



COLEGIO DE POSTGRADUADOS

INSTITUCION DE ENSEÑANZA E INVESTIGACIÓN EN CIENCIAS AGRÍCOLAS

CAMPUS PUEBLA

POSTGRADO EN ESTRATEGIAS PARA EL DESARROLLO AGRÍCOLA REGIONAL

EFFECTO DE LA BIOTA EDÁFICA EN LA FERTILIDAD DEL SUELO EN EL SISTEMA MILPA INTERCALADA CON ÁRBOLES FRUTALES (MIAF)

DIONICIO JUÁREZ RAMÓN

T E S I S

**PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL
PARA OBTENER EL GRADO DE**

DOCTOR EN CIENCIAS

PUEBLA, PUEBLA

2012



COLEGIO DE POSTGRADUADOS

INSTITUCIÓN DE ENSEÑANZA E INVESTIGACIÓN EN CIENCIAS AGRÍCOLAS
CAMPECHE-CÓRDOBA-MONTECILLO-PUEBLA-SAN LUIS POTOSÍ-TABASCO-VERACRUZ

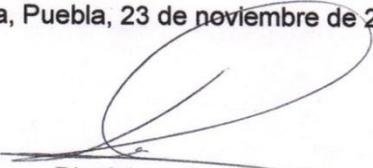
CAMPUS PUEBLA

CAMPUE- 43-2-03

CARTA DE CONSENTIMIENTO DE USO DE LOS DERECHOS DE AUTOR Y DE LAS REGALÍAS COMERCIALES DE PRODUCTOS DE INVESTIGACIÓN

En adición al beneficio ético, moral y académico que he obtenido durante mis estudios en el Colegio de Postgraduados, el que suscribe **Dionicio Juárez Ramón** alumno de esta Institución, estoy de acuerdo en ser partícipe de las regalías económicas y/o académicas, de procedencia nacional e internacional, que se deriven del trabajo de investigación que realicé en esta Institución, bajo la dirección del Profesor **Dr. Juventino Ocampo Mendoza** por lo que otorgo los derechos de autor de mi tesis **Efecto de la biota edáfica en la fertilidad del suelo en el sistema milpa intercalada con árboles frutales (MIAF)** y de los productos de dicha investigación al Colegio de Postgraduados. Las patentes y secretos industriales que se puedan derivar serán registrados a nombre del Colegio de Postgraduados y las regalías económicas que se deriven serán distribuidas entre la Institución, el Consejero o Director de Tesis y el que suscribe, de acuerdo a las negociaciones entre las tres partes, por ello me comprometo a no realizar ninguna acción que dañe el proceso de explotación comercial de dichos productos a favor de esta Institución.

Puebla, Puebla, 23 de noviembre de 2012.



Dionicio Juárez Ramón
Nombre y Firma



Dr. Juventino Ocampo Mendoza
Vo. Bo. Profesor Consejero o Director de Tesis
Nombre y Firma

La presente tesis, titulada: **Efecto de la biota edáfica en la fertilidad del suelo en el sistema milpa intercalada con árboles frutales (MIAF)**, realizada por el alumno: Dionicio Juárez Ramón, bajo la dirección del Consejo Particular indicado, ha sido aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

DOCTOR EN CIENCIAS

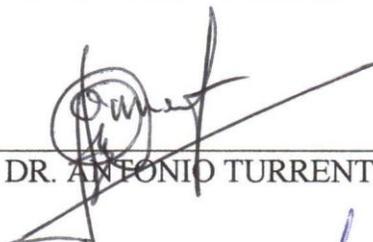
ESTRATEGIAS PARA EL DESARROLLO AGRÍCOLA REGIONAL

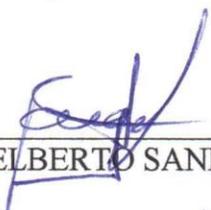
CONSEJO PARTICULAR

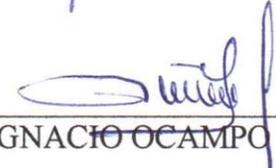
CONSEJERO: 
DR. JUVENTINO OCAMPO MENDOZA

DIRECTOR: 
DR. CARLOS E. FRAGOSO GONZÁLEZ

ASESOR: 
DR. RONALD FERRERA CERRATO

ASESOR: 
DR. ANTONIO TURRENT FERNÁNDEZ

ASESOR: 
DR. ENGELBERTO SANDOVAL CASTRO

ASESOR: 
DR. IGNACIO OCAMPO FLETES

Puebla, Pue., noviembre de 2012

EFFECTO DE LA BIOTA EDÁFICA EN LA FERTILIDAD DEL SUELO EN EL SISTEMA MILPA INTERCALADA CON ÁRBOLES FRUTALES (MIAF)

Dionicio Juárez Ramón, Dr.

Colegio de Postgraduados, 2012

En el sistema de cultivo Milpa Intercalada con Árboles Frutales (MIAF) más pobre en organismos del suelo y de menores contenidos de nutrientes para los cultivos, seleccionado mediante caracterización biológica y fisicoquímica de 8 MIAF ubicados en Huejotzingo-Chiautzingo, Pue. y en San Jerónimo Tecoaatl, Oaxaca, se realizó un experimento de campo en Chiautzingo, empleando técnicas de bioestimulación (aplicación de enmiendas orgánicas: alfalfa cortada de la misma parcela, chícharo cultivado *in situ* y estiércol de vacuno) y de bioaumentación (inoculación de las lombrices de tierra: *Lumbricus rubellus* Hoffmeister, 1843 y *Aporrectodea trapezoides* Dugès, 1828, epigea y endógea, respectivamente), sobre el suelo cultivado con árboles de durazno, para evaluar sus efectos en la fertilidad del suelo. Los resultados mostraron una viabilidad ecológica y tecnológica de *A. trapezoides*, la que incrementó su biomasa en 76% al año, con una gran capacidad de movilidad en el terreno; en tanto que *L. rubellus* sólo permaneció activa con hojarasca y humedad protegidas. Los materiales orgánicos verdes estimularon directamente a las poblaciones de la biota edáfica macro y el estiércol influyó en las poblaciones de microorganismos y en la liberación de nutrientes en el suelo. Se concluye que los efectos de aplicación de abonos verdes y estiércoles, con el manejo de la biodiversidad del suelo son potenciales para convertir a los suelos agrícolas pobres en sostenibles, cuyos métodos deben estar acordes con las actividades agrícolas que los productores desarrollan en sus terrenos. Los suelos mejorados y fértiles pueden ser una base importante como fuente de recursos naturales y uno de los elementos para llevar a éxito a programas de desarrollo agrícola regionales.

Palabras clave: agricultura sostenible, biodiversidad del suelo, fertilidad del suelo, inoculación, MIAF.

SOIL BIOTA EFFECT ON SOIL FERTILITY IN THE MAIZE FIELD INTERCROPPED
WITH FRUIT TREES (MIFT)

Dionicio Juárez Ramón, Dr.

Colegio de Postgraduados, 2012

In the Maize field intercropped with fruit trees culture system (MIFT) poorer in soil organisms and lower contents of nutrients for crops, selected by biological and physicochemical characterization of 8 MIFT located in Huejotzingo-Chiautzingo, Puebla and San Jerónimo Tecoaatl, Oaxaca, was established a field experiment in Chiautzingo, using biostimulation and bioaugmentation techniques: applying of organic amendments (alfalfa cut from the same plot, peas grown in situ and cow manure) and inoculation of earthworms epigeal and endogeic (*Lumbricus rubellus* Hoffmeister 1843 and *Aporrectodea trapezoides* Dugès 1828), on soil cultivated with peach trees, to evaluate its effects on soil fertility. The results showed an ecological and technological feasibility of *A. trapezoides*, which increased its biomass in 76% a year⁻¹, with a great capacity for mobility in the field, while *L. rubellus* was active only with litter and moisture protected. Green organic materials directly stimulated the populations of soil macrobiota and manure influenced on populations of microorganisms and the release of nutrients in the soil. The study concludes that the effects of green organic matters and manure applications, and soil biodiversity management, are potential activities to turn the poor soils in agricultural sustainable, only that farming must be accordance to remain high soil biological activity. Improved and fertile soils may be an important base as natural resources and one of the elements to bring success to regional agricultural development programs.

Keywords: alley cropping, inoculation, soil biodiversity, soil fertility, sustainable agriculture.

A la familia. A quien trato de mantenerla viva haciendo que mi actividad constituya un ejemplo a seguir; y de quienes tengo la responsabilidad de formar y sostener.

A las instituciones educativas y de investigación, a quienes se que es necesario alimentar para que posean la fuerza y visión de formar nuevas generaciones.

A los pilares fundamentales. Hombres de carácter humano y con pensamiento de ciencia y tecnología, que han sido capaces de soportar mis desentendimientos, mis pesares, mis contratiempos: mis Asesores.

A la Entidad que me sostiene, quien hace lo que yo no puedo hacer, quien cubre lo que yo no alcanzo a distinguir, especialmente cuando estoy en descanso o cuando estoy entretenido en la ciencia, la tecnología y el arte.

A la Red de Biodiversidad y Sistemática del Instituto de Ecología A. C., como guía; al Departamento de Agroecología y Ambiente del Instituto de Ciencias (ICUAP) y a la BUAP, por sus apoyo en la búsqueda de conocimiento y en la formación en Postgrado; al Colegio de Postgraduados por comprender la importancia de la biota edáfica para el desarrollo agrícola regional; al CONACYT, como impulsor del postgrado y de la ciencia en México. Todos ellos quienes han financiado diferentes apartados de cada investigación realizada.

INDICE DE CONTENIDO

RESUMEN	iii
ABSTRACT	iv
CAPITULO I.	
INTRODUCCIÓN GENERAL.	2
CAPITULO II.	
REVISIÓN DE LITERATURA	8
PROBLEMÁTICA AGRÍCOLA	8
La agricultura en México	8
La disponibilidad de recursos	8
El deterioro de los recursos..	9
LAS ESTRATEGIAS DE DESARROLLO AGRÍOLA	10
Búsqueda de alternativas de desarrollo	11
IMPORTANCIA DE LA BIOLOGÍA DE SUELOS	11
La actividad biológica.	11
La fertilidad del suelo	12
Las oportunidades a través del manejo.....	13
LOS SISTEMAS AGROFORESTALES	13
El sistema MIAF	14
LITERATURA CITADA	15
CAPITULO III.	
CARACTERIZACIÓN DE LA MACROFAUNA Y MESOFAUNA EDÁFICA DEL SISTEMA MILPA INTERCALADA CON ÁRBOLES FRUTALES (MIAF) EN DOS REGIONES DEL CENTRO DE MÉXICO	
RESUMEN	21
INTRODUCCION.	22
MATERIALES AND METODOS	23
Area de estudio	23
Muestreo	25
RESULTADOS	27
Comparaciones regionales	27
Comparaciones locales de la fertilidad y de la biota edáfica	29
I. Puebla	29
II. Oaxaca.	32
Efecto del sistema MIAF	32
DISCUSION	36
Comparaciones del MIAF con otros Alley cropping	37

Gradiente: Bosque-Línea de producción durazno-Línea de producción anual	39
Comparaciones de la macrofauna y de la mesofauna	40
Condiciones favorable para la biota edáfica en el MIAF	41
Mejoramiento de las condiciones edáficas de los MIAF	42
CONCLUSIONES	43
AGRADECIMIENTOS	44
REFERENCIAS	44

CAPITULO IV.

