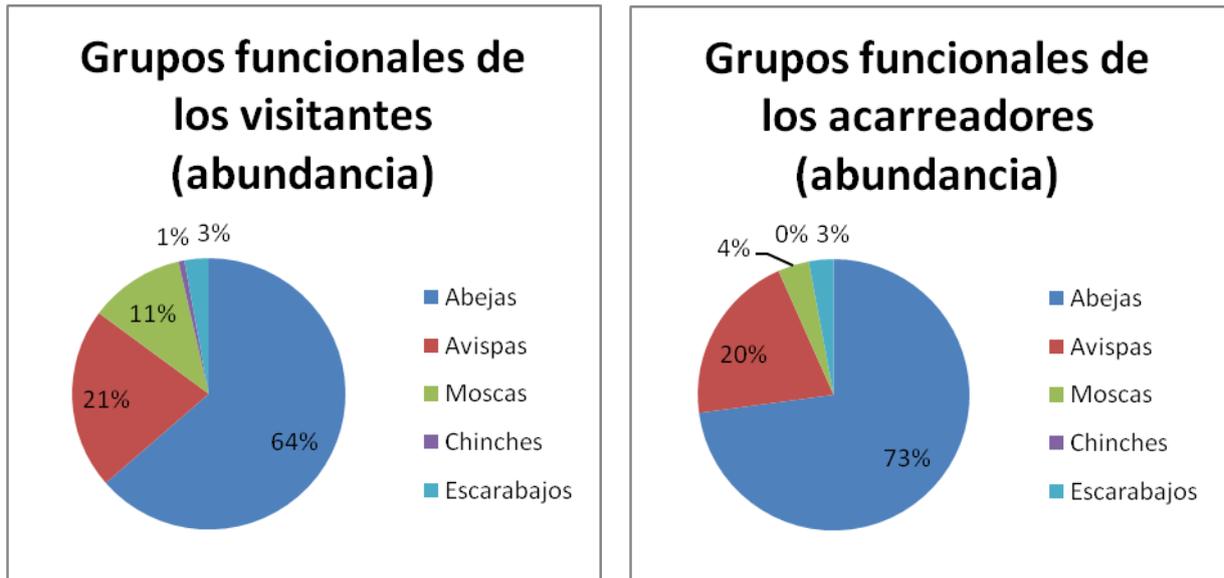


**Figura 31.** Número de individuos colectados de visitantes florales del aguacate.

El papel ecológico de las especies puede ser comprendido de igual forma por medio de la asociación de estas en grupos funcionales. Para este estudio se agruparon las especies por medio de la clasificación taxonómica general, la cual comprendió abejas, avispas, moscas, chinches y escarabajos. En la figura 32 se observa la proporción de cada grupo funcional respecto a la abundancia de individuos, donde se advierte la importancia de las abejas en comparación a los demás conjuntos. Cabe resaltar que la dominancia mostrada por las abejas es debido a la influencia de la alta abundancia de la abeja europea. Sin embargo, cuando se analiza la proporción considerando el número de especies dentro de los grupos funcionales el grupo de las moscas y el de las avispas sobrepasan la dominancia frente a las abejas (Figura 33).

Estas dos consideraciones permiten reconocer las dominancias e importancias de los diferentes grupos funcionales encontrados en los insectos asociados a las flores del aguacate.

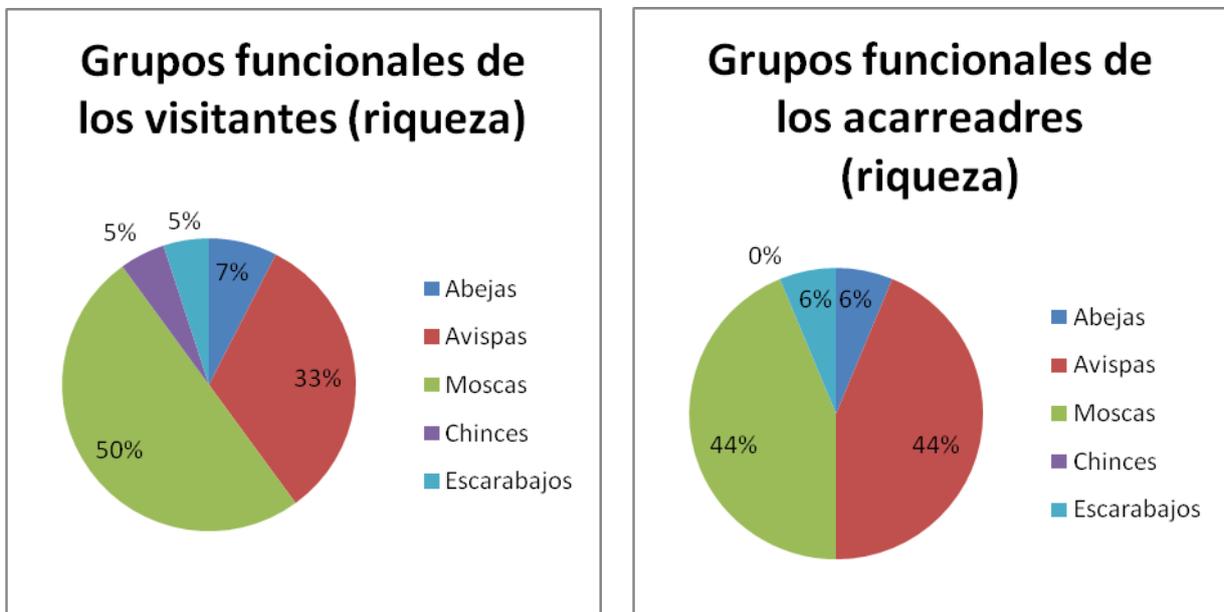
Las diferencias observadas en el cociente de plantas dicotiledóneas y monocotiledóneas pueden tener gran repercusión en la comunidad de polinizadores, ya que las especies de monocotiledóneas (sobretudo del tipo de los pastos que fueron muy comunes en las huertas) son muy poco atractivas para los polinizadores. Las dicotiledóneas suelen tener flores más atractivas y con más néctar, por eso se exploró la relación entre el cociente dicotiledóneas/monocotiledóneas y la riqueza de visitantes y acarreadores de polen de aguacate. Se encontró una relación positiva del cociente tanto con los visitantes de las flores como con los acarreadores pero la relación fue aún más sólida ( $R^2 = 0.39$ ) con los acarreadores de polen de aguacate. Esto apoya el argumento de que no solo es importante mantener una riqueza alta de especies en las huertas, sino también un buen balance de especies que atraiga a polinizadores y controladores de plagas.



(a)

(b)

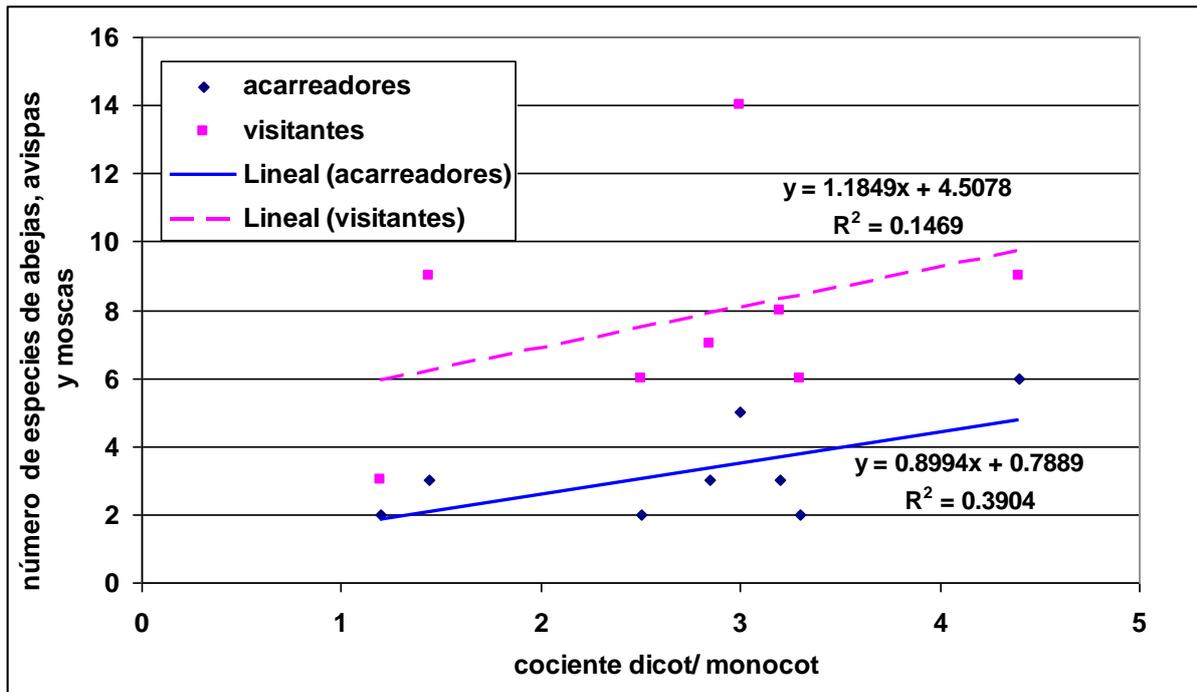
**Figura 32.** Proporción de los grupos funcionales según la abundancia de los individuos establecidos en la comunidad de visitantes florales (a) y acarreadores de polen del aguacate (b).



(a)

(b)

**Figura 33.** Proporción de los grupos funcionales según la riqueza de especies establecidos en la comunidad de visitantes florales (a) y acarreadores de polen del aguacate (b).



**Figura 34.** Regresión lineal entre el cociente del número de especies dicotiledóneas y número de especies monocotiledóneas y la riqueza de visitantes y acarreadores de polen de aguacate. Cada punto representa los valores medidos en una huerta.

Las interrelaciones establecidas entre las plantas y sus polinizadores pueden ir desde el generalísimo a la especialización por el recurso (Waser, et al., 1996; Gómez, 2002; Aizen, 2007). Sin embargo, la tendencia generalizada en el mundo es a la introducción de especies generalistas como la *Apis mellifera* considerada como una de las especies más importantes en la polinización de muchos cultivos agronómicos (Kevan, 1999; Wittmann, et al., 2007) desconociendo la presencia de especies nativas con igual potencial polinizador (Ish-am 1995; Kremen, et al., 2002). En el trópico americano donde no había originalmente presencia de *Apis*, abejas sin aguijón (Melaponinae) han sido usadas desde la época pre-hispánica para los procesos de polinización y obtención de miel y polen (Roubik, 1995). A pesar de ello, la introducción y el uso de la abeja europea es cada vez más extendido aunque para ciertos cultivos no sea reconocida como la mejor especie polinizadora (Ish-Am, 1995; Ish-Am, 2004, Can, et al., 2005).

La disponibilidad de polinizadores no parece ser un factor limitante en América Central donde es el centro de origen del aguacate, ni en el clima tropical de Florida. Sin embargo, en los países productores de clima Mediterráneo como Israel, California y Sudáfrica representa un importante factor limitante. Esto puede explicarse por la presencia en América Central de los polinizadores nativos que coevolucionaron con el aguacate como las abejas sin aguijón (Apidae, Meliponini) que han sido observadas en el occidente mexicano (Castañeda et al., 1999). La polinización en Europa ha dependido principalmente de la abeja europea (*Apis mellifera*).

Se han llevado a cabo varios trabajos de investigación (Ish-Am et al., 1996; Ish-Am et al., 1999, Castañeda, et al., 1999) donde colectaron visitantes florales del

aguacate en huertas de los Estados de México y Michoacán, donde la *Apis mellifera* fue la especie más abundante seguida de *Eristalis tenax* L. y *Palpada mexicana* Macquart aunque *Geotrigona acapulconis* Strand, *Brachyestraster mellifica* Say, *Mischocyttarus* sp., *Ancistrocerus* sp., *Polistes* sp. y *Chrysomya megacephala* Fabricius presentaron cantidades importantes de polen (Castañeda, et al., 1997). En Sudáfrica Eardley y Mansell (1996) encontraron a *Apis mellifera* L. como la visitante más común de las flores de aguacate, también encuentran gran diversidad de especies visitantes ya sea de estas flores o de otras especies con flor halladas en la inmediación de los árboles. Se aprecia el papel dominante de *Apis mellifera* L. en la composición de la comunidad de polinizadores, posiblemente por la introducción de colmenas a las huertas como práctica de manejo agronómico (Roubik, 1995) o por la colonización de esta especie en ecosistemas regionales. A pesar de ello, también es coincidente la idea que no es precisamente esta especie de insecto el polinizador más efectivo, dado el tamaño promedio de los individuos respecto a otras especies de insectos locales encontrados en las flores y por el comportamiento preferente sobre otros tipos de polen o néctar de especies florales hallados alrededor de las huertas (Ish-Am, 1999).