COMUNIDADES DE LOMBRICES DE TIERRA EN SISTEMAS

AGROFORESTALES INTERCALADOS, EN DOS REGIONES DEL CENTRO DE MEXICO

RESUMEN	52
ABSTRACT	53
INTRODUCCION	53
METODOS	55
Sitio de estudio y características edáficas, climáticas y de manejo	55
Muestreo de las comunidades de lombrices de tierra	56
Análisis fisicoquímicos	57
Análisis estadístico	57
RESULTADOS.	57
Especies	57
Comunidades de lombrices en el MIAF	59
Patrones por especie	60
Las comunidades y las condiciones fisicoquímicas del suelo	62
Patrones al interior del MIAF	63
DISCUSIÓN	64
Comparaciones... ..	65
Restricciones de humedad	66
Materiales orgánicos	67
Relación con variables fisicoquímicas	68
Manejo en el MIAF	69
CONCLUSIONES	70
AGRADECIMIENTOS	70
LITERATURA CITADA.	71

CAPITULO V.

EFFECTO DE ABONOS ORGÁNICOS Y LOMBRICES DE TIERRA (A.

<i>trapezoides</i> y <i>L. rubellus</i>) SOBRE CULTIVOS INTERCALADOS DE DURAZNO	76
RESUMEN	76
ABSTRACT	77
INTRODUCCIÓN	78

MATERIALES Y MÉTODOS	79
Sitio de estudio	79
Diseño de la investigación	79
Muestreo	82
Análisis estadísticos	83
RESULTADOS	83
Cantidad y calidad de los abonos orgánicos aplicados..	83
Comportamiento de las lombrices de tierra inoculadas	84
Macrofauna	85
Mesofauna	86
Microorganismos	86
Nutrientes del suelo	88
DISCUSION	88
Potencialidades y efectos de los materiales orgánicos aplicados..	88
Lombrices de tierra y actividad biológica	90
Consideraciones para mejorar los efectos	93
CONCLUSIONES	94
AGRADECIMIENTOS	94
REFERENCIAS	95

CAPITUL VI.

EL MIAF COMO SISTEMA DE CULTIVO AGROECOLOGICO ESTRATÉGICO PARA LA PRODUCCION AGRICOLA SOSTENIBLE

RESUMEN	101
ABSTRACTS	102
INTRODUCCIÓN	103
MÉTODOS	104
RESULTADOS	105
Caracterización biológica de las MIAF	105
Mejoramiento del suelo de las MIAF	109
DISCUSIÓN	110
Ventajas y Desventajas del MIAF	110
¿Vale la pena utilizar a la biota edáfica en el mejoramiento de la calidad de su suelo?	111
El MIAF como modelo agroecológico estratégico de producción de alimentos	112
Factibilidades tecnológica y social estratégicos	114
CONCLUSIONES	116
AGRADECIMIENTOS	117
LITERATURA CITADA	117

CAPITUL VI.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES GENERALES

CONCLUSIONES.	121
Caracterización biológica general del suelo del MIAF	121

Identificación de especies susceptibles a manejo	121
Manipulación de la biota edáfica	122
Potencialidades de sostenibilidad productiva en los MIAF	122
RECOMENDACIONES	123

INDICE DE CUADROS

CARACTERIZACIÓN DE LA MACROFAUNA Y MESOFAUNA EDÁFICA DEL SISTEMA MILPA INTERCALADA CON ÁRBOLES FRUTALES (MIAF) EN DOS REGIONES DEL CENTRO DE MÉXICO

Cuadro 1.	Localización y características ambientales de las regiones de estudio....	24
Cuadro 2	Valores promedio de las principales variables de macrofauna, mesofauna y del suelo en los MIAF y el bosque control en Puebla y Oaxaca. Se presenta también los resultados del ANOVA y de las comparaciones entre los sitios.	28
Cuadro 3.	Valores promedio y porcentaje de abundancia y biomasa de los grupos de macrofauna de los MIAF de Puebla y Oaxaca (n=48).	29
Cuadro 4	Abundancia y biomasa de los grupos de la macrofauna que mostraron diferencias significativas entre los MIAF.	31
Cuadro 5.	Variables edáficas que mostraron diferencias significativas entre el bosque y los MIAF en la región de Oaxaca.	32
Cuadro 6	Comparación de variables edáficas entre las líneas de producción durazno (D) y cultivos anuales (CA) de los MIAF en las dos regiones de estudio.	31
Cuadro 7	Valores promedio de abundancia y biomasa en las líneas de producción de los MIAF, de aquellos grupos de macrofauna con una abundancia mayor de 5%. También se presentan los valores totales promedio de macrofauna.	34
Cuadro 8	Grupos de macrofauna que mostraron diferencias significativas entre surcos de durazno y áreas dedicadas a cultivos anuales, por sitio-productor, en los MIAF de Puebla y Oaxaca..	36
Cuadro 9	Comparaciones de los MIAF de Puebla y Oaxaca con otros Alley cropping de clima templado y tropical, con datos de macrofauna totales	37

COMUNIDADES DE LOMBRICES DE TIERRA EN SISTEMAS AGROFORESTALES INTERCALADOS, EN DOS REGIONES DEL CENTRO DE MEXICO

Cuadro 1.	Localización y características ambientales de las regiones de estudio.	55
Cuadro 2.	Diversidad, abundancia y biomasa de las lombrices de tierra encontradas en los MIAF y bosque de las regiones de Puebla y Oaxaca. Las letras en H ² (diversidad) corresponden a la diferencia de medias Tukey, p<.05. Los valores entre paréntesis indican la importancia relativa.	57
Cuadro 3.	Dominancia de las especies encontradas en Puebla y Oaxaca	61
Cuadro 4.	Resultados de análisis fisicoquímicos del suelo de los sitios muestreados. Las letras corresponden a la diferencia de medias Tukey,	62

	p<.05.	
Cuadro 5.	Densidad y biomasa de las lombrices de tierra en los bosques y MIAF; y prácticas de cultivo que realizan los productores, de cada región en estudio.	63

EFFECTO DE ABONOS ORGÁNICOS Y LOMBRICES DE TIERRA (*A. trapezoides* y *L. rubellus*) SOBRE CULTIVOS INTERCALADOS DE DURAZNO

Cuadro 1.	Cantidad total y contenidos nutricionales de los abonos orgánicos aplicados a lo largo de los 12 meses de duración del experimento (tres aplicaciones en verde)..	83
Cuadro 2.	Ganancia y pérdida en la biomasa (g m ⁻²) de las lombrices <i>A. trapezoides</i> y <i>L. rubellus</i> en cada uno de los tratamientos al finalizar el experimento.	84
Cuadro 3.	Movilidad espacial de las lombrices de tierra en campo. Las letras indican diferencias significativas entre bloques (Prueba de Tukey, p< 0.05)..	85
Cuadro 4.	Biomasa (g m ⁻²) de los organismos de macrofauna encontrados en cada tratamiento, al finalizar el experimento.	85
Cuadro 5	Promedios totales de las variables analizadas. Para cada variable, letras distintas denotan diferencias significativas entre tratamientos	87

EL MIAF COMO SISTEMA DE CULTIVO AGROECOLOGICO ESTRATÉGICO PARA LA PRODUCCION AGRICOLA SOSTENIBLE

Cuadro 1	Variables biológicas y fisicoquímicas utilizadas como indicadores de calidad en el suelo de las MIAF analizadas de cada región	104
Cuadro 2	Deterioro del suelo del MIAF, tomando a la materia orgánica (MO) y la biomasa de lombrices de tierra como indicadores. El deterioro está calculado como una relación de los valores MIAF/bosque, tomando al suelo del bosque de cada región como control, considerando que es un sistema menos perturbado.	108
Cuadro 3	Factores de regulación de las poblaciones de organismos del suelo y sus efectos.	114

INDICE DE FIGURAS

INTRODUCCION GENERAL

Figura 1.	Degradación del suelo debido a actividades humanas (Oldeman <i>et al.</i> , 1990).	10
-----------	--	----

CARACTERIZACIÓN DE LA MACROFAUNA Y MESOFAUNA EDÁFICA DEL SISTEMA MILPA INTERCALADA CON ÁRBOLES FRUTALES (MIAF) EN DOS REGIONES DEL CENTRO DE MÉXICO

Figure 1.	Localización de las regiones de estudio	24
Figure 2.	Variables que mostraron diferencias significativas a nivel de sitios (Tukey $p < 0.05$, $n = 30$). De P1 a Bp corresponde a Puebla; de P5 a Bo, Oaxaca.	31
Figure 3.	Abundancia y biomasa de la macrofauna por línea de producción en los MIAF de Puebla y Oaxaca. D= durazno; CA= cultivo anual. Las barras indican el error estándar de la media.	35

COMUNIDADES DE LOMBRICES DE TIERRA EN SISTEMAS AGROFORESTALES INTERCALADOS, EN DOS REGIONES DEL CENTRO DE MEXICO

Figura 1	Densidad y biomasa de lombrices de tierra encontradas en el bosque, los surcos de durazno y el área intermedia dedicada a cultivos anuales. Las barras muestran el error estándar	59
Figura 2	Comparaciones entre la relación de epígeas/endógeas, tanto en densidad como en biomasa, con valores de los contenidos de %MO de los sitios estudiados	68

EFFECTO DE ABONOS ORGÁNICOS Y LOMBRICES DE TIERRA (*A. trapezoides* y *L. rubellus*) SOBRE CULTIVOS INTERCALADOS DE DURAZNO

Figura 1.	Línea de inoculación de lombrices de tierra, ubicada en el centro del área total de una superficie circular de $4m^{-2}$	89
Figura 2	Esquema del dispositivo experimental. Tratamientos: a) Alfalfa, b) Estiércol, c) Chicharo, d) Lombriz con alfalfa, e) Lombriz con estiércol, f) Lombriz con chicharo, g) Testigo. El riego rodado aplicado fue de sur a norte	89
Figura 3	Cantidad de nódulos de BFN simbióticas desarrollados en raíces de plantas de chicharo cultivadas en el laboratorio, en el suelo proveniente de cada tipo de tratamiento y después de ser utilizado durante un año de experimento en campo ($F(6,28)=8.20$; $p < .0000$).	89