Estos resultados muestran que se promueven y aprovechan muy poco los polinizadores nativos en las huertas y que se requiere más trabajo para conocer los hábitos y requerimientos de esas especies, de modo que se aumente su presencia y su contribución a la polinización del aguacate. Un buen manejo de las hierbas es sin lugar a dudas uno de los factores más importantes a estudiar.

Pocos estudios que buscan relacionar la biodiversidad con algún servicio ecosistémico en particular han logrado demostrar los mecanismos implicados en la regulación o procuración del servicio, como en el caso específico del control de plagas (Simon et al., 2010). En este caso hay argumentos importantes al menos en lo que se refiere a la conexión entre la diversidad vegetal y el servicio de polinización, lo que sugiere que este estudio debería profundizar en los mecanismos en etapas posteriores.

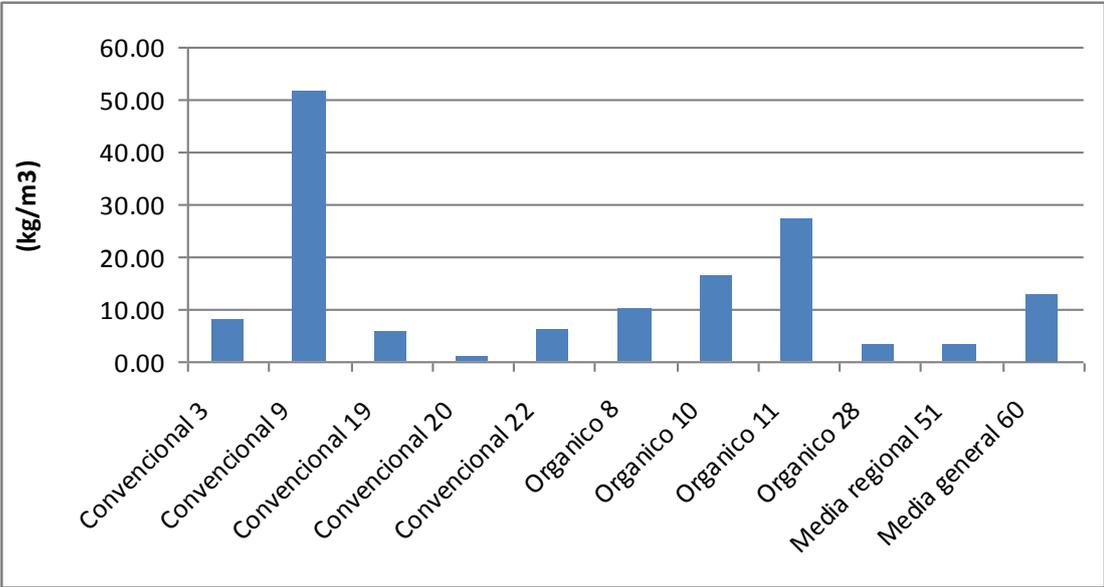
## **6. ÁREA 3: AGUA**

En el año 2004 el 60% de la superficie cultivada por aguacate (45,000 hectáreas) dentro del cluster en el estado de Michoacán se encontraba bajo riego (Sánchez, 2007). Casi todas las huertas en donde se trabajó en este estudio cuentan con sistema de riego y algunas se encuentran en municipios que tienen el 100% de su superficie bajo riego, como Taretán. Aunque el cultivo del aguacate tiene un alto consumo de agua muestra un mejor desempeño en cuanto a su uso que los cultivos anuales (Tapia-Vargas et al., 2009).

Se calculó la eficiencia en el uso del recurso agua de cada huerta, expresada como la cantidad de litros de agua necesarios para producir un kilogramo de aguacate. El cálculo se hizo a partir de la información recolectada en la encuesta realizada a cada productor, en lo relativo a la cantidad de agua utilizada para riego por hectárea ( $m^3/ha$ ) y la producción de fruta obtenida por hectárea ( $kg/ha$ ). Así, la productividad del agua de riego (PA) en una huerta promedio regional en donde se cosechan  $13,000 kg/ha$  y se invierten  $4,000 m^3$  (4 millones de litros) es de  $3.25 kg$  de fruta/ $m^3$  agua.

El plan de uso de agua que publica la Comisión Nacional del Agua para la PA es pasar de 1.41 a 2.10 kg/m<sup>3</sup> (CONAGUA, 2009). En este estudio se registró una PA promedio, de agua utilizada para el riego, no se incluyó el agua de lluvia, de 28 Kg/m<sup>3</sup> y el PA estimado con datos reportados por el FIRA es de 3.25 kg/m<sup>3</sup> de fruta. En frutales como el mango, por ejemplo, donde se puede obtener 10 veces más de cosecha, la PA reportada es de 4.3-4.8 (Teixeira et al., 2008).

En la Figura 35 se puede apreciar que existen huertas muy eficientes, con una PA mucho más elevada que la media regional. Existe, sin embargo, una huerta convencional y una huerta orgánica en donde se observa una PA menor a la media regional y, por lo tanto, un uso más ineficiente de este recurso. Llama la atención que la huerta 26, la cual se encuentra en el Municipio de Taretan, hace un uso más eficiente que muchas huertas que están ubicadas en regiones climáticas más templadas y húmedas.



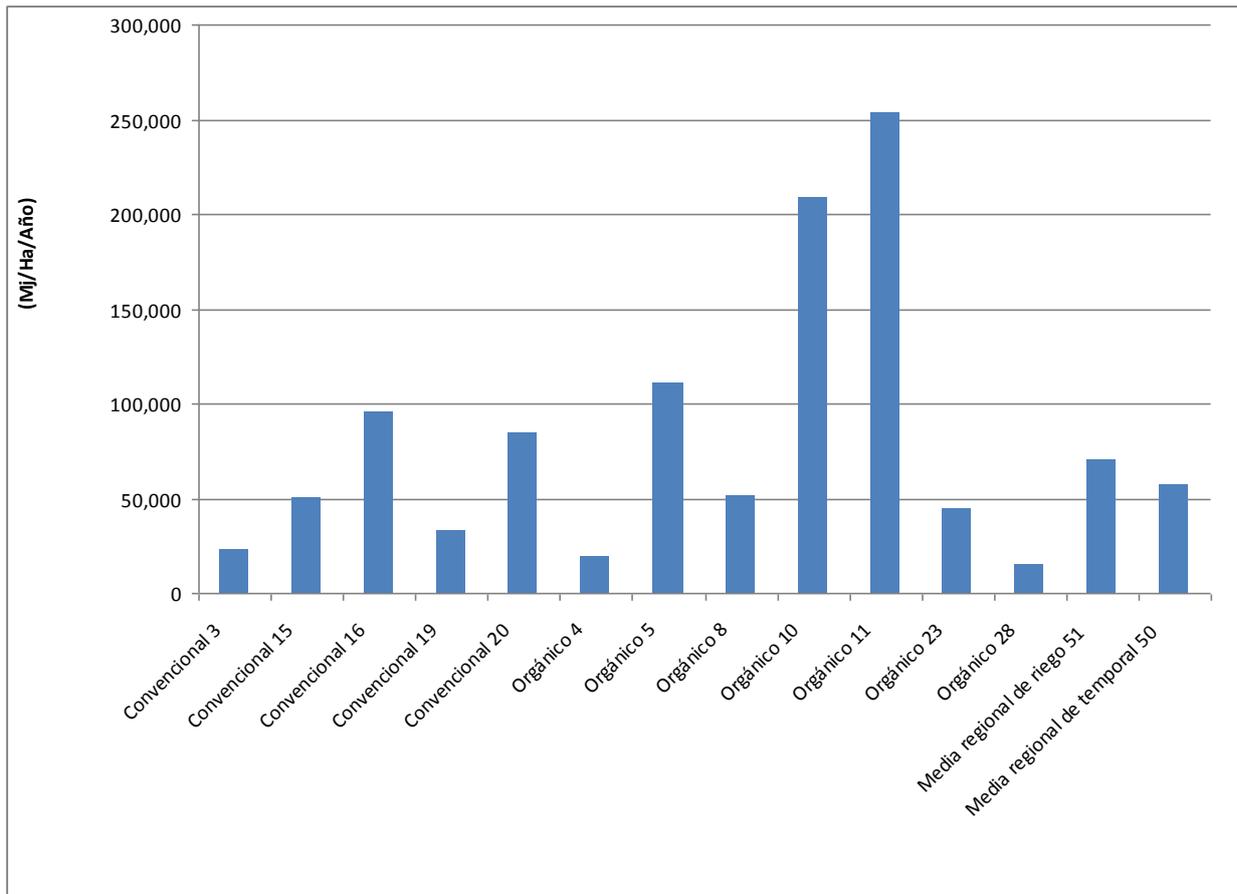
**Figura 35.** Productividad del agua en huertas de aguacate convencionales y orgánicas.

## 7. ÁREA 4: ENERGÍA

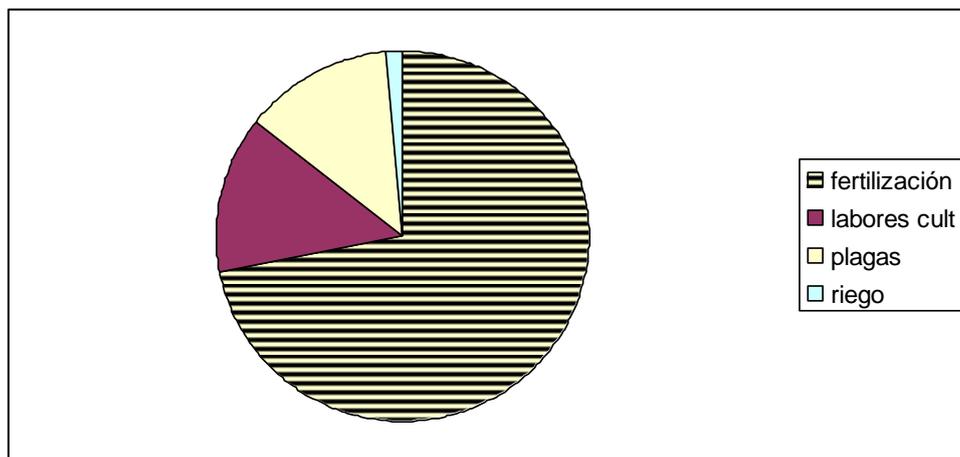
La producción agrícola demanda energía en forma de mano de obra y en forma de insumos no renovables derivados del petróleo (combustible, fertilizante, plaguicida) y electricidad para el bombeo de agua para riego. Estos insumos fósiles, van a ser cada vez más costosos en el futuro. Además de que su fabricación viene acompañada de la emisión de gases efecto invernadero que son los causantes del calentamiento global del planeta. Por estas razones es fundamental que todos los sectores productivos hagan un uso más eficiente de la energía. La cantidad de energía utilizada en cada huerta depende de las prácticas y la tecnología usada en el cultivo. En términos de eficiencia energética es importante considerar las entradas de energía en forma de insumos y electricidad y las salidas en forma de producción (la biomasa cosechada). La eficiencia es la relación de salidas sobre las entradas por lo que una huerta puede ser eficiente porque es ahorradora de energía y/o porque es altamente productiva.

Para este estudio, se registró información concerniente a los insumos utilizados en el cultivo durante un año y la producción en términos de frutos de aguacate. Esto permitió evaluar la eficiencia energética del sistema, por medio de la comparación entre la energía que entró como insumos y la que salió como frutos. Adicionalmente se analizó el costo energético de cada práctica agrícola a lo largo del año con el fin de establecer la energía requerida en cada labor.

En un estudio económico FIRA (2006) registra los valores de uso de insumos y labores en 12 huertas, 6 de riego y 6 de temporal. En dicho estudio, sin embargo, no se registraron las entradas en forma de plaguicidas y fungicidas por lo que éstos, calculados a partir del promedio invertido en esta forma en las huertas estudiadas (10,000 MJ/ha), se adicionaron a las entradas reportadas por FIRA. El costo estimado energético que se tiene de referencia regional es, por consiguiente, de 67,000 MJ/ha, en huertas de riego, y de 70,000 MJ/ha en huertas de temporal. Esos son los valores que se utilizaron de referencia para elaborar los umbrales y categorías de impacto ambiental en los diagnósticos elaborados para los productores. El valor establecido en la categoría óptima o verde, a partir de los datos regionales y del presente estudio promedio, fue de un costo o inversión energética en la huerta de menor o igual a 73,800 MJ/ha. Se puede observar en la Figura 36 que el valor máximo encontrado es de 250,000 Mj/ha y que el mínimo encontrado es de 2,803 Mj/ha. Pimentel (2006) reporta una inversión energética de 209,000 MJ/ha para huertas de manzana convencionales. En la Figura 37 se puede apreciar que la fertilización es el rubro que más energía demanda, la cual está secuestrada en el propio insumo y/o en su aplicación; los siguientes rubros más importante, son el de labores (culturales y de reparación de caminos y cajete) y plaguicidas.



**Figura 36.** Gasto energético en huertas de aguacate convencionales y orgánicas.



**Figura 37.** Rubros más importantes de inversión energética global.

En los sistemas orgánicos hay una reducción considerable de uso de insumos fósiles en comparación con los convencionales (Pimentel, 2006) además de que estos sistemas tienen un mejor desempeño en ciertos parámetros como es la reducción en la erosión de suelos, el uso del agua, mayores rendimientos en años de sequía, mayores niveles de materia orgánica. En este estudio, sin embargo, hubo casos de inversiones energéticas de 3 a 6 veces mayor que la inversión regional promedio: de 400,000 Mj/ha, en una huerta convencional y de aproximadamente

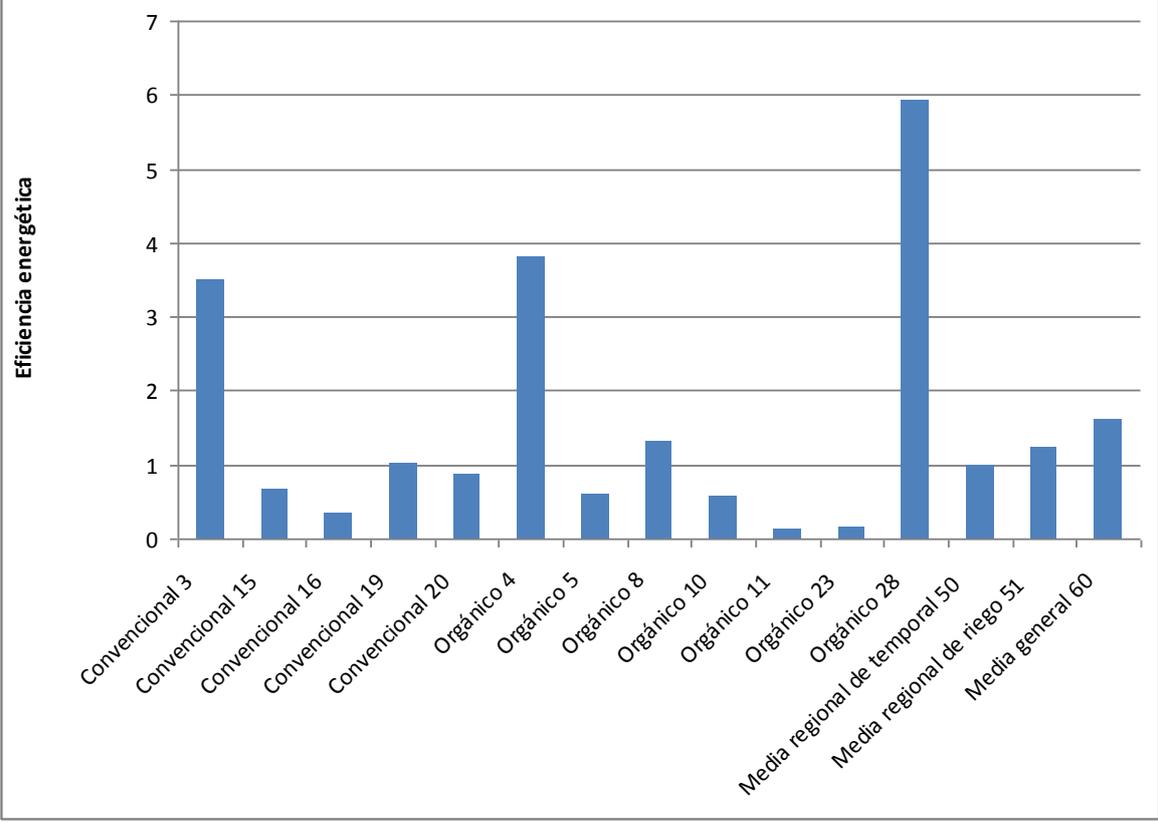
200,000 Mj/ha, en una orgánica. Esto tiene que ver con las elevadas inversiones energéticas que hacen los agricultores sobre todo en la fertilización ya que este fue el rubro de primer consumo en energía. En el caso de las huertas orgánicas, aunque la energía contenida en los abonos orgánicos es muy baja, 13.3 Mj/kg para elaborar composta en la huerta (Guzmán y Alonso, 2008 ) en comparación con los 70 Mj para la elaboración de cada kilogramo de nitrógeno sintético (Locketerz,1980), la aplicación de elevadas cantidades de abono se traduce en elevadas inversiones energéticas. La mayoría de las huertas, sin embargo, hace inversiones energéticas menores a la media regional.

La eficiencia energética es el coeficiente de salidas entre entradas. Los rendimientos promedios que reporta FIRA (2006) en las huertas de temporal son de 10 Ton/ha y en las huertas de riego de 13 ton/ha. La eficiencia energética, calculada a partir de los datos reportados por FIRA (2006), es de 1 y 1.23 para las huertas de temporal y de riego, respectivamente. Esto tiene que ver con que en las huertas de temporal las entradas son menores pero también las salidas comparadas con las huertas de riego. Los resultados de este indicador para este estudio se registran en la Figura 38 y se puede observar datos de huertas que alcanzan un valor de más de 5 por lo que se puede decir que existen valores muy altos en general de eficiencia; éstas son huertas que reportan cosechas por más de 14 ton/ha y una inversión energética muy pequeña, de 15,000 MJ/ha.

En huertas de manzana, por ejemplo, Strapatsa y Cols. (2006) reportan que existe una inversión energética de 50,700 MJ/ha, siendo la energía secuestrada mayormente en el control de plagas (el 40%) la cosecha y transporte (21.6%) y la fertilización (17%). Pimentel (2006) reporta una inversión energética de 209,000 MJ/ha, salidas de 128,000 MJ/ha (equivalentes a 55 Ton/ha) por lo que la eficiencia de una huerta de manzana convencional en USA es de 0.61. La eficiencia energética en las huertas de manzana va de 0.61 a 1.1, dependiendo de la densidad (Pimentel, 2006, Funt, 1980; Reganold et al., 2001).

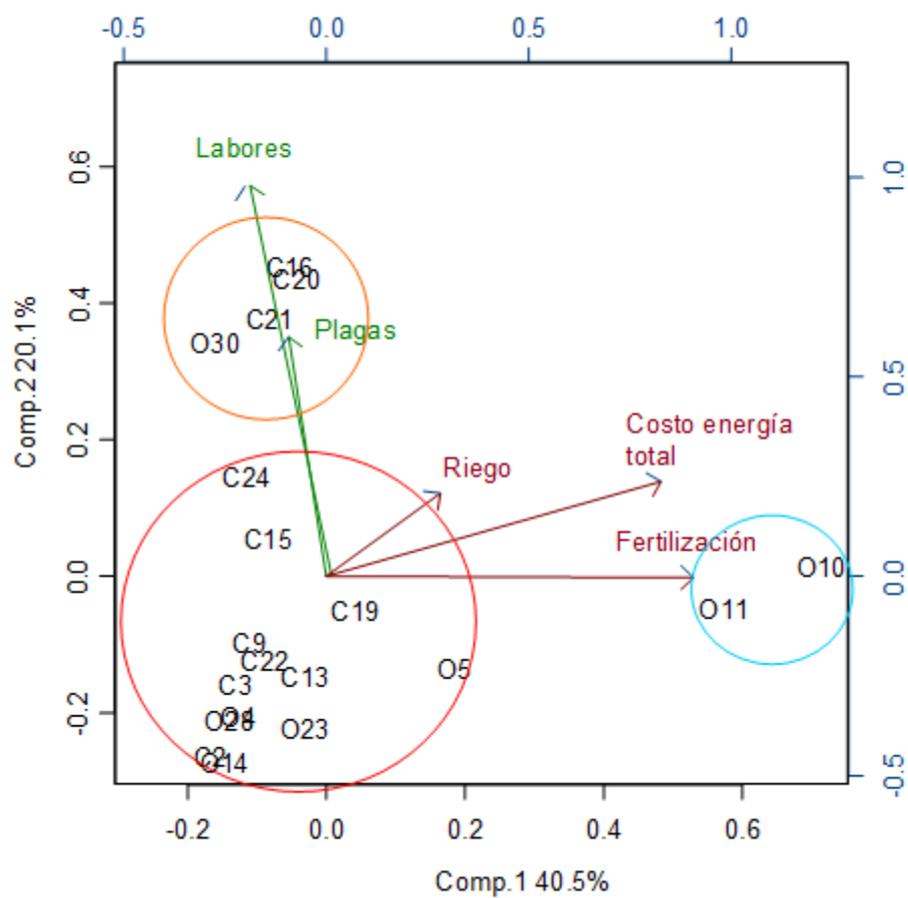
En sistemas agrícolas anuales se constata que las producciones orgánicas utilizan de 30 a 50% menos energía fósil que los sistemas convencionales (FiBL, 2000). En relación a la eficiencia energética, hay algunos estudios en donde se registran valores similares de eficiencia energética en los sistemas orgánicos o integrados en comparación con los convencionales. Reganold y Cols. (2001) reportaron que la producción integrada resultó en menores rendimientos pero también en una menor inversión en insumos por lo que la eficiencia energética fue la misma que en sistemas convencionales. Muchos autores, sin embargo, confirman que la eficiencia es significativamente mayor en los sistemas orgánicos que en los convencionales; que se incrementa la eficiencia de la energía no renovable tanto en cultivos de secano con en los de riego (ver citas en Guzmán y Alonso; Pimentel et al., 1983; Kaltasas et al., 2007). Guzmán y Alonso reportan, por ejemplo, que el olivar ecológico es 1.48 veces más eficiente en promedio que el olivar convencional. El Centro de Investigación FiBL, en estudios de largo plazo, reporta una eficiencia energética 19% mayor en la forma de producción de cultivos anuales orgánicos que en los convencionales (FiBL, 2000). En el presente estudio no se observó un comportamiento diferenciado en los sistemas orgánicos en comparación con los convencionales para el parámetro eficiencia energética (Figura 38). Hubo casos de eficiencia energética negativa (menor de 1) tanto en las huertas orgánicas como en

las convencionales. Esto tiene que ver, con lo que se explico en el párrafo anterior sobre las elevadas inversiones energéticas que hacen los agricultores.



**Figura 38.** Eficiencia energética en huertas convencionales y orgánicas.

En la figura 39 se observa que la mayoría de las huertas tuvo inversiones energéticas bajas (círculo rojo) y solo se separaron dos grupos pequeños, uno con las huertas de mayor inversión en labores y control de plagas (círculo naranja) y otro con las huertas con mayor inversión en fertilización y costo energético total (círculo azul). Nuevamente, se encuentran huertas convencionales y orgánicas mezcladas en dos de los tres grupos, lo que indica que las diferencias no son atribuibles al tipo de manejo convencional u orgánico, sino al manejo que le da cada productor a la huerta.



**Figura 39.** Análisis de componentes principales que muestra los grupos de huertas en relación a sus rubros más importantes de inversión energética.