Figura 4	Poblaciones bacterianas (UFC) de bacterias procesadoras de celulosa (BCEL), solubilizadoras de fósforo (BSP) y fijadoras de nitrógeno (BPN), en los diferentes tratamientos.	92
EL MIAF COMO SISTEMA DE CULTIVO AGROECOLOGICO		
ESTRATÉGICO PARA LA PRODUCCION AGRICOLA SOSTENIBLE		
Figura 1	Densidad (individuos m ⁻²) y biomasa (g m ⁻²) de lombrices de tierra y del resto de la macrofauna, del suelo ocupado por surcos de duraznos y de la franja cultivada con especies anuales en la MIAF en terrenos planos de Puebla. La presente figura es un dibujo extraído de la figura 1 de Cortés <i>et al.</i> (2005), modificada para este estudio.	106
Figura 2	Densidad (individuos m ⁻²) y biomasa (g m ⁻²) de lombrices de tierra y del resto de la macrofauna, del suelo ocupado por surcos de duraznos y de la franja cultivada con especies anuales en la MIAF en terrenos de ladera de Oaxaca. La presente figura es un dibujo extraído de la figura 2 de Cortés <i>et al.</i> (2005), modificada para este estudio.	107
Figura 3	Biomasa de lombrices de tierra (g m ⁻²) y contenido de materia orgánica (MO) en el suelo de las MIAF (P) y el bosque de cada región de estudio.	109
Figura 4	Diferencias altamente significativas en densidad y biomasa (F(11, 48)=3.58, p=.0009) de lombrices de tierra de las especies <i>A. trapezoides</i> y <i>L. rubellus</i> , después de tres aplicaciones de enmiendas orgánicas, en un año. Ambas especies fueron inoculadas solamente en los tres primeros tratamientos de P3. T, es el testigo (sin aplicaciones de enmiendas); TSA, es un testigo sin aplicaciones de enmiendas ni ninguna lámina de riego.	110

CAPITULO I

INTRODUCCIÓN GENERAL

El suelo es un complejo de partículas físicas, sustancias y materiales orgánicos, que junto con el aire y el agua conforman un recurso esencial para el sostenimiento de la vida de muchos organismos, incluyendo al hombre. Varios organismos viven toda o parte de su vida en el suelo (Brown *et al.*, 2001), integrados en una red de procesos físicos, químicos y biológicos que le otorgan al suelo un carácter vital, en el que cada actividad tiene efectos que permiten la estabilidad de cada sistema ecológico.

Abordar el estudio de los efectos que produce la actividad biológica del suelo y las formas en que ésta permanece en el tiempo, especialmente cuando la actividad antropogénica influye, constituye una necesidad para establecer las bases científicas y tecnológicas de un manejo más eficiente del recurso suelo, para mantener las capacidades productivas de los agroecosistemas, en el largo plazo.

Esta necesidad se fundamenta en la cada vez menor cantidad de terrenos disponibles para la obtención de alimentos y disminuir la apertura de espacios boscosos para los cultivos anuales. El estado intermedio, el sistema agroforestal donde se mezclan especies perennes y anuales en cultivo, puede ser una entidad viable de producción diversificada, en cuyo espacio las especies pueden organizarse haciendo posible mantener el carácter biodiverso de México, producir los alimentos necesarios para la población y mantener las capacidades productivas de los terrenos bajo formas sostenibles.

La visión de conjunto en la producción y la sostenibilidad forman parte del concepto de agroecología, en la que se han demostrado bases científicas para proponer alternativas de producción, menos dependiente de insumos externos, observando capacidades de autogestión en el uso de recursos, conservando especies de flora y fauna, mediante factores de autoregulación, haciendo que ninguna especie dispare su población.

El conocimiento del uso eficiente de los diferentes tipos de recursos del suelo también puede contribuir en la implementación de actividades agroecológicas en los terrenos de cultivo.

Si bien la biodiversidad se reconoce como uno de los principios de la agroecología (Altieri y Nicholls, 2000; 2007), considerar su permanencia puede una de las primeras para sostener las capacidades productivas de los agroecosistemas. En el suelo, en la esfera de

acción de cada organismo, por cuanto ellos tienen la responsabilidad de reciclar nutrientes y producir diversas sustancias (humus, enzimas, vitaminas) que contribuyen en la conformación de microcadenas alimenticias y la regulación de las poblaciones (Lavelle, 1997), pueden infundir una estabilidad al agroecosistema.

En la evolución de los estudios de los organismos del suelo, desde Darwin hasta nuestros días (Huhta, 2007), generalmente se ha estudiado a la biota edáfica por grupos o por sus tamaños (macrofauna -aquellos que miden más de 2 mm-, mesofauna - entre 0.2 a 2 mm - o microbios - menores de 0.2 mm-) (Beare, *et al.*, 1995), pero pocas veces bajo una visión de conjunto. Al incursionar en las estructuras poblacionales de las comunidades biológicas del suelo de los agroecosistemas, la presencia de una especie o un grupo de organismos desencadena efectos en los demás, conformando interacciones ecológicas de tipo asociativa, simbiótica, depredadora, comensalista, sinergista, etc., hasta conformar una estructura estable, abarcando todos los tipos y tamaños de organismos, organizados mediante jerarquías (West y Brown, 2005) y grupos funcionales (Mulder *et al.*, 2011).

Actualmente se conoce que la macrofauna constituye el 14% de la biomasa de los organismos que viven en el suelo; la mesofauna, el 2%; y los microorganismos, el 80% (Dickinson, 1974; Beare *et al.*, 1995), sin embargo, son los ingenieros del ecosistema (dentro de la macrofauna) los que potencian en mayor medida la actividad biológica del suelo, especialmente las lombrices de tierra. Por lo tanto conviene observar estudios ecológicos del suelo en conjunto en donde ellas estén presentes, para observar el grado de intervención del total de los organismos en los procesos del suelo, considerando sus capacidades y el rol que juegan como grupos funcionales o como consorcios microbianos.

La mayoría de los estudios sobre caracterización de la biota edáfica y sus efectos en los procesos del suelo han sido realizados en áreas tropicales, en donde la diversidad es mayor y los reciclamientos son continuos y acelerados por la temperatura y la humedad, principalmente. De esos ambientes surgen la mayoría de las teorías ecológicas sobre aspectos biológicos del suelo. En los suelos de climas templados, fríos y secos, la cantidad de estudios es menor, en donde la velocidad de los procesos del suelo es menos intensa, sobre todo por las restricciones de humedad, que determina periodos de actividad-latencia muy marcados en cada año y que seguramente influyen en el reciclamiento de nutrientes del suelo.

Si se considera que en México, además de los ambientes húmedos y subhúmedos, casi la mitad del territorio es árido y semiárido (Toledo *et al.*, 1989), los estudios de la actividad biológica en estos suelos pueden ser prioritarios, en donde los organismos tienen que hacer uso eficiente de cualquier cantidad de agua precipitada o aplicada en forma de riego, a fin de activarse y cumplir ciclos de vida, así como causar efectos en los suelos. Sin embargo, esta actividad requiere energía, especialmente de la materia orgánica desde las condiciones macromoleculares de la hojarasca, siendo ésta la base alimenticia en los sistemas ecológicos, manteniéndose una dinámica propia para cada tipo de ecosistema; pero en los agroecosistemas implica un manejo, cuya eficiencia puede ser la base para la sostenibilidad productiva dirigida y condicionada que utiliza el hombre.

En los cultivos, la relación clima, organismos del suelo, hojarasca y manejo puede ser la base para desarrollar eficiencia productiva, la cual se discute en el análisis de los diferentes tipos de agricultura (Altieri, 1991); pero si ésta es más autosuficiente considerando aspectos de biodiversidad, balance de nutrientes y energía, conservación recursos, mantenimiento de relaciones sinérgicas, manejo holísticamente y se adapta a las condiciones de cada ecosistema (Gliessman, 1998; Altieri y Nicholls, 2000; Núñez, 2005), se acepta mejor. En estos casos los sistemas agroforestales, en donde se presentan árboles de diversas especies con anuales, cumplen un papel importante, posiblemente mejor adaptada a la agricultura de México, la cual se desarrolla bajo condiciones de biodiversidad (CONABIO, 1998; Morrone, 2005), de pequeña escala y en el poco espacio laborable (27.8%) con que cuenta el territorio nacional (INEGI, 2010).

De los sistemas agroforestales, los cultivos intercalados de hileras de especies perennes con franjas de cultivos anuales, cumplen aspectos socioeconómicos, ecológicos y tecnológicos: en el primero aportan productos en diferentes épocas del año con posibilidades de ser motor económico; en el segundo, se conforman espacios potenciales para el manejo biodiverso, las cuales pueden potenciarse con oportunidades de efectos positivos en el reciclamiento de nutrientes del suelo y en el último, su capacidad de ser tecnificado, del cual es actor principal el sistema de cultivo Milpa intercalada con árboles frutales (MIAF).

Siendo el objetivo principal del presente estudio, el buscar conocimientos científicos básicos sobre el manejo de los recursos naturales del suelo y buscar propuestas tecnológicas

que permitan inducir hacia una mejor producción agrícola, se propone evaluar el efecto de la actividad biológica en el suelo y sus consecuencias en la disponibilidad de nutrientes, mediante indicadores biológicos y fisicoquímicos, a partir de la aplicación de materiales orgánicos que induzca una mayor abundancia y biomasa de los organismos del suelo.

Considerando que en México no se conoce la magnitud de los beneficios de la biota edáfica, ni las técnicas apropiadas de manipulación en campo que permitan integrar procesos de restauración y conservación de la fertilidad de los suelos en las áreas templadas y secas, en este estudio se buscará generar conocimiento aplicable directamente a los campos de cultivo, para convertirlos en sostenibles y sin efectos de deterioro.

Esta investigación tiene como ámbito de trabajo, los espacios de cultivo que utiliza el Sistema Milpa Intercalada con Árboles Frutales (MIAF) que el Colegio de Postgraduados Campus Puebla, estudia desde hace algunos años, en la región de Chiautzingo, Huejotzingo, Puebla (Cortés *et al.*, 2004) y la región Mazateca (San Jerónimo Tecoaatl), en Oaxaca (Cortés *et al.*, 2005), el cual ha sido producto de las experiencias desarrolladas desde el Plan Puebla.

Altieri, M.A. 1991. ¿Por qué estudiar la agricultura tradicional? En: Mitos, ritos y realidades. José A. González Alcantud y Manuel González de Molina (Eds.) Antropos, Granada, España, pp. 332-350.

Altieri, M. y C.I. Nicholls 2000. Agroecología. Teoría y práctica para una agricultura sustentable. PNUMA, México D.F.