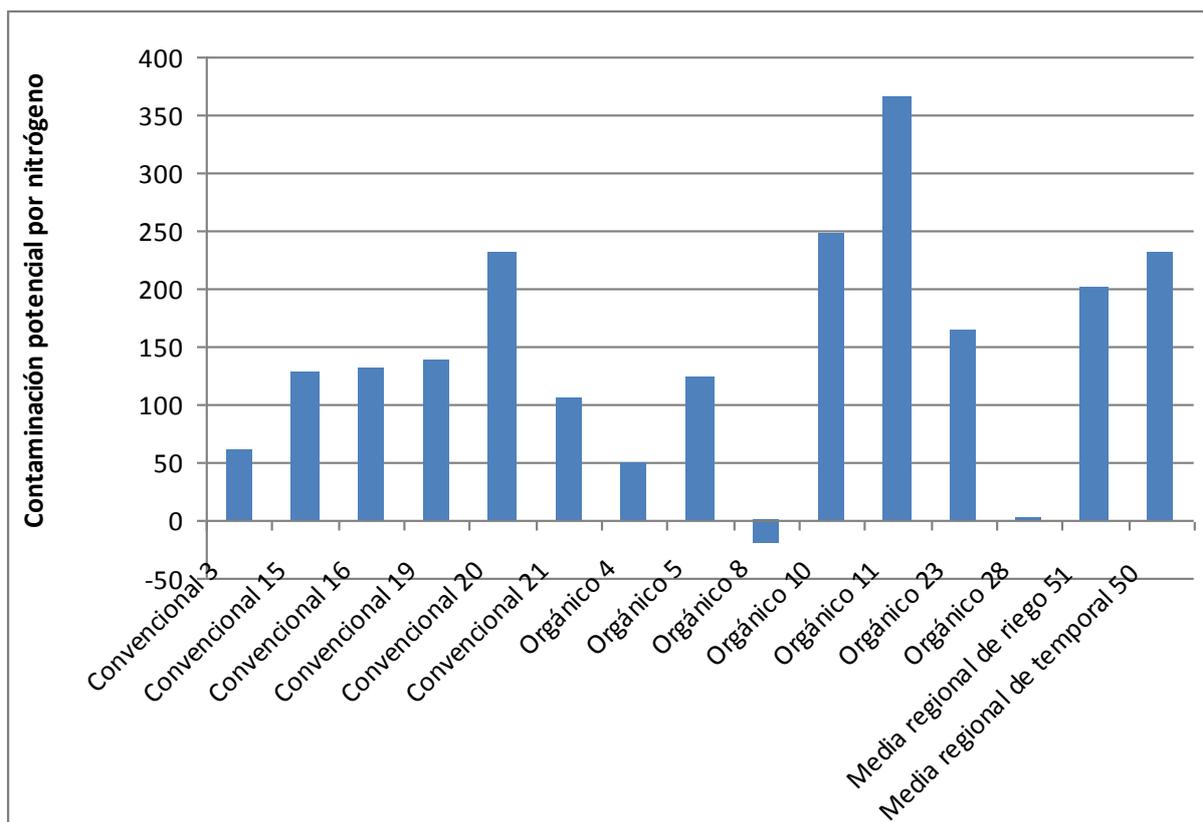
## **8. ÁREA 5: Contaminación de agua saliente.**

### **Indicador contaminación potencial por nitrógeno**

Éste indicador se calculó a partir del balance de nitrógeno el cual es la diferencia entre la cantidad de nitrógeno que entra al sistema (fertilizantes y abonos) y la cantidad de nitrógeno que sale como fruta y pérdida de suelo (erosión). El balance indica si el nutriente se encuentra de manera deficitaria, en equilibrio -se extrae lo mismo que lo que se invierte- o, en exceso. La sobrefertilización ocurre cuando un nutriente, como por ejemplo el nitrógeno, excede lo que requiere un cultivo para su productividad óptima (Weinbaum et al., 1992). Este proceso trae consigo cantidades elevadas de nitratos residuales en el suelo lo cual potencialmente contribuye a la lixiviación y desnitrificación.

El nitrógeno lixiviado alcanzará eventualmente cuerpos de agua contaminándolos y la desnitrificación significa producir un gas de efecto invernadero que es de óxido nitroso. Además, la sobre-fertilización acarrea reducciones en la productividad y en la calidad de la fruta porque se efecta de manera directa (con el exceso de nitrógeno) e indirecta (con exceso de sombreado) a la floración, el crecimiento y el tipo de frutos debido al vigor vegetativo del árbol (Weinbaum et al., 1992).

Un valor demasiado grande de balance de nitrógeno significa que hay un excedente de este elemento que puede generar contaminación en suelo y agua (Figura 40). Debido a que la producción intensiva de frutas requiere el uso de fertilizantes, el desafío es suministrar cantidades adecuadas de nutrientes para mantener altos rendimientos de fruta de calidad, evitando excesos que puedan conducir a la contaminación ambiental, especialmente de las aguas subterráneas.



**Figura 40.** Contaminación potencial por Nitrógeno en huertas convencionales y orgánicas.

### Contaminación medida directamente en las huertas

Se extrajo mensualmente el líquido lixiviado del suelo por medio de un sistema enterrado a 30 cm por debajo del nivel del suelo e instalado en la misma trampa de recolección de suelo. Se añadieron 5 ml de ácido clorhídrico al garrafón para prevenir el crecimiento microbiano. Se colectó el lixiviado y se refrigeró hasta su análisis de contenido nitratos, fosfatos y pesticidas. Previo al análisis las muestras se filtraron a través de membranas de 0.45 micras. Se seleccionaron las muestras de doce huertas, seis orgánicas y seis convencionales con tres jóvenes y tres maduras dentro de cada tipo de manejo, para hacer los análisis de contaminación, por limitaciones de personal y presupuesto que no permitieron analizar las 28 huertas con trampa. Las muestras de tres sitios de bosque se analizaron también como referencia.

Se utilizaron dos métodos para analizar el contenido de nitratos y fosfatos en las muestras, el kit con el método de HACH y el desarrollo de color en el laboratorio con lectura en autoanalizador como se explicó en las determinaciones de suelos.

Para determinar el contenido de pesticidas se juntaron las muestras almacenadas de las colectas mensuales, más la de un riego artificial deliberado para conseguir el galón requerido por el laboratorio externo (CIATEC, Guanajuato) para hacer un barrido de plaguicidas y otros compuestos por cromatografía de gases.



**Figura 41.** Sistema de recolección de lixiviados en la base de la trampa de erosión.

Lista de pesticidas y compuestos determinados en los análisis de lixiviados basado en el método EPA 8270

**Pesticidas incluidos en el barrido (microgramos por litro):**

- Hexaclorobenceno
- o-cresol
- m-cresol
- p-cresol
- 2,4-dinitrotolueno
- Hexacloroetano
- Nitrobenzeno
- 2,4,5 triclorofenol
- Pentaclorofenol
- Clordano
- Endrín
- Heptacloro
- Heptacloroepóxido
- Lindano
- Metoxicloro
- Toxafeno
- Hexacloro-1,3-butadieno

**Otros**

- Presencia de Tripropilenglicol
- Presencia de alcohol bencílico
- Fenol (microgramos por litro)

**Tabla 5.** Análisis de contaminación en el agua saliente colectada del sistema de recolección de lixiviados instalado bajo el suelo de la trampa de erosión.

Folio	Manejo	HACH	HACH	Autoana	Autoana	Presencia	Presencia	Fenol
		kit	kit	lizador	lizador	Pesticidas	Tripropilen glicol	microg /L
		Nitratos	Fosfatos	Nitratos	Fosfatos			
1	Bosque	1.3	0.37	1.67	0.09	no	no	no
6	Bosque	1.1	-0.31	0.26	-0.13	no	no	no
26	Bosque	0.2	-0.15	1.07	-0.05	no	no	no
3	Convencional	2	-0.13	0.91	-0.01	no	si	no
9	Convencional	0.1	-0.35	-0.25	-0.29	no	si	7.69
13	Convencional	-2	-0.24	0.05	0.05	no	si	12.98
15	Convencional	5.5	-0.38	-0.60	0.01	no	si	4.19
16	Convencional	-0.8	0.01	0.68	-0.11	no	si	no
21	Convencional	1	-0.03	1.70	0.02	no	si	37.32
4	Organico	-3	-0.45	0.31	-0.30	no	si	219.73
7	Organico	-2	-0.4	1.08	-0.30	no	si	no
8	Organico	12.1	-0.27	1.07	-0.07	no	si	no
10	Organico	4.6	-0.09	0.67	-0.01	no	si	20.89
25	Organico	-0.1	-0.33	1.20	-0.09	no	si	no
28	Organico	1.10	0.69	0.72	0.11	no	si	5.74

Un problema que vale la pena mencionar es que la medición de lixiviados, al no ser de un sistema dinámico en el que el agua corre continuamente, sino de un reservorio estático con potencial de crecimiento microbiano (a pesar del ácido añadido para evitarlo), es de valor limitado. Dado que resultaba imposible colectar lixiviados inmediatamente después de cada lluvia en todas las huertas, existe la posibilidad de que hayan ocurrido alteraciones en los garrafones de colecta en el tiempo que pasó entre el escurrimiento y las determinaciones.

Se presentaron algunas inconsistencias en las determinaciones de nitratos y fosfatos hechas con dos métodos, uno más rápido de baja resolución (HACH) que se usó con muestras recién colectadas y el método del autoanalizador, que es más preciso, con muestras congeladas. Aún así, en la mayoría de las muestras se detectaron niveles muy bajos, incluso negativos, de nitratos y fosfatos al restar los valores blanco del agua usada para el riego. Considerando las diferencias entre los métodos y los factores de error mencionados, se decidió considerar que no había contaminación por nitratos y fosfatos en las muestras colectadas, a reserva de que en el futuro podamos encontrar una manera de colectar y analizar inmediatamente el agua lixiviada después de una lluvia para reducir el riesgo de alteraciones.

De la misma manera, no se encontraron restos de pesticidas en el barrido que mide principalmente compuestos organoclorados. Para estas muestras se juntaron muestras de las colectas mensuales con un riego artificial extra para juntar el galón requerido para el análisis y se hizo una sola determinación para toda la temporada de lluvias por el alto costo de los análisis. Sin embargo, los resultados mostraron la presencia de otros contaminantes derivados de las sustancias adherentes que se usan para las aspersiones foliares, tripropilenglicol y fenol, y en una huerta además alcohol bencílico.

El tripropilenglicol no se considera muy tóxico, aunque hay reportes de que es dañino para la vida acuática (Staples y Davies, 2002), porque se degrada rápidamente y en este caso no fue cuantificado, solamente se detectó su presencia en el agua. El fenol, en cambio, sí se cuantificó y se considera tóxico para varios organismos. En algunos países hay un límite máximo permitido de fenol y los valores encontrados en los lixiviados de las huertas estuvieron afortunadamente debajo del límite de 2560 microgramos por litro (EPA, 1980). La huerta 4, con el valor más alto medido de 220 microgramos por litro, fue la que quedó más cerca del límite permitido. Aunque ambos compuestos no se consideran muy peligrosos, no es deseable que se acumulen en los cuerpos de agua y aunque una huerta no tenga valores superiores al límite no significa que la contribución de varias huertas en zonas grandes con aguacate no llegue a ser contaminante, por lo que se recomienda poner atención a esta fuente de contaminación y sustituir los productos adherentes por alternativos que no contengan estas sustancias.

## **9. Construcción y selección de indicadores y análisis estadísticos**

### **Integración del grupo de mejores indicadores para todas las huertas**

Todas las variables medidas se analizaron con modelos univariados para ver si había diferencias significativas entre las zonas altitudinales, las edades de las huertas, o los tipos de manejo convencional y orgánico. La mayoría de las variables mostró diferencias entre las huertas pero muy pocas relacionadas con las zonas altitudinales, las edades de las huertas, o los tipos de manejo convencional y orgánico, por la gran variación entre las huertas. Se seleccionaron las variables en las que se encontraron mayores diferencias significativas entre huertas y bosques y con ellas se exploró el peso de las variables y la ubicación de las huertas y bosques respecto a las variables con mayor peso y que explicaron los mayores porcentajes de la varianza de los datos.

Los modelos multivariados (análisis de componentes principales) permitieron definir los grupos importantes de huertas para cada área de impacto ecológico. Se realizaron varios análisis con las variables más relevantes para cada indicador explorando las relaciones más fuertes que se encontraron y se eligieron solamente los indicadores de más peso en explicar la varianza encontrada en los datos (Bhardwaj et al., 2011). De entre ellos se seleccionaron una vez más los que se pueden medir de manera más sencilla, rápida y económica para conformar el grupo de datos mínimo para la evaluación de impacto ecológico con 15 indicadores.

En el área de suelos se consideraron siete indicadores, tres para erosión y cuatro para calidad del suelo:

- 1) erosión en peso que es la más cuantitativa y de mayor resolución,
- 2) erosión en cm que refiere si hay pérdidas considerables en algunas zonas específicas y vulnerables y
- 3) potencial erosivo, que se define en base al tipo de cobertura vegetal de la huerta, la cual demostró ser la mejor variable “proxy” para estimar fácilmente la erosión.
- 4) pH bajo la copa, que fue alterado hacia la acidez o hacia la alcalinidad por la fertilización de los árboles
- 5) amonio bajo la copa, que se redujo considerablemente con la fertilización en exceso de casi todas las huertas
- 6) nitratos bajo la copa, que aumentaron considerablemente con la fertilización en exceso de casi todas las huertas
- 7) ortofosfatos bajo la copa, que aumentaron considerablemente con la fertilización en exceso de casi todas las huertas

En el área de biodiversidad se consideraron cuatro indicadores, dos de plantas y dos de visitantes florales

- 8) Riqueza total de plantas como medida global del capital natural de la huerta
- 9) Cociente dicotiledóneas/monocotiledóneas, que evidencia los cambios inducidos por el manejo hacia especies más ruderales
- 10) Riqueza de visitantes florales como medida global del capital natural de la huerta
- 11) Riqueza de acarreadores de polen de aguacate como medida del buen uso y manejo del capital natural

En el área de agua, se usó el valor final de eficiencia determinado

- 12) Productividad de agua de riego

En el área de energía, se usó el valor final de eficiencia determinado

- 13) Eficiencia energética

En el área de contaminación de agua saliente se usó un valor calculado con la información de las encuestas y un valor medido

- 14) Contaminación potencial por nitrógeno
- 15) Contaminación de agua saliente, de cualquier tipo (nutrientes, pesticidas u otros)

También se realizó un análisis global con todos los indicadores para ver si había grupos de huertas parecidas que nos definieran una tipología general de las huertas.

**Tabla 6.** Grupo de mejores indicadores ambientales obtenidos para la evaluación de impacto ecológico.

ÁREA	INDICADOR	No.
Suelos	Erosión (trampa)	1
	Erosión (estacas)	2
	Potencial erosivo	3
	pH copa	4
	Amonio copa	5
	Nitratos copa	6
	Ortofosfatos copa	7
Biodiversidad	Riqueza de hierbas	8
	Cociente dicotiledóneas/monocotiledóneas	9
	Visitantes florales	10
	Acarreadores de polen	11
Agua	Productividad del agua de riego	12
Energía	Eficiencia energética	13
Contaminación	Contaminación potencial por nitrógeno	14
	Contaminación de agua saliente	15

## 10. Integración de los diagnósticos de cada huerta

La información generada por medio de la revisión de bibliografía, las encuestas aplicadas y las mediciones directas de indicadores se analizó y sintetizó para establecer el diagnóstico de fortalezas y debilidades de impacto ecológico de cada tipo de productor. Todos los indicadores evaluados se reportaron con sus valores directos y con un código de cuatro categorías/colores representando el estatus de cada indicador (muy bien, bien, regular y mal) se construyó una gráfica de amiba mostrando el resultado global de los indicadores. Se le dio peso a establecer las prioridades que cada tipo de productor debe atender para disminuir el impacto ecológico en su parcela. Con esta información lista se integró el diagnóstico de cada huerta cooperante y se le entregó y explicó a cada productor, para discutir con él (la) posibles acciones correctivas para mejorar los indicadores negativos.

### Bases para la integración del diagnóstico

La integración de la información diagnóstica que permitió derivar los indicadores ambientales se realizó por medio de la comparación y referenciación de los datos obtenidos en cada parcela y en los bosques. En el caso de los indicadores de la calidad de suelo la comparación se llevó a cabo entre la información arrojada por las muestras de suelo recolectadas abajo del dosel y el suelo en las calles. El indicador está ilustrado por medio de una gama de colores que representan el estado del recurso en cuestión.

De esta manera, todos los indicadores tienen un valor y un código de color que indica cómo se encuentra según la evaluación y en cada caso se explica cuales valores se usaron como referencia. Se determinó el estatus dividiendo el valor medido en la huerta entre el valor de referencia, considerando que el valor de

referencia era el 100%. Dependiendo del indicador el valor obtenido puede estar arriba o abajo del 100%.

### Integración global del diagnóstico de la huerta

- verde oscuro= muy bien.
- verde claro= bien.
- naranja= regular, requiere atención.
- rojo= deficiente, requiere acción correctiva.

Utilizamos la guía de colores de los indicadores para no confundir los indicadores en los que un valor más alto es mejor (biodiversidad, amonio, materia orgánica, eficiencia en uso de energía, por ejemplo) y los indicadores en los que un valor bajo es mejor (erosión, nitratos, ortofosfatos, por ejemplo). Por lo tanto, en biodiversidad un valor 4, verde oscuro significa que hubo una biodiversidad alta y en erosión un valor 4, verde oscuro significa que hubo una erosión muy baja.

- verde oscuro= 4
- verde claro= 3
- naranja= 2
- rojo= 1

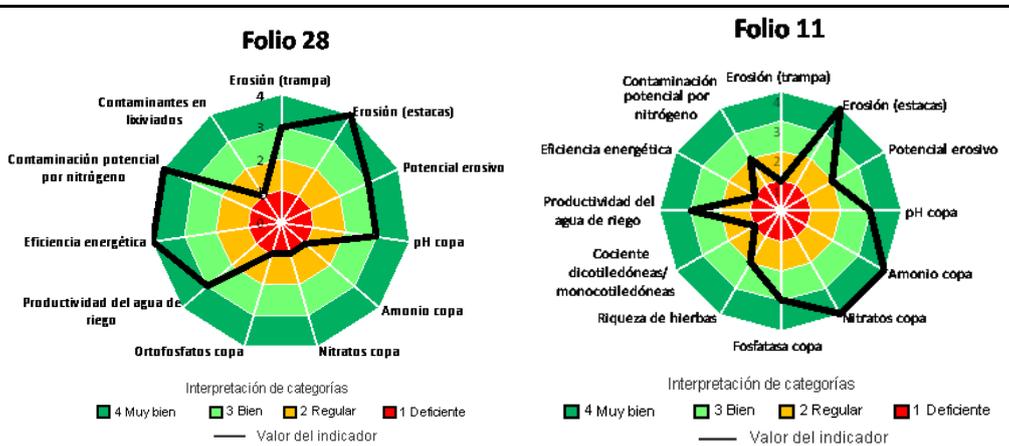
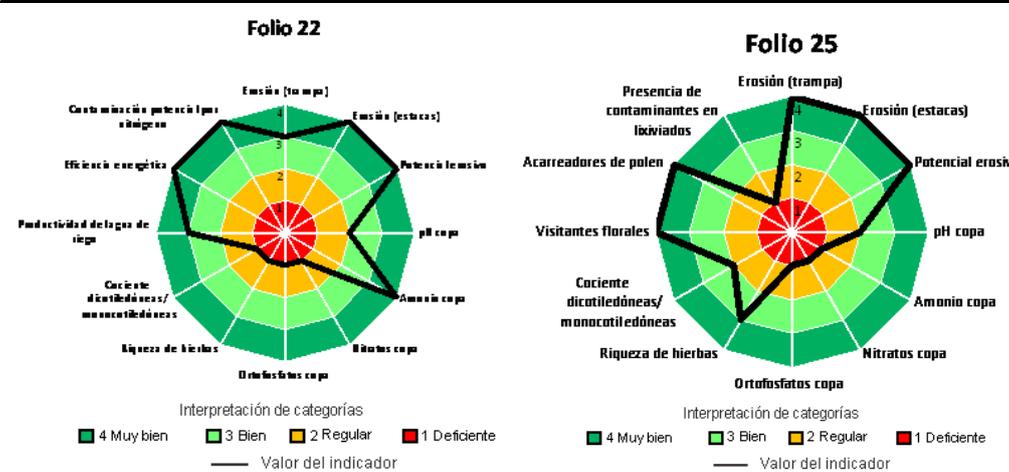
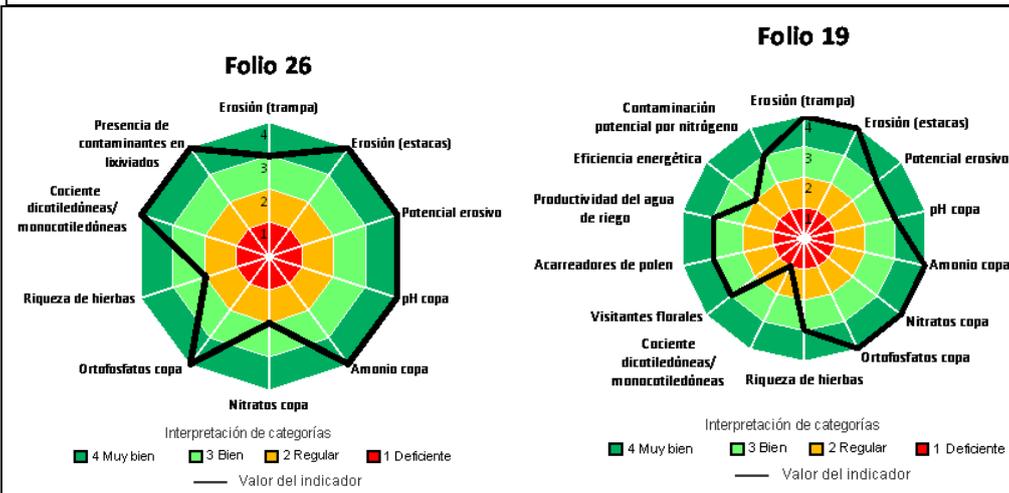
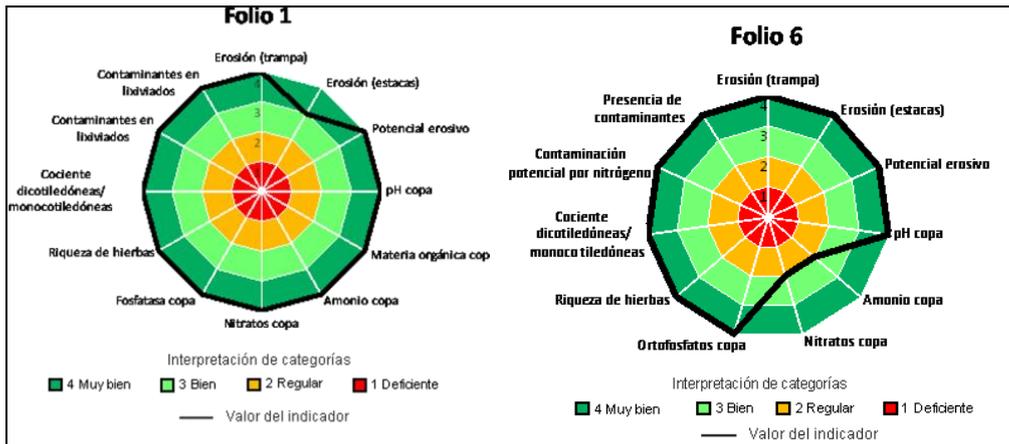
No todos los parámetros fueron medidos en todas las huertas y no todos los parámetros medidos se encuentran graficados en la amiba, solamente los que mostraron mayores diferencias significativas entre los sitios muestreados y que fueron elegidos como mejores indicadores del impacto ecológico.