Altieri, M y C.I Nicholls 2007. Biodiversidad y manejo de plagas en agroecosistemas. Editorial Icaria, Barcelona.

Beare, M.H., D.C. Coleman, D.S. Crosley Jr., P.F. Hendrix, y E.P. Odum 1995. A hierarchical approach to evaluating the significance of soil biodiversity to biogeochemical cycling. En: Collins, Robertson, Klug (Eds) The Significance and Regulation of Soil Biodiversity. Kluweer Acad. Publ., Netherlands, pp. 5-22.

Brown, G., C. Fragoso, I. Barois, P. Rojas, JC Patrón, J. Bueno, A.G. Moreno, P. Lavelle, V. Ordaz y C. Rodríguez 2001. Diversidad y rol funcional de la macrofauna edáfica en los ecosistemas tropicales mexicanos. *Acta Zoológica Mexicana* 1: 79-110.

- CONABIO, 1998. La diversidad biológica de México: Estudio de país. CONABIO. México.
- Cortés F., J. I., A. Turrent F., P. Díaz V., E. Hernández R., R. Mendoza R., E. Aceves R. 2005. Manual para el establecimiento y manejo del sistema milpa intercalada con árboles frutales (MIAF) en laderas. Colegio de Postgraduados, México.
- Cortés F., J. I., R. Mendoza R., E. Hernández R., E. Aceves R., A. Turrent F. y N. Estrella Ch. 2004. El sistema agrícola “Milpa intercalada en árboles frutales (MIAF)” en terrenos planos. Colegio de Postgraduados, Puebla, México.
- Dickinson, C.H. 1974. Decomposition of litter in soil. En: Dickinson y Pugh (Eds). *Biology of plant litter decomposition*. Academic Press, London, pp. 633-658.
- Gliessman, S. 1998. *Agroecology: Ecological Processes in Sustainable Agriculture*. Sleeping Bear/ Ann Arbor Press.
- Huhta, V. 2007. The role of soil fauna in ecosystems: A historical review. *Pedobiology* 6 (50): 489-495.
- INEGI 2010. VIII Censo Agrícola, Ganadero y Forestal 2007. México. Disponible en: <http://www.consejagri.gob.cl/assets/files/322/INEGI.pdf>
- Lavelle, P. 1997. Faunal activities and soil processes: Adaptive strategies that determine ecosystem function. *Advances in Ecological Research* 24: 93-132.
- Morrone, J.J. 2005. Hacia una síntesis biogeográfica de México. *Rev. Mex. Biodiv.* 2(76): 207-252.
- Mulder, C., A. Boit, M. Bonkowski, P.C. De Ruiter, G. Mancinelli, M.G.A. Van der Heijden, H. J. Van Wijnen, J. A. Vonk, M. Rutgers 2011. A Belowground Perspective on Dutch Agroecosystems: How Soil Organisms Interact to Support Ecosystem Services *Advances in Ecological Research* 44: 277-357.
- Núñez. M. A. 2005. Bases científicas de la agricultura tropical sustentable. In Motion Magazine. June 11. http://www.inmotionmagazine.com/global/man_base.html
- Toledo, V.M., J. Carabias, C. Toledo, C. González-Pacheco 1989. La producción rural en México: alternativas ecológicas. UNAM. 151-218
- West, G.B., J.H. Brown 2005. The origin of allometric scaling laws in biology from genomes to ecosystems: towards a quantitative unifying theory of biological structure and organization. *The Journal of Experimental Biology* 208: 1575-1592.

CAPITULO II.

REVISIÓN DE LITERATURA

PROBLEMÁTICA AGRÍCOLA

La agricultura en México

De las 31.2 millones de hectáreas actualmente cultivables de México, se estima que éstas no han sido aprovechadas eficientemente, por cuanto existe una diferencia entre las sembradas y las cosechadas, el número de ciclos de cultivo que pueden soportar por año y el nivel de rendimiento que se obtiene (Turrent *et al.*, 1999; Turrent y Cortés-Flores, 2005).

Si se toma en cuenta la demanda de alimentos a nivel nacional, se detecta un desbalance comercial que afecta la suficiencia, la autosuficiencia y la soberanía alimentaria de los mexicanos (Gómez y Schwentesius, 2003). Si bien los siniestros naturales acompañan a todos los ciclos de cultivo del país, también existe un rango de ineficiencia del lado técnico que ha mantenido niveles bajos de rendimientos, relacionados con los efectos de manejo de los recursos disponibles y con los factores sociales, políticos y económicos que regulan la producción.

La disponibilidad de recursos

Dentro de los recursos naturales, el suelo, la diversidad biológica (plantas y organismos) y el clima, están relacionados con la agricultura.

México siendo un país megadiverso (Mittermeier y Goettsch, 1992), como tal es un privilegio (Sarukan *et al.*, 2009) y un potencial con la que se podrían construir formas de vida de mejor calidad para los mexicanos y con niveles de seguridad en la suficiencia alimentaria.

Sin embargo los registros de esta biodiversidad de especies se centran en la macrobiota: reptiles, mamíferos, anfibios y plantas, con la manifestación de un alto índice de endemismos (Flores y Gerez, 1994, Mittermeier y Goettsch, 1992). ¿Y qué hay de la biota de menor tamaño, especialmente la que se encuentra escondida bajo el nivel del suelo? (Fragoso y Rojas, 2009).

De los recursos naturales del suelo, hay aún pobreza en el trabajo de registro de especies, así como en el conocimiento sobre su manejo, de los que se requieren mayor cantidad de estudios por las características geográficas de México (Neyra y Durand, 1998).

Y si hay mayores avances en el ambiente tropical humedo, el territorio mexicano presenta una mayoría climática seca (48%), sin contar la tropical (20%) y templada subhúmeda (15%), que presenta diversos periodos secos en el año (Toledo y Ordoñez, 2009). Por ello los estudios de los ambientes con restricciones de humedad puede ser una prioridad nacional.

El deterioro de los recursos

En los últimos tiempos la capacidad productiva del suelo se ha estado reduciendo por la intensificación agrícola (Fragoso *et al.*, 1997, Giller *et al.*, 1997), a través de la disminución de su fertilidad (disponibilidad de nutrientes), la cual se manifiesta como pérdida de contenidos de materia orgánica, bajo intercambio catiónico, suelos más inertes por la baja actividad de la biota edáfica y acumulaciones de compuestos tóxicos, entre otros (Paul, 1999). Estos efectos de deterioro tienen sus orígenes en las intervenciones antropogénicas, por intensidad de uso, desprotección del suelo y aplicaciones de productos químicos ajenos a la naturaleza, los cuales han estado disminuyendo la dinámica biológica de los suelos (Wall, 1999; Senapati, 1999) y convirtiendo a la agricultura en una entidad de creciente dependencia tanto de energía como de insumos del exterior.

La intensidad de uso de los suelos agrícolas de los valles centrales del Estado de Puebla procede desde tiempos prehispánicos, es decir, presentan una constante intervención de alrededor de 500 años de agricultura, desarrollado con cultivos anuales como el maíz, alimento básico de los mexicanos y que han convertido al territorio nacional en un espacio con suelos degradados, quedando solamente la península de Yucatán con características de terreno estable (Figura 1).

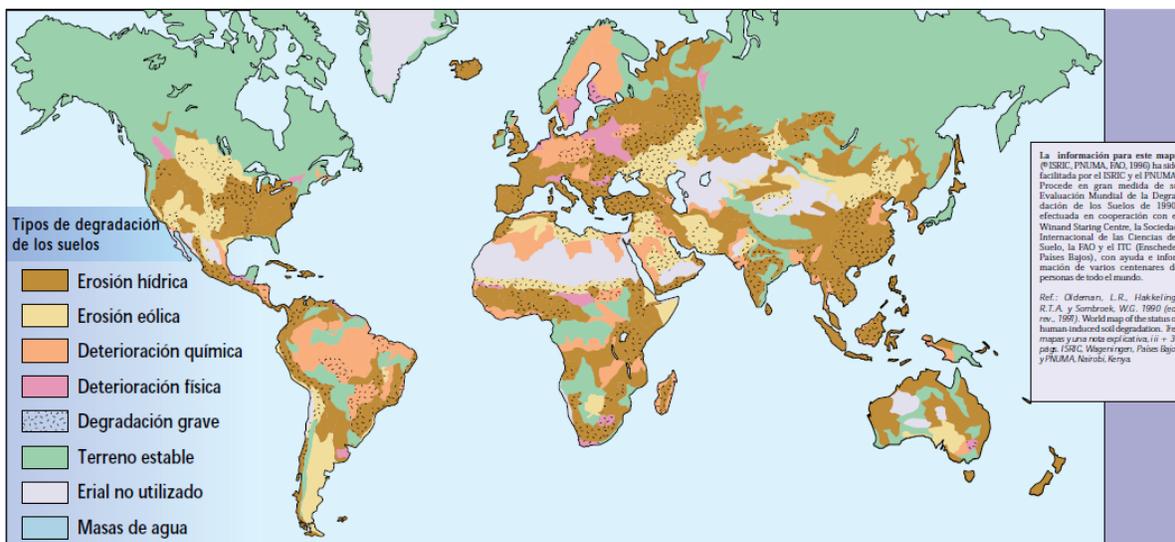


Figura 1. Degradación del suelo debido a actividades humanas (Oldeman *et al.*, 1990).

LAS ESTRATEGIAS DE DESARROLLO AGRÍOLA

Las condiciones que presentan los suelos de México inducen al diseño de estrategias de recuperación, rehabilitación y conservación de las tierras de cultivo, a fin de que ellos puedan sostener la alimentación de la población mexicana.

Estas condiciones de deterioro pueden poner en peligro el éxito de programas de desarrollo agrícola, donde los actores principales se someten a compromisos de producción, quienes pueden tener dificultades en el cumplimiento de metas o que requieran de mayores costos de inversión por la aplicación de insumos externos, alterando la economía de los mismos productores.

Si bien se ha detectado que esos efectos de deterioro se dan en menor escala en los agroecosistemas que mantienen sistemas tradicionales y diversificados, donde el uso de la maquinaria agrícola permanece reducida, así como el bajo uso de fertilizantes y otros productos químicos, donde el sistema de producción agrícola se conforma bajo condiciones de apropiación de la naturaleza por parte del productor (Toledo, 2008), es necesario que aún estas áreas de cultivo mantengan una visión de manejo integral de los recursos del suelo integrando conscientemente la parte viva del suelo.

Si se dejaran los suelos de México que prosigan su ritmo de deterioro, pudiera tornarse momentos irreversibles o de alto costo de recuperación.

Búsqueda de alternativas de desarrollo

En la búsqueda de alternativas de desarrollo agrícola se ha detectado que la reducida integración de materiales orgánicos con el uso unitario de fertilizantes químicos puede reducir la actividad microbiana de los suelos, por lo que en muchos casos se recomienda una mezcla de ambos para compensar las altas tasas de extracción de nutrientes del suelo y mantener reservas nutricionales para el siguiente cultivo (Rasmussen *et al.*, 1998).

En estos casos son recomendables las experiencias que bajo el concepto de la agroecología se aplican con fines de sustentabilidad, retomando incluso experiencias de formas de cultivo tradicionales que surten efectos de conservación y de uso eficiente de recursos, incluyendo no sólo los naturales, sino los económicos y sociales, con la participación directa de los productores reconociendo limitaciones y potencialidades. Los elementos de estas estrategias deben ser analizados, modificados, reestructurados o ratificados por los pobladores de las comunidades y representantes institucionales de la región, incluyendo trabajo de manera conjunta con los productores a fin de que haga suya y ejecute su propio programa, sea sujeto de su propio desarrollo (Casas-Cázares *et al.*, 2009).

IMPORTANCIA DE LA BIOLOGÍA DEL SUELO

La actividad biológica

En los suelos, la macrofauna (los > de 2 mm), la mesofauna (0.2 – 2 mm) y los microorganismos (< 0.2 mm) son un recurso propio de la naturaleza y se ha visto que son responsable de la disponibilidad de nutrientes para las plantas (Brady-Weil, 2000), especialmente bacterias y micorrizas; pero éstos resultan aún más eficientes cuando la macrofauna afecta físicamente al suelo mediante la construcción de galerías, cambios de textura, trituración de la materia orgánica, incremento de la capacidad de infiltración del agua, etc. (Brussaard, 1998), así como la disponibilidad de nutrientes que la misma macrofauna realiza a través de sus excretas y de sus cuerpos cuando mueren. Ello induce que el manejo de la biota edáfica puede favorecer la restauración de la fertilidad de los suelos en áreas degradadas (Lavelle *et al.*, 1998), o mantenerla en los campos de producción de alimentos.

De la totalidad de la biota edáfica, de los organismos más importantes en el suelo son las lombrices de tierra, por su abundancia, biomasa, capacidad de procesar la materia orgánica y de modificar las condiciones físicas, químicas y biológicas del suelo (Brown *et al.*, 1999; Lavelle, 1997; Brown y Fragoso, 2003). Por ello, en algunas partes del mundo, las lombrices de tierra son usadas con fines prácticos para mejorar la fertilidad de los suelos. Una tonelada de lombrices pueden producir 300 toneladas/ha/año de turrículos (deyecciones) con 460 Kg de N/ha/año (Rodríguez *et al.*, 1998).

La fertilidad del suelo

Los materiales orgánicos en el suelo se sabe que contribuyen en la fertilidad física, química y biológica del suelo (Stockdale *et al.*, 2002; Abbott y Murphy, 2007). En el primero mejora la estructura, incrementa el rango de capacidad de campo y punto de marchitamiento permanente y mejora la retención de la humedad por más tiempo.

La fertilización química incrementa la disponibilidad de nutrientes en el suelo con una mineralización más lenta, de acuerdo a cantidad, calidad y la velocidad de descomposición de la hojarasca. También se ha comprobado que al existir mayor contenido de MO en el suelo, la aplicación de fertilizantes pueden ser retenidos, especialmente al conjuntarse los iones NH_4^+ con la carga negativa del suelo y de la MO; en cambio los nitratos, por su carga negativa son fácilmente solubles y lixiviables en todo tipo de suelos (Galvis-Spínola, 1998). Los iones NH_4^+ provienen de los procesos de amonificación de compuestos nitratos, realizado por microorganismos amonificantes.

En la fertilización biológica, se reconoce que en la medida en que exista hojarasca como fuente de energía, cohabitarán en mayor cantidad los organismos del suelo, con la que de realizarán mayor cantidad de procesos biológicos y bioquímicos, hasta la mineralización total de los materiales orgánicos. Esta gestión es especialmente útil cuando su calidad es mayor, es decir, presentan una relación C/N bajo.

En la fertilidad biológica se entiende que al haber mayor disponibilidad de fuentes de alimento (MO), se incrementará la cantidad de procesos biológicos y de mineralización, en donde participan macro, meso y microorganismos, bajo una estructura poblacional del ecosistema suelo, integrando microcadenas alimenticias a diferentes niveles y escalas, enriqueciendo la liberación de iones nutrientes para las plantas y organismos. Sólo se

requiere que esta actividad biológica se conjugue dentro de los parámetros necesarios que establecen los factores de regulación, de modo que la temperatura y la humedad no sean restrictivos a estos fenómenos enriquecedores del suelo.

Las oportunidades a través del manejo

Por lo tanto, puede ser benéfico favorecer el incremento de la población de las lombrices de tierra (García y Fragoso, 2003; Ortiz–Ceballos *et al.*, 2005) y de la macrofauna benéfica, para promover más la disponibilidad de nutrientes para las plantas, a través de su estimulación y/o su inoculación, junto con la integración de material orgánico (Woomer, 1994), bajo los principios de aplicación de abonos al suelo. Al mismo tiempo que éste funciona como alimento a los organismos y favorece una mayor abundancia y actividad biológica en el suelo (Senapati *et al.*, 1999), impacta favorablemente en la disponibilidad de nutrientes para una mayor productividad agrícola.

LOS SISTEMAS AGROFORESTALES

Los sistemas agroforestales son formas de uso de la tierra donde interactúan biológicamente especies perennes con cultivos anuales y/o animales, en diferentes proporciones en un área de terreno, bajo un arreglo espacial (topológico) y cronológico en rotación, realizando interacciones ecológicas y económicas entre las especies y otros componentes de manera simultánea o secuencial y compatibles con las condiciones socioculturales para mantener las condiciones de vida de una región (López, 2007). Entre la diversidad de sistemas agroforestales pueden identificarse tres: sistema silvoagrícola, agrosilpovastoril y silvopastoril: en el primero se asocian árboles con cultivos agrícolas; en el segundo, árboles con cultivos agrícolas y ganadería; y en el último, árboles con ganadería.

Las ventajas de los sistemas agroforestales sobre los monocultivos se mantiene en discusión, especialmente cuando se relacionan en los aspectos ecológicos, debido a que en los sistemas agroforestales se tiene la oportunidad de diversificar el espacio con diferentes especies, aplicación de diferentes prácticas de cultivo, asociación y rotación de cultivos, reducción de riesgos de ataque de plagas y enfermedades en la producción, obtención de diferentes productos a diferentes plazos, con la posibilidad de mejorar los ingresos

económicos; y en el suelo, diversificación de desechos de cosecha, reposición y diversificación de la materia orgánica; permanencia de algún tipo de cobertura vegetal.

Los sistemas agroforestales (alley cropping) del SE de Asia son mezclas de cultivos agrícolas y forestales, donde los árboles se intercalan con callejones dedicados a especies anuales, en forma continua, cuyo sistema se ha practicado durante milenios en muchas partes de los trópicos (Allaby, 1998). El sistema está adaptado a la agricultura de pequeña escala para asegurar el suministro de alimentos en forma continua, rentable y evitar la degradación del suelo (Kang y Wilson, 1987; Sanchez, 1995). Además, por sus características es útil para mantener hábitats y conservar la biodiversidad, principalmente a través de la acumulación de hojarasca que actúa como una bomba de reciclaje de nutrientes sobre la superficie del suelo (Burger y Brasil, 1991).

El sistema MIAF

El cultivo en callejones también se repite en México, especialmente en las áreas donde se conjugan árboles frutales y cultivos anuales, como en la parte occidental de los valles centrales de Puebla, donde se conserva como un sistema tradicional de multicultivos (agroforestal simultáneo) cuyo origen proviene de la necesidad de satisfacer la obtención de productos alimenticios de diferentes especies y en diferentes épocas del año. En tiempos recientes, esta forma de cultivo se ha tecnificado conformando el sistema Milpa intercalada con árboles frutales (MIAF), que retoma el concepto de “milpa” como cultivo diversificado y multipropósito donde el maíz (*Zea mays* L.) es la especie principal cultivada en camellones, intercalada entre surcos de árboles de durazno (*Prunus persica* (L.) Batsch)). Sobre el MIAF se han estado experimentando la inclusión de otras especies cultivadas de áreas templadas, de clima tropical y subtropical, por cuanto se requiere establecer densidades de población específicos; asimismo se han estado ensayando alternativas de mejores aprovechamientos de la radiación solar, sombra, nutrientes y humedad del suelo, asignando más de dos especies en el mismo terreno, bajo diferentes arreglos topológicos (Cortés *et al.*, 2005).

Actualmente la estructura tecnificada del MIAF considera la asignación de un tercio del terreno a los árboles de durazno y el resto, a anuales. Los árboles de durazno se podan en “Y”, perpendiculares al surco y a la pendiente, distanciados a 2 m entre ellos,

considerando que el sistema de raíces y la parte aérea tengan un espacio libre de 2.4 m a cada lado del surco. En tanto que el cultivo anual corresponde a un espacio de 6 surcos de 0.8 m a cada lado, de modo de conforman franjas de 9.6 m, entre líneas de frutales (Cortés, *et al.* 2004). En algunos casos los productores agrícolas modifican el espacio dedicado a las líneas de frutales, presionando con los cultivos anuales; pero sí consideran los espacios aéreos requeridos para cada especie, en función de las respuestas de las plantas y a sus experiencias.

Por el arreglo topológico del MIAF, este sistema puede ser potencial para conjugar el carácter biodiverso de México y el aprovechamiento eficiente de los recursos naturales, conformándose un potencial para la búsqueda de tecnologías que permitan la recuperación de suelos, la rehabilitación de la fertilidad del suelo o la conservación de la capacidad productiva en el tiempo.

En principio será conveniente evaluar el efecto que el MIAF ejerce como sistema sobre las condiciones biológicas del suelo, identificar los requerimientos y desarrollar metodologías de rehabilitación, a fin de identificar un modelo de sistema que cumpla las características de sostenibilidad productiva y se constituya en base para el desarrollo de los pueblos asentados en la región de México que utiliza el sistema de cultivo Milpa intercalada con árboles frutales.

LITERATURA CITADA

- Abbott, L.K. y D.V. Murphy 2007. What is soil biological fertility?. En: L.K. Abbott y D.V. Murphy (Eds.) Soil Biological Fertility: A Key to Sustainable Land Use in Agriculture. Springer, Netherlands, pp: 1-16.
- Allaby, M. 1998. A Dictionary of Plant Sciences. Oxford University Press, USA.
- Brady, N. C. y R. R. Weil 2000. Organisms and ecology of the soil. En: Elements of the Nature and Properties of Soils. Prentice Hall, New Jersey. pp. 290-321.
- Brown, G. y C. Fragoso. 2003. El uso de la macrofauna edáfica en la agricultura del siglo XXI: problemas y perspectivas. Pp: 11-19. En: BROWN G., C. FRAGOSO Y L. J. OLIVEIRA (Editores). O Uso Da Macrofauna Edáfica Na Agricultura Do Século XXI: A Importância Dos Engenheiros Do Solo. Anales Reunión CYTED 8-12 de septiembre 2003 Londrina, Brasil. Documento 224. EMBRAPA Soja-INECOL-CYTED.