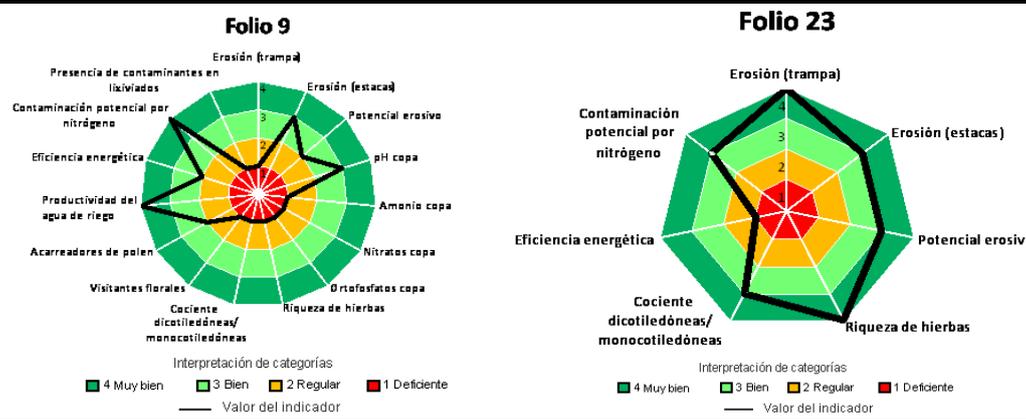
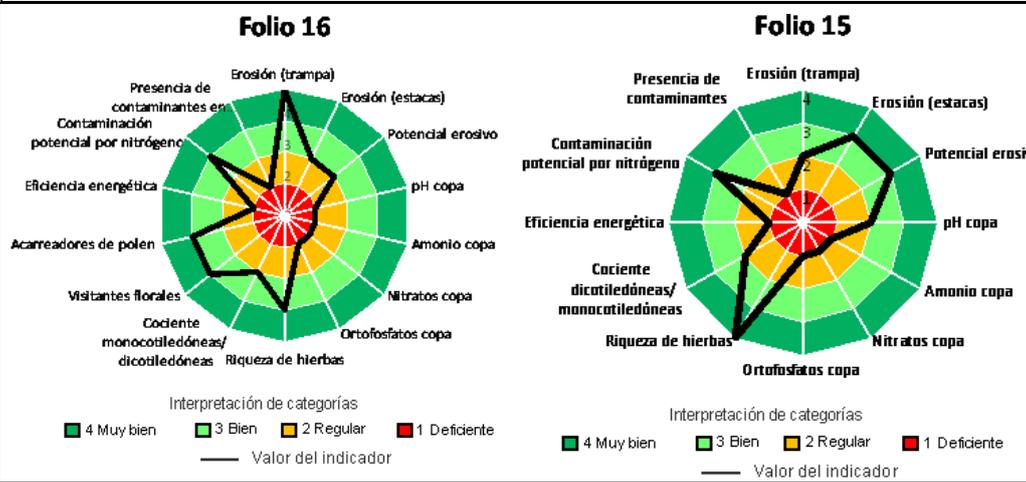
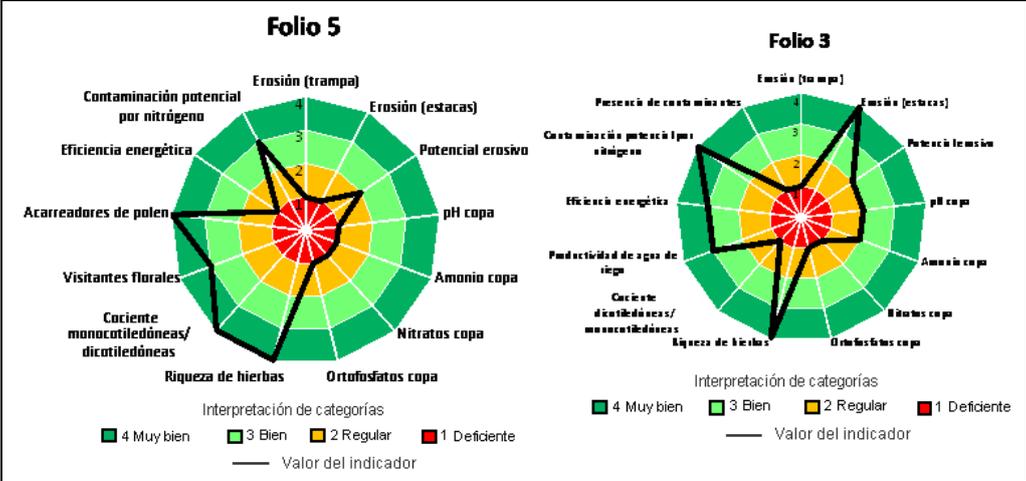
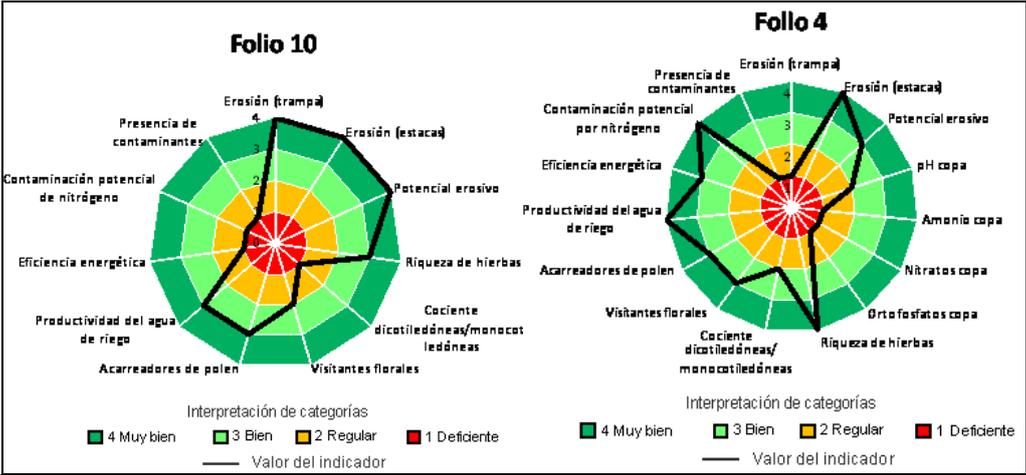
**Tabla 7.** Ejemplo de la síntesis de los indicadores ambientales obtenidos para una huerta.

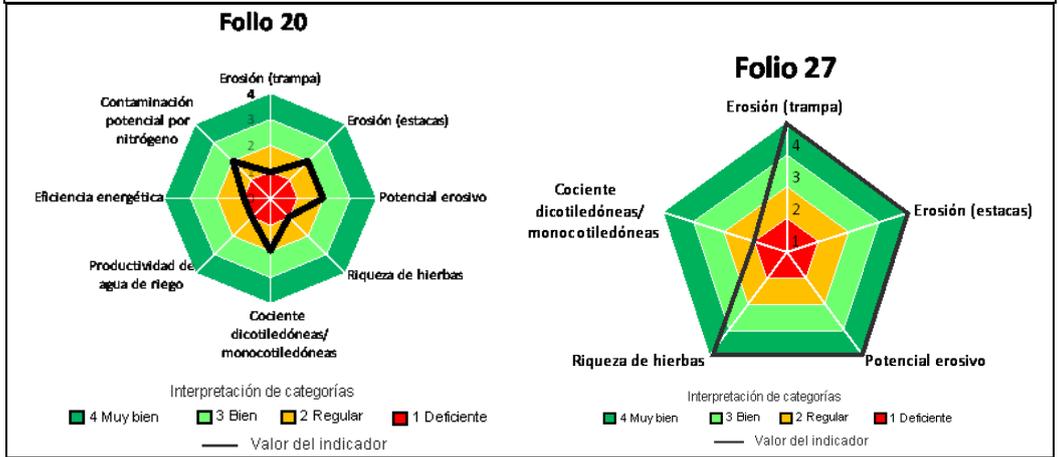
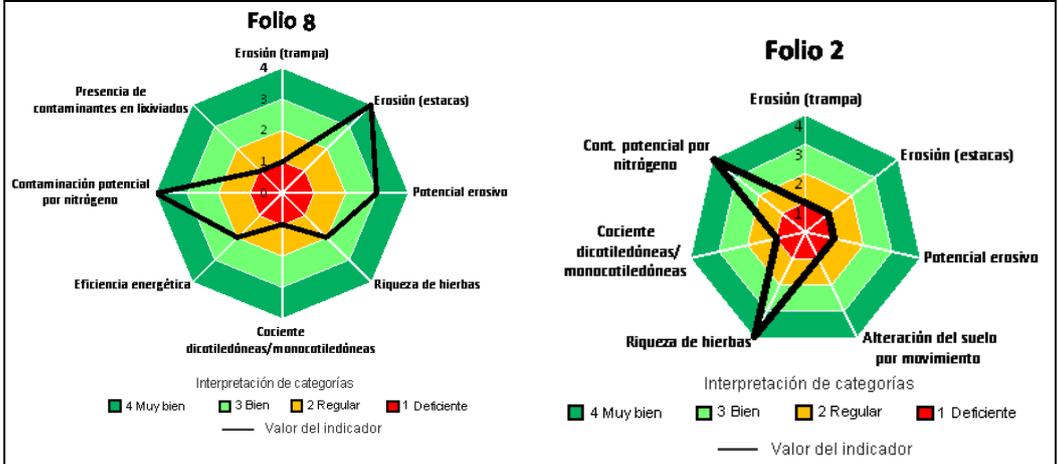
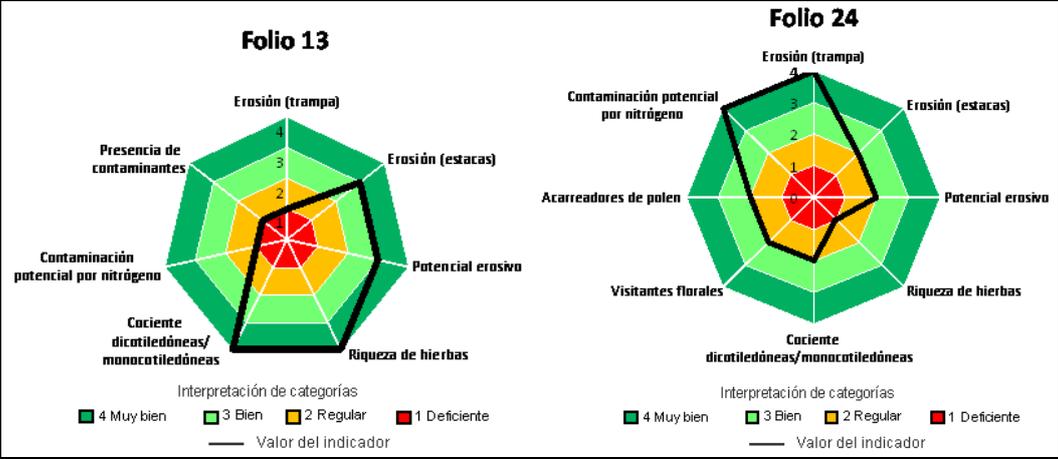
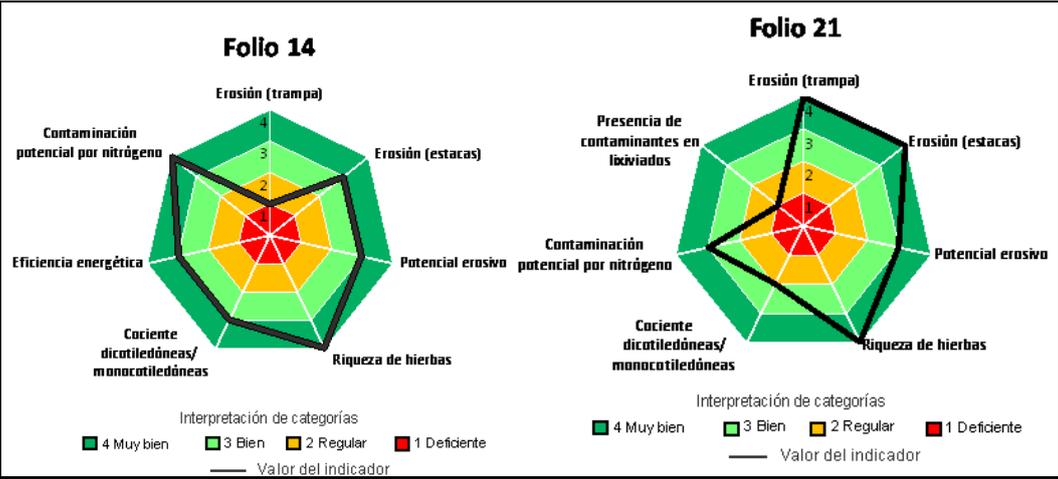
ÁREA	INDICADOR	No.	VALORACIÓN
Suelos	Erosión (trampa)	1	4
	Erosión (estacas)	2	4
	Potencial erosivo	3	3
	pH copa	4	3
	Amonio copa	5	4
	Nitratos copa	6	4
	Ortofosfatos copa	7	4
Biodiversidad	Riqueza de hierbas	8	3
	Cociente monocotiledóneas/dicotiledóneas	9	1
	Visitantes florales	10	3
	Acarreadores de polen	11	3
Agua	Productividad del agua de riego	12	3
Energía	Eficiencia energética	13	2
Contaminación	Contaminación potencial por nitrógeno	14	3
	Contaminación de agua saliente	15	1

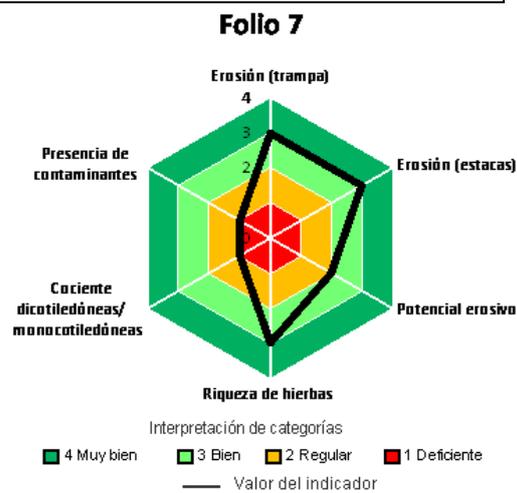
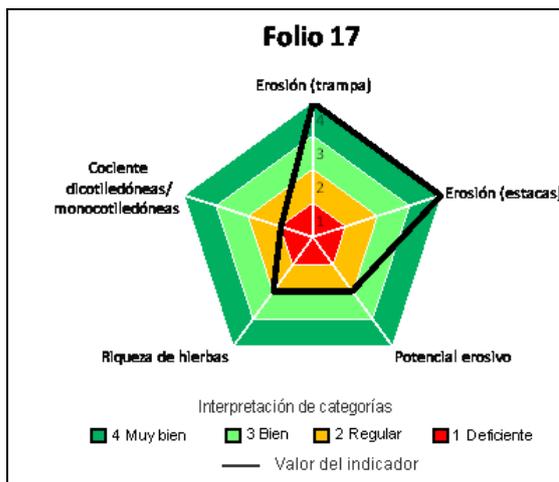
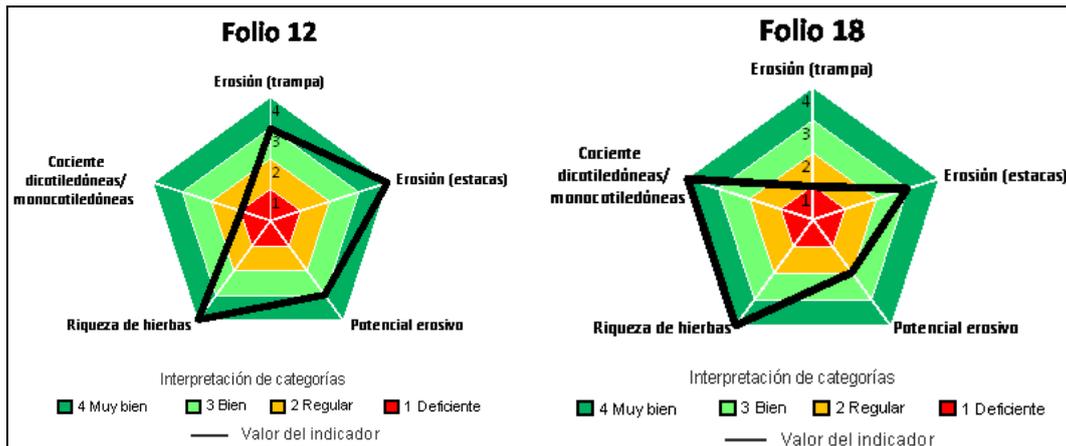
En las gráficas de amiba que se construyeron con la guía de colores se pueden apreciar las áreas en las que la huerta se encuentra bien y las que requieren atención. Como se explicó, los recursos del proyecto no nos permitieron evaluar todo en todas las huertas y por eso hay amibas con pocos ejes (pocos indicadores).