- Brown, G.G., B. Pashanasi, C. Villenave, J.C. Patrón, B.K. Senapati, S. Giri, I. Barois, P. Lavelle, E. Blanchart, R.J. Blakemore, A.V. Spain y J. Boyer 1999. Effects of earthworms on plant production in the tropics. En: P. Lavelle, L. Brussaard y P.F. Hendrix (Eds), Earthworm management in tropical agroecosystems. CAB International, Wallingford., pp. 87-147.
- Brussaard, L. 1998. Soil fauna, guilds, functional groups and ecosystem processes. *Applied Soil Ecology* 9: 123-135.
- Burger, D.; Brasil, E. C. 1991. Production of organic fertilizers in the Alley-Cropping-System. En: Burger, D., Studies on the utilization and conservation of soil in the Eastern Amazon region. EMBRAPA-CPATU-GTZ. pp. 217-236
- Casas-Cázares, R., González-Cossío, F.V., Martínez-Saldaña, T., García-Moya, E., Peña-Olvera, B.V. 2009. Sostenibilidad y estrategia en agroecosistemas campesinos de los valles centrales de Oaxaca. *Agrociencia* 3(43): 319-331.
- Cortés F., J. I., A. Turrent F., P. Díaz V., E. Hernández R., R. Mendoza R., E. Aceves R. 2005. Manual para el establecimiento y manejo del sistema milpa intercalada con árboles frutales (MIAF) en laderas. Colegio de Postgraduados, México.
- Cortés F., J. I., R. Mendoza R., E. Hernández R., E. Aceves R., A. Turrent F. y N. Estrella Ch. 2004. El sistema agrícola “Milpa intercalada en árboles frutales (MIAF)” en terrenos planos. Colegio de Postgraduados, Puebla, México.
- Flores, O. y P. Gerez. 1994. Biodiversidad y conservación en México: vertebrados, vegetación y uso del suelo. UNAM/Conabio. México.
- Fragoso, C. y P. Rojas 2009. La biodiversidad escondida: la vida microcósmica en el suelo. En: Toledo, V.M. (Ed), La Biodiversidad de México: Inventarios, manejos, usos, informática, conservación e importancia cultural. FCE, México, pp. 90-134.
- Fragoso, C., G. G. Brown, J.C. Patrón, E. Blanchart, P. Lavelle, B. Pashanasi, B. Senapati and T. Kumar 1997. Agricultura intensification, soil biodiversity and agroecosystem function in the tropics: the role of earthworms. En: C.A. Edwards (Ed.) *Applied Soil Ecology: A section of agriculture, ecosystems & environment*, Vol. 6: 17-35. Netherlands
- Galvis-Spínola, A. 1998. Diagnóstico y simulación del suministro de nitrógeno edáfico para cultivos anuales. Tesis doctoral, Colegio de Postgraduados, Montecillo, México.

- García, J.A. y C. Fragoso 2003. Influence of different food substrates on growth and reproduction of two tropical earthworm species (*Pontoscolex corethrurus* and *Amyntas corticis*). *Pedobiologia* 47:754-763.
- Giller, K-E., M. H. Beare, P. Lavelle, A. M. N. Izac y M. J. Swift 1997. Agricultural intensification, soil biodiversity and agroecosystem function. En: C. A. Edwards (Ed.). *Applied Soil Ecology: A section of agriculture, ecosystems & environment*, Vol. 6: 3-16. Netherlands.
- Gómez Cruz, M.A. y R. Schwentesius. 2003. Impacto del TLCAN en el sector agroalimentario: evaluación a diez años. En: *¿El campo aguanta más?*, R. Schwentesius, M.A. Gómez, J.L. Calva y L. Hernández N. (Eds.). CIESTAAM - La Jornada, México, pp. 51-71.
- Kang, B.T. and G.F. Wilson 1987. The development of alley cropping as a promising agroforestry technology. In: Howard A. Stepler and P.K. Ramachandran Nair (Eds) *Agroforestry a decade of development*. ICRAF. Nairobi. pp. 236-345.
- Lavelle, P. 1997. Faunal activities and soil processes: Adaptive strategies that determine ecosystem function. *Advances in Ecological Research* 24: 93-132.
- Lavelle, P., I. Barois, E. Blanchart, G. Brown, L. Brussaard, T. Decaëns, C. Fragoso, J.J. Jiménez, K. Kajondo, M.A. Martínez, A. Moreno, B. Pashanasi, B. Senapati, C. Villenave 1998. Las lombrices como recurso en los agroecosistemas tropicales. *Naturaleza y recursos* 1(34): 28-44.
- López T., G 2007. Sistemas agroforestales. SAGARPA. Disponible en: <http://www.sagarpa.gob.mx/desarrollorural/publicaciones/fichas/listafichas/A-08-1-pdf>
- Mittermeier, R. y C. Goettsch. 1992. La importancia de la diversidad biológica de México. En: Sarukhán, J. y R. Dirzo (comps.). *México ante los retos de la biodiversidad*. Conabio. México.
- Neyra, L. y L. Durand 1998. Biodiversidad. En: Conabio. *La diversidad biológica de México: Estudio de País*. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. México, pp. 61-102.
- Oldeman, L.R., Hakkeling, R.T.A. y Sombroek, W.G. 1990. World map of the status of human-induced soil degradation. ISRIC, Wageningen, Países Bajos y PNUMA, Nairobi, Kenya

- Ortiz-Ceballos, A.I., C. Fragoso, M. Equihua, G.G. Brown 2005. Influence of food quality, soil moisture and the earthworm *Pontoscolex corethrurus* on growth and reproduction of the tropical earthworm. *Pedobiologia* 49: 89-98.
- Paul, E. A. 1999. Soil biology and biochemistry. En: Handbook of soil science. Malcolm E. Summer (Ed). CRC Press, Washington, pp. C1-C94.
- Rasmussen, P.E.; K.W. Goulding, J.R. Brown, P.R Grace, H.H: Janzen, and M. Korschens. 1998. Long-term agroecosystem experiments: assessing agricultural sustainability and global change. *Science* 282: 893-896.
- Rodríguez, I.; Crespo, G.; Fraga, S. 1998. A note on the effect of cattle dung accumulation on soil macrofauna. *Rev. Cubana Cienc. Agríc.* 3 (32): 321-324.
- Sanchez, P. A. 1995. Science in agroforestry. *Agroforestry Systems* 1-2 (30): 5-55.
- Sarukhán, J., P. Koleff, J. Carabias, J. Soberón, R. Dirzo, J. Llorente-Bousquets, G. Halffter, R. González, I. March, A. Mohar, S. Anta, J. de la Maza 2009. Capital Natural de México. Síntesis: Conocimiento actual, evaluación y perspectivas de sustentabilidad. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. México.
- Senapati, P. Lavelle, P.cK. Panigrahi, S. Giri, y G. G. Brown 1999. Case study A1. Soil Fauna and organic fertilizers in tea gardens of Tamil Nadu, India. FAO. <http://www.fao.org/ag/aGL/agll/soilbiod/cases.stm>
- Stockdale, E.A., M.A. Shepherd, S. Fortune, S.P. Cuttle 2002. Soil fertility in organic farming systems – fundamentally different? *Soil Use and Management*, 1(18): 301–308.
- Toledo, V.M. y M.J. Ordóñez 2009. Zonas ecológicas de México. UNAM-CONABIO. México.
- Toledo, V.M., 2008. Metabolismos rurales: hacia una teoría económico-ecológica de la apropiación de la naturaleza. *Revista Iberoamericana de Economía Ecológica* 7: 1-26.
- Turrent F., A. y J. I. Cortés-Flores 2005. Ciencia y Tecnología en la agricultura mexicana: II. Producción de alimentos. *Terra Latinoamericana* 2 (23): 273-281.
- Turrent F., A., R Camacho C., N Francisco N., S Uribe G., J. I. Cortés F., R Mendoza R. 1999. Posibilidades técnicas de labor la soberanía alimentaria de origen vegetal en México. *Terra Latinoamericana* 1 (17): 59-76
- Wall, D. H. y J. C. Moore 1999. Interactions underground. *BioScience* 2(49): 109-117.

Woomer, P.L.; A. Martin; A. Albrecht; D.V.S. Resck y H.W. Scharpenseel 1994. The importance and management of soil organic matter in the tropics. En: P.L. Woomer y M.J. Swift (Eds.). The Biological Mangement of Tropical Soil Fertility, pp. 47-80. A Wiley-Sayce Publication.

CAPITULO III

CARACTERIZACIÓN DE LA MACROFAUNA Y MESOFAUNA EDÁFICA DEL SISTEMA MILPA INTERCALADA CON ÁRBOLES FRUTALES (MIAF) EN DOS REGIONES DEL CENTRO DE MÉXICO

Dionicio Juárez Ramón^{1*}, Carlos Fragoso González², Antonio Turrent Fernández³, Engelberto Sandoval Casto⁴, Ronald Ferrera Cerrato⁵, Ignacio Ocampo Fletes⁴, Juventino Ocampo Mendoza⁴

¹ *Centro de Agroecología, ICUAP, Boulevard 14 sur 6301, Ciudad Universitaria, 72570 Puebla, Puebla, México.*

² *Red Biodiversidad y Sistemática, Instituto de Ecología, A. C., Km. 2.5 Car. Antigua a Coatepec 351, Congregación El Haya, Xalapa 91070, Veracruz, México.*

³ *Instituto Nacional de Investigaciones Agrícolas y Pecuarias, Km 13.5 de la carretera los Reyes- Texcoco, Coatlinchan, 56250 Texcoco, Estado de México.*

⁴ *Colegio de Postgraduados (CP), Campus Puebla, Km. 125.5 Car. México-Puebla, Colonia La libertad, Cholula, Puebla, México.*

⁵ *CP- Campus Montecillo, Km. 36.5 Car. México- Texcoco, Montecillo, Estado de México, México.*

*Autor responsable. Correo electrónico: dionicio.juarez@correo.buap.mx. Tel.: +52 222 2295500/7357, +52 2322 2440537.