Las amibas que se muestran a continuación permiten visualizar el estado de los bosques (los tres primeros, 1, 6 y 26), que no son perfectos en todo porque los valores individuales algunas veces estuvieron arriba y a veces abajo del promedio pero sí son los de las amibas más completas en indicadores en verde y en adelante las huertas acomodadas en orden ascendente de impacto ecológico.









## 10. Conclusiones y recomendaciones

Las dos huertas con menor impacto ecológico fueron una convencional (folio 19) y una orgánica (folio 22), lo cual nuevamente ilustra que lo importante es el manejo específico de la huerta.

Los problemas principales detectados en mayoría de las huertas (ver Anexo 1 con todos los diagnósticos completos) fueron

- 1) problemas de erosión
- 2) baja calidad del suelo por exceso de fertilización
- 3) pérdida de riqueza de plantas y sobretodo de dicotiledóneas
- 4) pérdida de riqueza de visitantes florales y acarreadores de polen
- 5) baja eficiencia energética, sobretodo en fertilización y control de plagas
- 6) contaminación del agua saliente con derivados de los adherentes de las aspersiones foliares

Estos problemas se pueden simplificar a su vez en tres problemas principales, porque algunos de ellos están relacionados:

- 1) erosión
- 2) exceso de fertilización

### 3) mal manejo de la cobertura del suelo

Estos resultados se presentaron a los productores y la mayoría estuvieron muy interesados en conocer la evaluación de sus huertas y en mejorar los indicadores que salieron negativos. Se discutió y planeó con ellos la implementación de prácticas alternativas en sus huertas.

Dado que se encontró una relación inversa entre la erosión del suelo y la cobertura de herbáceas y una relación positiva de las dicotiledóneas con los polinizadores del aguacate se recomendó aumentar la cobertura y composición de herbáceas en las huertas tanto proteger el suelo como para solucionar los problemas de baja diversidad.

Un conflicto potencial e importante de mencionar es que los productores con problemas de erosión y pérdida de biodiversidad en sus huertas, a los que se les sugirió aumentar la cobertura de las hierbas y reducir los cortes y los herbicidas, mencionaron que son obligados por los inspectores de Sanidad Vegetal a cortar al ras las hierbas para autorizarles el corte de la fruta. Esta medida, que algunos dicen deriva de las exigencias de las autoridades de Sanidad de los Estados Unidos y otros dicen que es una medida impuesta que no es ninguna exigencia externa, claramente interfiere con las posibilidades de usar mejores prácticas para reducir erosión y aumentar biodiversidad (por lo tanto servicios relacionados con polinización y control de plagas naturales). Como parte del trabajo posterior hará falta aclarar y resolver este conflicto ya que de otra manera no se podrán resolver los problemas detectados en las huertas.

Para resolver los problemas de baja calidad del suelo, baja eficiencia energética y contaminación por exceso de fertilización se acordaron experimentos de reducción y tipos alternativos de fertilización en pequeñas áreas de las huertas.

En aquellas huertas en las que se detectaron los adherentes en el agua saliente, se acordó revisar las fórmulas de aplicación para buscar productos alternativos que no contengan esas sustancias.

Con la participación de los productores se ubicaron las prácticas alternativas más viables a implementar y evaluar directamente en las parcelas experimentales en las que se trabajará en el segundo año y en las que académicos, técnicos y productores trabajarán en conjunto. Este grupo de indicadores se continuará monitoreando y validando durante la segunda etapa del proyecto para constituir la base del Programa de monitoreo permanente de impacto ecológico que propondremos.

En un taller global de los tres subproyectos con las asociaciones de productores y/o sus representantes se les comunicará el resultado global del diagnóstico y se les sugerirán a todos (no solo a los productores cooperantes) las áreas prioritarias de atención dependiendo del tipo de huerta y producción que manejen.

Cabe señalar que este proyecto se realizó en una sola región de la franja aguacatera, que incluye varios climas y tipos de suelo (Gutiérrez-Contreras et al.,

2010), y que los problemas detectados no necesariamente aplican o tienen la misma relevancia en todas partes.

## 11. Referencias

- Abbona, E. A., Sarandón, S. J., Marasas M.E., Astier M., 2007. Ecological sustainability evaluation of traditional management in different vineyard systems in Berisso, Argentina. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 119(3-4): 335-345.
- Aizen, M. (2007) Enfoques en el estudio de la reproducción sexual de las plantas en ambientes alterados: limitaciones perspectivas. *Ecología Austral* 17, 7-19.
- Alcaraz, M. and J. I. Hormaza. 2009. Selection of potential pollinizers for [] Hass' avocado based on flowering time and male-female overlapping. *Scientia Horticulturae* 121:267-271.
- Andrews SS, Carroll CR. 2001. Designing a soil quality assessment tool for sustainable agroecosystem management. *Ecological Applications* 11, 1573-1585.
- Ashwort, L., Quesada, M., Casas, A., Aguilar, R., Oyama, K (2009) Pollinator dependent food production in Mexico. *Biological Conservation*, 142, 1050–1057.
- Astier M., González E.C., 2008. Formulación de indicadores socio-ambientales para evaluaciones de sistemas de manejo complejos.
- Astier M. A., Y. Galván-Miyoshi y O. R., Masera.2008. Evaluación de Sustentabilidad. Un enfoque dinámico y multidimensional. SEAE, CIGA, CIEco, UNAM, GIRA, Fundación Instituto de Agricultura Ecológica y Sustentable y Mundiprensa, España. (ISBN 978-84-612-5641-9).
- Avilán Rovira, L., Chirinos A.V., Figueroa M., 1978. Exportación de nutrientes por una cosecha de aguacate (*Persea americana* Mill). *Agronomía Tropical*. 28(5): 449-461.  
[http://sian.inia.gob.pe/repositorio/revistas\\_ci/Agronomia%20Tropical/at2805/arti/avilan\\_l.htm](http://sian.inia.gob.pe/repositorio/revistas_ci/Agronomia%20Tropical/at2805/arti/avilan_l.htm)
- Baillieux, P., and A. Scharpe (1994) 'Organic Farming', in Green Europe (European Commission, February 1994).
- Barcenas Ortega, A.E., y S. Aguirre Paleo. 2005. *Pasado presente y futuro del aguacate en Michoacan, Mexico*. Morelia, Michoacan: Universidad Michoacana de San Nicolas de Hidalgo.
- Barsimantov y Navia, 2008. Documento in extenso de la Conferencia "Land use and land tenure change in Mexico's avocado production region: Can community forestry reduce incentives to deforest for high value crops? Governing Shared Resources: Connecting Local Experience to Global Challenges, the Twelfth Biennial Conference of the International Association for the Study of Commons" Cheltenham, England, 14-18 Julio, 2008.  
<http://dlc.dlib.indiana.edu/dlc/handle/10535/2034>
- Flores J.S. y Álvarez-Sánchez J. 2004. "Flora y vegetación". en: F. Bautista-Zúñiga y H. Delfín (eds.) Técnicas de muestreo para el estudio del manejo de recursos naturales. México: unam / ine / uady. Pp 303-342
- Bhardwaj AK, Jasrotia P, Hamilton SK, Robertson GP. 2011. Ecological management of intensively cropped agro-ecosystems improves soil quality with sustained productivity. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 140, 419-429.
- Blanche, R., Ludwig, J. A., Cunningham, S. A. (2006) Proximity to rainforest enhances pollination and fruit set in orchards. *Journal of Applied Ecology* 43, 1182–1187.
- Bravo Espinoza, M. 2009. Impactos ambientales y socioeconómicos del cambio de uso del suelo forestal a huertos de aguacate en Michoacán. Publicación Especial Nro 2. INIFAP, Campo Experimental Uruapan, 78 pp.

Bravo-Espinosa, M., Fregoso-Tirado, L.E., Medina-Orozco L.E., 2006. Parámetros de erosionabilidad del modelo Wepp para andosoles con uso pecuario en la cuenca del lago de Pátzcuaro, Michoacán Tec Pecu Mex 44(1):129-141.

Broadbent, F. 1981. Methodology for nitrogen transformation and balance in soil. *Plant and Soil* **58**:383-399.

Cabezas, C., Hueso, J.J., Cuevas, J (2003) Identificación y descripción de los estados fenológicos tipo del aguacate (*Persea Americana Mill.*). *Proceedings World Avocado Congress V*, 237-242.

Can, C., Quezada, J. J., Xiu, P., Moo, H., Valdovinos, G. R., Medina, S (2005) Pollinators of criollo avocados (*Persea americana*) and the behavior of associated bees in subtropical México. *Journal of Apicultural Research*, **44**, 3–8.

Castañeda, A., Equihua, A., Valdés, J., Barrientos, A. F., Ish-Am, G., Gazit, S. (1999) Insectos polinizadores del aguacatero en los estados de México y Michoacán. *Revista Chapingo, Serie Horticultura* **5**, 129-136.

COMA. 2007. Ponecia presentada sobre el desarrollo frutícola sustentable. Conferencia presentada en el Seminario sobre Desarrollo Forestal y Frutícola Sustentable, Universidad Don Vasco, Uruapan, Mexico. (Citado en Barsimantov y Navia, 2007).

CONAGUA. 2008 Plan Nacional Hídrico 2007-2012. SEMARNAT, México.

Cortes-Flores, JI, Yopez-Torres, JE, Etchevers-Barra, JD, Teliz-Ortiz, D (1993). Distribution and nutritional state of avocado cv. Fuerte treated against *Phytophthora cinnamoni* Rands. *Revista Mexicana de Fitopatología* 11(1): 107-112.

Davenport, T. L. (2003). Evidence for wind-mediated, self and cross pollination of Hass avocado trees growing in Mediterranean environments. *Proceedings World Avocado Congress V*. 221-226.

Durán Zuazo, V.H., Aguilar Ruiz, J., Martínez Raya A., Franco Tarifa, D. Impact of erosion in the taluses of subtropical orchard terraces. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 107 (2005) 199–210.

Eardley, C. D., Mansell, M. W (1996) The natural occurrence of insect pollinators un an avocado orchard. *South African Avocado Growers Association Yearbook*, **19**, 36-38.

EPA (Environmental Protection Agency, USA). 1980. Ambient water quality criteria for control. US-EPA 440/5-80-066.

FiBL 2000 Organic farming enhances soil fertility and biodiversity Results from a 21 year old field trial (Dossier N° 1) <https://www.fibl-shop.org/shop/pdf/do-1090-doc.pdf>

FIRA 2007. Dirección de Consultoría en Agronegocios Dirección Regional de Occidente Residencia Estatal Michoacán. AGUACATE Análisis de Rentabilidad del Ciclo 2006-2007 y Costos de Cultivo para el Ciclo 2007-2008

Octubre de 2007. <http://www.fira.gob.mx/SAS/Docs/InformacionSectorial>

Funt, 1980 R.C. Funt, Energy use in low, medium, and high density apple orchards—Eastern U.S.. In: D. Pimentel, Editor, *Handbook of Energy Utilization in Agriculture*, CRC Press, Boca Raton, FL (1980), pp. 235–246.

Gabriel, D., Tschardtke, T (2007) Insect pollinated plants benefit from organic farming. *Agriculture, Ecosystems and Environment* **118**, 43–48.

- Gómez, J. M. (2002). Generalización en las interacciones entre plantas y polinizadores. *Revista Chilena de Historia Natural* **75**, 105-116.
- Goulson, D. (2003) Effects of introduced bees on native ecosystems. *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematic*, **34**, 1-26.
- Gutiérrez-Contreras M, Lara-Chávez MBN, Guillén-Andrade H, Chávez-Bárcenas AT. 2010. Agroecología de la franja aguacatera en Michoacán, México. *Interciencia* 35, 647-653. <http://www.tecnicapecuaria.org.mx/publicaciones/publicacion04.php?IdPublicacion=568>
- Guzmán G.I., Alonso A.M., 2008. A comparison of energy use in conventional and organic olive oil production in Spain. *Agricultural systems* 98(3) 167-176
- Ish-Am, G. (1995). Quantitative approach to avocado pollination. *Proceedings of the World Avocado Congress III*, 46-51.
- Ish-Am, G. (2004). Avocado pollination basics, a short review. 2° Seminario Internacional de Paltos. Chile.
- Ish-Am, G., Eisikowitch, D. (1998). Low attractiveness of avocado (*Persea americana* Mill.) flowers to honeybees (*Apis mellifera* L.) limits fruit set in Israel. *Journal of Horticultural Science & Biotechnology* **73**, 195-204.
- Ish-Am, G., Gazit, S., Castañeda V.A., 2008. Insectos polinizadores del aguacate en los estados de México y Michoacán.. Documento Interno del Department of Horticulture. Faculty of Agriculture. The Hebrew University of Jerusalem y la Fundación Salvador Sánchez Colín, CICTAMEX, S.C.
- Janvier C, Villeneuve F, Alabouvette C, Edel-Hermann V, Mateille T, Steinberg C. 2007. Soil health through soil disease suppression: which strategy from descriptors to indicators?. *Soil Biology and Biochemistry* 39, 1-23.
- Kaltsas, A.M., Mamolos, A.P., Tsatsarelis, C.A., Nanos, G.D., Kalburtji, K.L., 2007. Energy budget in organic and conventional olive groves. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 122 (2), 243–251.
- Karlen DL, Mausbach MJ, Doran JW, Cline RG, Harris RF, Schuman GE. 1997. Soil quality: a concept, definition and framework for evaluation. *Soil Science Society of America Journal* 61, 4-10.
- Kevan, p. G. (1999). Pollinators as bioindicators of the state of the environment: species, activity and diversity. *Agriculture, Ecosystems and Environment* **74**, 373–393.
- Klein, A. M., Vaissiere, B., Cane, J. H., Dewenter, S., Cunningham, S. A., Kremen, C., Tschartke, T. (2007). Importance of pollinators in changing landscapes for world crops. *Proceedings of the Royal Society* **274**, 303-313.
- Kremen, C., Williams, N. M., Aizen, M. A., Gemmill, B., LeBuhn, G., Minckley, R., Packer, L., Potts, S., Roulston, T., Dewnter, I. S., Vazquez, D. P., Winfree, R., Adams, L., Crone, E., Greenleaf, S. S., Keitt, T., Klein, A., Regetz, J., Ricketts, T. (2007) Pollination and other ecosystem services produced by mobile organisms: a conceptual framework for the effects of land-use change. *Ecology Letters*, **10**, 299-314.
- Kremen, C., Williams, N. M., Thorp, R. W. (2002) Crop pollination from native bees at risk from agricultural intensification. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, **99**, 16812–16816.

- Kulda, P., Peterson, K., Poltimea, H., Luig, J. (2009) An application of DPSIR framework to identify issues of pollinator loss. *Ecological Economics* **69**, 32-42.
- Lal R. 1998. Soil erosion impact on agronomic productivity and environment quality. *Critical reviews in Plant Sciences* **17**, 319-464.
- Lal R. 2001. Soil degradation by erosion. *Land Degradation & Development* **12**, 519-539.
- Lampkin, N. H., C. Foster, S. Padel and P. Midmore (1999) The policy and regulatory environment for organic farming in Europe. *Organic farming: Economics and Policy*, Vols. 1 & 2. University of Hohenheim, Stuttgart.
- Lockeretz W., 1980 Energy inputs for nitrogen, phosphorus and potash fertilizers. In: D. Pimentel, Editor, *Handbook of Energy Utilization in Agriculture*, CRC Press, Boca Raton, FL (1980), pp. 15–21.
- Lopez T.E., 2009. The influence of traditional steep land agricultural practices on runoff and soil loss *Agriculture, Ecosystems and Environment* (March 2009), **130** (1-2): 23-30.
- Lopez-Ridaura, S., Masera, O., Astier. M., 2002. Evaluating the Sustainability of Complex Socio-Environmental Systems. The Mesmis Framework. *Ecological Indicators* **2** (2002): 135-148.
- Magurran, A. E. 2004. *Measuring biological diversity*. Wiley-Blackwell.
- Masera, O.R., M. Astier y S. López. 1999. Sustentabilidad y manejo de recursos naturales: El Marco de evaluación MESMIS, *Mundiprensa-GIRA-UNAM*, México D.F. (2da. Impresión). (ISBN 968-7462-11-6).
- MEA (Millennium Ecosystem Assessment). (2005) Responses to Ecosystem Change and to Their Impacts on Human Well-Being. En: *Ecosystems and human well-being*. Island Press 86 pp.
- Menge, JA, Faber, B, Downer, J, Crohn, D (1999). Use of yard trimmings and compost on citrus and avocado. Compost demonstration project, Southern California. Integrated Waste Management Board: Sacramento, California. 36.
- Merwin, IA, Stiles, WC, van Es, HM (1994). Orchard groundcover management impacts on soil physical properties. *Journal of the American Society for Horticultural Science* **119**(2): 216-222.
- Mitham, P (1999). Cover crops can reduce costs and improve soils. *Good Fruit Grower* May 1.
- Murphy, J., and J.P. Riley. 1962. A modified single solution method for the determination of phosphate in natural waters. *Analytical Chemistry Acta* **27**: 31-36.
- Návar J., Synnott, T.J., 2000. Surface runoff, soil erosion, and land use in northeastern Mexico. 2000. *TERRA*. **18** (3): 247-253.
- Niggli, U, Weibel, FP, Potter, CA (1989). Weed control with organic mulches in apple orchards: effects on yield, fruit quality, and dynamics of nitrogen in soil solution. *Gartenbauwissenschaft* **54**(5): 224-232.
- Orozco R.Q., Astier M., 2007. Evaluación de sustentabilidad del Proyecto: Renovación de Plantaciones del Limón Mexicano y Tecnificación del Riego para el uso eficiente del agua Primer ciclo de evaluación Utilizando el marco MESMIS. Documento de Trabajo de GIRA # 39<sup>a</sup>.
- Pacini, C., Wossink, A. Giesen, G., Vazzana, C., Huirne, R. (2003) Evaluation of sustainability of organic, integrated and conventional farming systems a farm and field scale analysis. *Agriculture, Ecosystems and Environment* **95**, 273–288.

- Pimentel 2006 Impacts of Organic Farming on the Efficiency of Energy Use in Agriculture An Organic Center State of Science Review. The Organic Center pp 39. [http://organic.insightd.net/reportfiles/ENERGY\\_SSR.pdf](http://organic.insightd.net/reportfiles/ENERGY_SSR.pdf)
- Reganold J.P., J.D. Glover, P.K. Andrews and H.R. Hinman, 2001 Sustainability of three apple production systems, *Nature* **410** (2001), pp. 926–930
- Robertson, P.G., D.C. Coleman, C.S. Bledsoe, and P. Sollins. 1999. Standard soil methods for long-term ecological research (LTER). Oxford University Press, Oxford. 488 pp.
- Robichaud Peter R. P.R., Brown R.E., 2002. Silt Fences: An Economical Technique For Measuring Hillslope Soil Erosion. Forest Services. Rocky Mountain Research Station. General Technical Report RMRS-GTR-94. August 2002. United States Department of Agriculture., USA. pp.9.
- Roubik, D. W. (1995). Pollination of cultivated plants in the tropics. Food and agriculture organization of the United Nations, FAO. 195 p.
- Sánchez G.R., 2007 El cluster del aguacate de Michoacán. Desarrollo regional para el liderazgo global. Fundación Produce Michoacán. pp 241.
- Sánchez E.E. y M. Curetti 2009 Producción y Manejo Nutricional de Frutales de Clima Templado informaciones agronómica del Cono Sur # 44. Diciembre 2009 Instituto Internacional de Nutrición de Plantas [www.ipni.net](http://www.ipni.net)
- Sandoval-Pérez AL, Gavito ME, García-Oliva F, Jaramillo VJ. 2009. Carbon, nitrogen, phosphorus and enzymatic activities under different land uses in a tropical, dry ecosystem. *Soil Use and Management* **25**, 419-426.
- Sasser M (1990) Identification of bacteria by gas chromatography of cellular fatty acids. In: Klement Z., Rudolph K, Sands DC (eds) *Methods in Phytobacteriology Akademiai Kiado*. Budapest, pp.199-203.
- Simon S, Bouvier JC, Debras JF, Sauphanor B. 2010. Biodiversity and pest management in orchard systems. A review. *Agronomy and Sustainable Development* **30**, 139-152.
- Staples CA, Davies JW. 2002. An examination of the physical properties, fate, ecotoxicity and potential environmental risks for a series of polypropyleneglycol ethers. *Chemosphere* **49** (1), 61-73.
- Stolze, M., Piorr, A., Dabbert, S. (2000) *The Environmental Impacts of Organic Farming in Europe*. University of Hohenheim/Department of Farm Economics. Hohenheim. 127 pp.
- Stout, A. B. 1933 The pollination of avocados. University of Florida. Agricultural Experiment Station. *Bulletin* **257**. 44 pp.
- Stout, J., Morales, C. L. (2009) Ecological impacts of invasive alien species on bees. *Apidologie*, **40**, 388-409.
- Swezey, SL, Werner, MR, Buchanan, M, Allison, J (1998). Comparison of conventional and organic apple production systems during three years of conversion to organic management in coastal California. *American Journal of Alternative Agriculture* **13**(4): 162-180.
- Tabatabai, M.A. & Bremner, J.M. 1969. Use of *p*-nitrophenyl phosphate for assay of soil phosphatase activity. *Soil Biology and Biochemistry* **1**, 301-307.
- Tapia-Vargas LM, Larios-Guzmán A, Anguiano-Contreras J. 2009. Uso y manejo de agua y nutrición. En: *Tecnología para la producción de aguacate en México*. (Coria-Avalos, Ed.) INIFAP, Uruapan. Libro Técnico No. 8.

Tapia-Vargas LM, Larios-Guzmán A, Vidales I. 2009. El agua como recurso natural renovable y la cubierta vegetal en la zona aguacatera en Michoacán. Boletín El Aguacatero No. 28.

Téliz D. 2000. El aguacate y su manejo integrado. Ediciones Mundiprensa, México D.F. pp219.

Tilman, D. 1998. The greening of the green revolution. *Nature* **396**, 211-212.

Tscharntke, T., Vidal, S. (2005) Farming systems and landscape context: effects on biodiversity and biocontrol Dissertation zur Erlangung des Doktorgrades an der Fakultät für Agrarwissenschaften de Georg-August-Universität Göttingen vorgelegt von Indra Roschewitz geboren in Stadtoldendorf, Göttingen 152 pp.

Vanwalleghem T., Laguna A., Giradles J.V., Jiménez-Hornero F.J., 2010. Applying a simple methodology to assess historical soil erosion in olive orchards *Geomorphology* 114(3):294-302.

Waldrop, M.P., Firestone, M.K. 2006. Seasonal dynamics of microbial community composition and function in oak canopy and open grassland soils. *Microbial Ecology* 52, 470-479.

Walkley, A. and 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.

Waser N. M., Chittka L., Price M.V., Williams N.M. & Ollerton J. (1996) Generalization in pollination systems, and why it matters. *Ecology*, **77**, 1043-1060.

Weinbaum S.A. R.S. Johnson y T.M. DeJong. 1992. Causes and consequences of overfertilization in orchards. *Hort.Tech.* 2:112-121.

Wischmeier WH, Smith DD. 1978. Predicting rainfall erosion losses. A guide to conservation planning. USDA-ARS Agricultural handbook No. 537. Washington DC. 58 pp.

Wittmann, D., Martius, C., Holm-Muller, K. 2007. Bee pollinators and economic importance of pollination in crop production: case of Kakamega, western Kenya. Rheinischen Friedrich Wilhelms-Universität, Kenia. 152 pp.

Youlton C, Espejo P, Biggs J, Norambuena P, Cisternas M, Salgado E. 2010. Quantification and control of runoff and soil erosion on avocado orchards on ridges along steep-hillslopes. *Ciencia e Investigación Agraria* 37, 113-123.

Anexo 1.

Este anexo contiene los reportes individuales de las huertas evaluadas, los cuales fueron entregados a los productores, con los que se discutieron las dudas y los detalles de la evaluación, además de posibles mejoras en las prácticas de las huertas.

Anexo 2. Lista de entrega de reportes y fotos

Anexo 3. Guías de plantas y polinizadores

Anexo 4. Encuesta