RESUMEN

El alley cropping: Milpa Intercalada con Árboles Frutales (MIAF), es un sistema de cultivo agroforestal tecnificado del centro de México. El MIAF es uno de los sistemas de cultivo más viables para mostrar la riqueza de la biodiversidad del país; sin embargo, no se ha medido el efecto que este sistema ejerce sobre los organismos del suelo, por lo que se han muestreado la macrofauna, los ácaros y los colémbolos de los surcos de producción perenne (*Prunus persica*) y de la parte media dedicada a especies anuales (*Zea mayz*, *Capsicum annum*, *Medicago sativa*), considerando 4 MIAF del ambiente seco y plano de Puebla, más otros 4 del húmedo y de ladera de Oaxaca; y al bosque de ambas regiones como control. Los resultados mostraron que la abundancia y la biomasa fueron mayores en hormigas y

lombrices, respectivamente; mientras que en Oaxaca, los mayores valores fueron en diplópodos. En ambas regiones, la densidad y la biomasa de la macrofauna y con el índice $a/a+c$, mostraron el gradiente “Bosque-MIAF”, con menores valores en Puebla; solamente Oaxaca mostró condiciones más favorables para la biota edáfica, posiblemente por el manejo de los materiales orgánicos (MO). De acuerdo a nuestros resultados, en Puebla existen oportunidades para estimular la diversidad y las poblaciones de la biota edáfica mediante el manejo de la MO y lograr un MIAF que aproveche la capacidad de reciclamiento de nutrientes de los organismos del suelo e impacte en la restauración de la fertilidad.

Palabras clave: biota edáfica, macrofauna, alley cropping, MIAF.

INTRODUCCIÓN

Los alley cropping son mezclas de cultivos agrícolas y forestales, donde los árboles se intercalan con callejones dedicados a especies anuales, en forma continua, cuyo sistema se ha practicado durante milenios en muchas partes de los trópicos (Allaby, 1998). El sistema está adaptado a la agricultura de pequeña escala para asegurar el suministro de alimentos en forma continua, rentable y evitar la degradación del suelo (Kang y Wilson, 1987; Sánchez, 1995). Además, por sus características es útil para mantener hábitats y conservar la biodiversidad, principalmente a través de la acumulación de hojarasca que actúa como una bomba de reciclaje de nutrientes sobre la superficie del suelo (Burger y Brasil, 1991).

La Milpa intercalada con árboles frutales (MIAF) es un sistema particular del “alley cropping” establecido en el centro de México, donde se intercalan surcos de variedades de durazno (*Prunus persica* (L.) Batsch) con franjas ocupadas por especies anuales o forrajeros (*Medicago sativa* L.; *Capsicum annum* L.; o *Zea mays* L.) (Cortés *et al.*, 2004, 2005). Dentro del MIAF, y si se considera el sistema de vegetación original, puede definirse un gradiente de intensificación, constituido por el bosque (vegetación original) – la línea de producción perenne – y la línea de producción con anuales. La intensificación puede ser de mayor a menor grado dependiendo del manejo de los materiales orgánicos de desecho, de los tipos de labores agrícolas y del uso de agroquímicos.

En principio el MIAF como sistema debería de influir positivamente en la biota del suelo siempre y cuando se mantenga el aporte de residuos orgánicos y se minimice la labranza. La abundancia y diversidad de la biota edáfica en general está relacionada positivamente con la fertilidad del suelo y con la capacidad productiva de los ecosistemas, a través de la regulación de la descomposición de la hojarasca, de la dinámica de la materia orgánica (MO) y del agua y del ciclo de nutrientes (Brussaard, 1998; Senapati *et al.*, 1999). La distribución de la MO, el agua, gases y otros organismos del suelo es favorecida por los ingenieros del ecosistema edáfico (Lavelle, 1997) como las lombrices de tierra, termitas y hormigas, mediante la construcción de galerías y estructuras dentro del suelo (Lavelle *et al.*, 1998).

Si bien no se conoce el efecto del alley cropping sobre la biota edáfica en climas templados, en los trópicos existen ejemplos que demuestran el beneficio de esta práctica sobre la biota del suelo, especialmente la macrofauna (Hauser *et al.*, 1998; Sileshi y Mafongoya, 2006). Actualmente no se conocen los efectos del sistema MIAF sobre la biota edáfica, por lo que su caracterización podría ayudar a mejorar el sistema de producción con objeto de incrementar la abundancia y diversidad de ciertas poblaciones de organismos y consecuentemente, la fertilidad del suelo.

En este estudio se cuantificó la abundancia y biomasa de la macrofauna y la mesofauna del suelo (ácaros y colémbolos), como indicadores de deterioro en ecosistemas (Parisi *et al.*, 2005), en dos localidades templadas del centro de México, en donde se utiliza el sistema MIAF, con el fin de conocer las condiciones actuales de la biota edáfica en el sistema para identificar áreas de mejoramiento para incrementar la producción agrícola.

MATERIALES Y MÉTODOS

Área de estudio

Esta investigación se llevó a cabo en parcelas de campesinos que fueron asesorados por el Colegio de Postgraduados en Ciencias Agrícolas, Campus Puebla y el Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias para instalar el MIAF, en la región seca de Chiautzingo y Huejotzingo, Puebla y la región húmeda en San Jerónimo Tecoaatl, Oaxaca (Figura 1) (Cortés *et al.*, 2004, 2005).

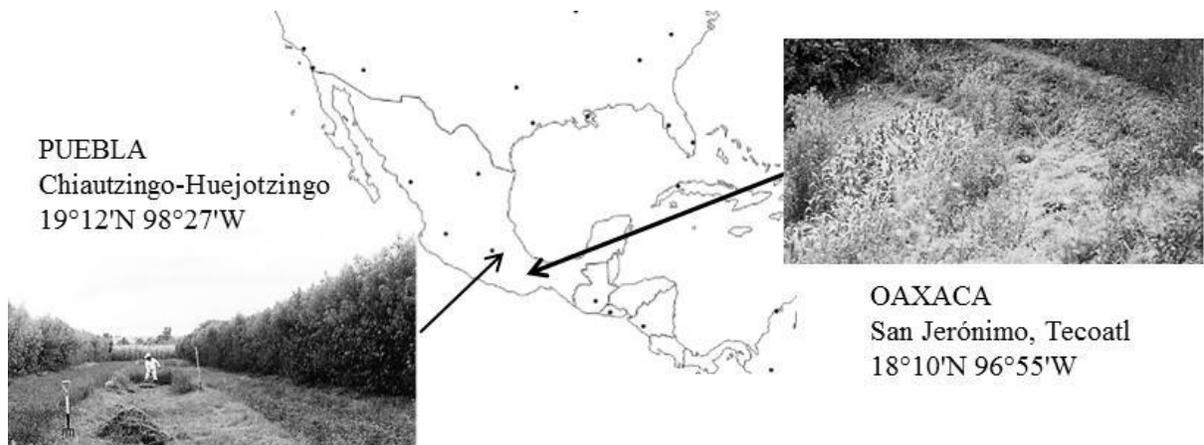


Figura 1. Localización de las regiones de estudio.

En cada una de las regiones se seleccionaron 4 MIAF (P1 a P4, en Puebla y P5 a P8, en Oaxaca), pertenecientes a diferentes campesinos, así como un bosque secundario (Bp – de Puebla y Bo – de Oaxaca) cercano y representativo de la vegetación original (Cuadro 1).

Cuadro 1. Localización y características ambientales de las regiones de estudio.

	PUEBLA	OAXACA
Altitud (promedio)	2372 msnm	1840 msnm
Temperatura (media anual)	15.2	16.7
Precipitación (anual)	900.8 mm	2120 mm
Clima (García, 1973)	C(w ²) ₂ (w)b(i')	C(w ₂)b(i')g
Suelo	Regosol	Cambisol
Topografía	Plana	Ladera
Tipo de bosque	Ciprés (Bp)	Encino y mesófilo (Bo)
MIAF (dimensiones):		
Durazno (D)	1 surco en franja de 4.8 m de ancho	1 surco en 4.6 m de ancho
Anuales (A)	12 surcos en franja de 9.6 m	8 surcos en 6.4 m de ancho
Barbecho	Tracción mecánica y animal	Manual
Humedad	Riego	Temporal
Desechos de cosecha y podas	Se extraen para forrajes y por limpieza de terreno	Se dejan en el terreno y/o coloca en filtros de escurrimiento
Fertilizantes	D (110-80-60): 450+foliar	D (90-45-75): 440 + 3 Kg gallinaza
D: g árbol ⁻¹ año ⁻¹	Maíz (160-70-0): 8	Maíz (70-46-00): 6.6

A: g planta⁻¹ año⁻¹

Productores	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8
Longitud de los surcos (m)	188	220	166	45	30	25	40	25
Tipo de cultivo anual	Alfalfa	Alfalfa	Chile poblano	Maíz	Maíz	Acahual	Maíz	Acahual
Edad del MIAF	6	12	13	14	9	9	8	9
Pesticidas (1 año⁻¹)	1	2	3	1	1	1	1	1

En Puebla ha disminuido la aplicación de fertilizantes en los últimos años por efectos de costo, sobre todo en anuales. En los sitios P1, P2 y P4 se realizan aplicaciones de estiércol de bovino, en cultivos anuales. En el sitio P4 se aplicaron acolchados orgánicos de 1994 al año 2000.

En Oaxaca, el suelo de los sitios P6 y P8 es más arcilloso y durante el muestreo la parte dedicada a anuales estuvo en periodo de descanso; el suelo de los sitios P5 y P7 es más franco, se ha cultivado maíz por varios años y presenta una acumulación notoria de materiales orgánicos sobre la base de los árboles de durazno, para el control de la erosión del suelo.

Muestreo

En cada uno de los MIAF (P) y el bosque se muestreó, al final de la temporada de lluvias (del 30 de octubre al 5 de diciembre de 2006). En cada MIAF se realizaron 6 puntos de muestreo, 3 a lo largo del surco ocupado por durazneros, más otros 3 sobre la parte media de la franja dedicada a cultivos anuales, en posición paralela a los primeros. En cada punto de muestreo se extrajo una muestra de macrofauna, otro de mesofauna y una más para análisis fisicoquímicos.

Macrofauna. Aplicando el método TSBF (Anderson e Ingram, 1993) se extrajeron manualmente, en cada MIAF, los organismos del suelo mayores de 2 mm de longitud, de 6 monolitos de 25x25 por 30 cm de profundidad, más otros 6 monolitos del bosque. Con excepción de las lombrices de tierra, que se fijaron en formol al 4%, el resto de la macrofauna se fijó alcohol al 70% y se trasladó a laboratorio para su separación, cuantificación y pesado. La macrofauna se separó en grupos a nivel de Clase, Orden y en

algunos casos, Familia, siguiendo las clasificaciones y dibujos presentados por Chu (1949), Borror y White (1970) y Eisenbeis y Wichard (1987). Las lombrices de tierra se identificaron hasta especie o morfoespecie, siguiendo las claves citadas por Reynolds (1977) y Blakemore (2006).

Mesofauna. Junto al monolito de la macrofauna, se colectó una muestra de suelo de un monolito de 5x5cm por 15cm de profundidad. La mesofauna se obtuvo en el laboratorio colocando cada muestra en un embudo de Berlese-Tullgren durante 5 días con un foco de 40 Watts encendido continuamente. Todos los organismos del suelo obtenidos se fijaron en alcohol al 70%.

Análisis Físico-químicos del suelo. De la misma tierra extraída en cada monolito de macrofauna, se separó una muestra de suelo (0-30 cm) a la cual se le realizaron los siguientes análisis fisicoquímicos: pH (agua, 1:2), textura (Boyucos), materia orgánica (Walkey-Black), carbono, nitrógeno total (Kjeldahl), fósforo extractable (Bray) y cationes intercambiables: K, Ca, Mg y capacidad de intercambio catiónico (CIC). Los análisis fisicoquímicos fueron realizados en el laboratorio de suelos del Instituto de Ecología, A. C.

Índice de diversidad y la tasa de deterioro. En cada punto de muestreo, se estimó el índice de diversidad Shannon-Weaner ($\hat{H} = -\sum p_i \ln p_i$) (Barbault, 1997), el cual es ampliamente utilizado en ecología. Y el cociente $m/m+s$ (N ácaros/(N ácaros+ N colémbolos)), en donde los ácaros son considerados sensibles a la perturbación de los ecosistemas, a diferencia del carácter oportunista invasivo de los colémbolos (Gulvik, 2007; Van Straalen, 1998; Socarrás y Rodríguez 2005).

Análisis estadísticos. Los datos obtenidos fueron analizados mediante ANOVA, previa prueba de homogeneidad de varianzas en cada variable. En los casos en que no se cumplían los supuestos, los datos fueron transformados a rangos, por cuanto éstas son más robustas a las pruebas no-paramétricas (Conover e Iman, 1981). Las comparaciones de medias se realizaron aplicando Tukey ($p \leq 0.05$); o Duncan ($p \leq 0.05$), si la variable no soportara el mismo nivel de rigurosidad (Zar, 2009). Los análisis se realizaron en tres niveles: región (Puebla y Oaxaca), sitio (MIAFs) y línea de producción (durazno y cultivo anual). Asimismo se calcularon las correlaciones entre variables, tomando valores de R^2 mayores a 0.5, significativos. En los análisis se utilizó el programa Statistica 6.0.

RESULTADOS

Comparaciones regionales

Como se muestra en el cuadro 1, las regiones de Puebla y Oaxaca difieren tanto en las variables climáticas (precipitación y humedad) y edáficas (tipo de suelo) como en el manejo de los residuos de materiales orgánicos.

El cuadro 2 resume las diferencias entre las 2 regiones, tanto en la densidad y biomasa y diversidad de grupos de macrofauna y mesofauna, como en los parámetros edáficos. Se observa que en varias variables (No. de grupos, índice H, abundancia total, ácaros, índice a/a+c, MO, N, P, Ca, CIC) los MIAF de Puebla, en comparación con Oaxaca, presentan los menores valores (cuadro 2); en Oaxaca, por otro lado, los MIAF presentan mayores valores que el bosque en la mayoría de las variables, principalmente en abundancia total, P, K y Ca. Sólo en el número de grupos, índice H, la abundancia total de macrofauna, colémbolos, y en el índice a/a+c, MO y CIC, los bosques de ambas regiones fueron estadísticamente similares. En Oaxaca los bosques fueron más diversos, con más ácaros y N₂ que en Puebla; en cambio los bosques de Puebla tuvieron mayor biomasa total de macrofauna, biomasa y densidad de lombrices de tierra y más cationes y P.

Cuadro 2. Valores promedio de las principales variables de macrofauna, mesofauna y del suelo en los MIAF y el bosque control en Puebla y Oaxaca. Se presenta también los resultados del ANOVA y de las comparaciones entre los sitios.

Variable	PUEBLA		OAXACA		Valores de F y p	Comparaciones
	MIAFp	Bp	MIAFo	Bo		
No. de grupos	5.87	5.83	8.41	8.00	F(3,56)= 5.10; p<.003	Bp=MIAFp<Bo<MIAFo (Duncan)
Índice H (Shannon-Weaver)	1.19	1.02	1.62	1.42	F(3,56)= 4.72; p<.005	Bp<MIAFp=Bo<MIAFo (Duncan)
Abundancia total (Individuos m ⁻²)	312.00	554.67	754.00	426.67	F(3,56)= 2.75; p<.051	MIAFp<Bo=Bp<MIAFo (Tukey)
Biomasa total (g m ⁻²)	11.79	63.68	15.82	12.79	F(3,56)=15.55; p<.000	MIAFp=Bo=MIAFo<Bp (Tukey)
Ácaros (Individuos m ⁻²)	430.00	914.66	941.66	2986.67	F(3,56)= 4.26; p<.009	MIAFp<Bp=MIAFo<Bo (Tukey)
Colémbolos (Individuos m ⁻²)	1260.67	394.67	933.33	613.33	N.S.	
Índice a/a+c	0.26	0.70	0.52	0.76	F(3,56)=27.09; p<.000	MIAFp<MIAFo=Bp=Bo (Tukey)
pH	6.25	6.26	4.94	4.05	F(3,56)=25.22; p<.000	Bo=MIAFo<MIAFp=Bp (Tukey)
MO en suelo (%)	1.08	6.12	6.48	10.46	F(3,56)=21.87; p<.000	MIAFp<Bo=MIAFo=Bp (Tukey)
N total (%)	0.06	0.24	0.37	0.53	F(3,56)=25.07; p<.000	MIAFp=Bp<MIAFo=Bo (Tukey)
P	19.91	6.60	32.50	0.07	F(3,56)= 2.98; p<.039	Bo<Bp=MIAFp<MIAFo (Duncan)
K	0.55	1.18	0.47	0.07	F(3,56)= 6.14; p<.001	Bo=MIAFo<MIAFp<Bp (Tukey)
Ca	2.65	9.61	6.62	0.60	F(3,56)= 6.81; p<.000	Bo=MIAFp<MIAFo=Bp (Tukey)
Mg	2.57	6.16	1.05	0.33	F(3,56)=45.73; p<.000	Bo=MIAFo<MIAFP<Bp (Tukey)
CIC	5.48	13.55	14.66	15.18	F(3,56)=38.76; p<.000	MIAFp<Bp=MIAFo=Bo (Tukey)

n= 60 monolitos

En ambas regiones, la densidad y biomasa de macrofauna está dominada por las hormigas (*Formicidae*) y las lombrices (*Oligochaeta*), respectivamente (cuadro 3). También es importante la presencia de larvas de coleópteros en Puebla y de diplópodos en Oaxaca, este último debido probablemente a la mayor cantidad de desechos de cosecha.

Cuadro 3. Valores promedio y porcentaje de abundancia y biomasa de los grupos de macrofauna de los MIAF de Puebla y Oaxaca (n=48).

GRUPOS	PUEBLA				OAXACA			
	ABUNDANCIA		BIOMASA		ABUNDANCIA		BIOMASA	
	Individuos m ⁻²	%	g m ⁻²	%	Individuos m ⁻²	%	g m ⁻²	%
Araneae	5	2	0.020	0	17	2	0.080	0
Chilopoda	14	5	0.102	1	43	6	0.320	2
Coleoptera	38	12	0.369	3	53	7	0.400	3
Dermaptera	1	0	0.009	0	28	4	0.270	2
Diplopoda	0	0	0	0	111	15	1.620	10
Diplura	1	0	0.005	0	32	4	0.080	0
Dyctioptera	0	0	0	0	1	0	0.010	0
Formicidae	105	34	0.117	1	235	31	0.460	3
Gasteropoda	0	0	0	0	1	0	0.080	0
Hemiptera	5	2	0.029	0	17	2	0.140	1
Homoptera	13	4	0.091	1	1	0	0	0
Isopoda	2	1	0.055	0	13	2	0.900	6
Larvas de Coleoptera	59	19	2.127	18	83	11	3.250	21
Larvas	16	5	0.147	1	21	3	0.110	1
Lepidopera	6	2	0.752	6	2	0	0.050	0
Oligochaeta	38	12	6.993	59	89	12	7.640	48
Orthoptera	2	1	0.827	7	3	0	0.390	2
Pupas	4	1	0.149	1	5	1	0.060	0

Los suelos de los sitios de la región Puebla son de textura migajón arenosa, con contenidos de MO entre 0.64 y 1.59% en los MIAF y entre 5.02 a 7.32% en el bosque. En los MIAF de Oaxaca, los suelos son de textura franco arcilloso, con contenidos de MO entre 2.4 y 13.4% y el bosque de 10.46%, promedios.

La baja o nula precipitación en la época invernal de Puebla, combinado con la naturaleza arenosa de los suelos, hace que la disponibilidad de agua sea menor que en Oaxaca, lo que explica las diferencias en abundancia y biomasa total entre las 2 regiones.

Comparaciones locales de la fertilidad y de la biota edáfica.

I. Puebla

Por su clima más seco, la poca humedad y sus suelos arenosos, el impacto de la agricultura sobre la fertilidad y riqueza biótica del suelo es más acusado en esta región, tanto en MO, N, Ca y CIC. Los MIAF presentan valores significativamente más bajos que el bosque (Cuadro 2) y lo cual estuvo relacionado con el índice $a/a+c$ (figura 2).

Si bien la abundancia total de macrofauna no mostró diferencias significativas entre los MIAF y el bosque ($F(4,25)=2.15$; $p<.1038$); la biomasa fue significativamente mayor en bosque ($F(4,25)=8.42$; $p<.0002$), debido principalmente a las lombrices de tierra. En las comparaciones intra MIAF ($F(3,20)=4.03$; $p<.0216$), el mayor valor fue en P2, que es precisamente en donde se realizan aplicaciones de estiércol de bovino; mientras que el menor valor se dio en P3, en donde se extraen casi totalmente los residuos de cosecha y los materiales orgánicos y se aplica mayor cantidad de agroquímicos.

A nivel de los grupos de macrofauna, sólo se observaron diferencias significativas entre los MIAF, en la abundancia de chilópodos, larvas de coleópteros y lombrices de tierra (quienes en conjunto cubren el 36% de la diversidad biológica) y en la biomasa de lombrices. El sitio P3 fue el más escaso y P2, el más abundante (cuadro 4).

Es importante señalar que no se encontraron arañas, dipluros, hormigas, hemípteros, homópteros, isópodos, larvas ni ortópteros en bosque, ni diplópodos en áreas cultivadas. Las lombrices de tierra en las áreas cultivadas presentaron una abundancia de 39 individuos m^{-2} y una biomasa de 6.9 $g m^{-2}$, mientras que en el bosque hubo 344 y 57.6, respectivamente.

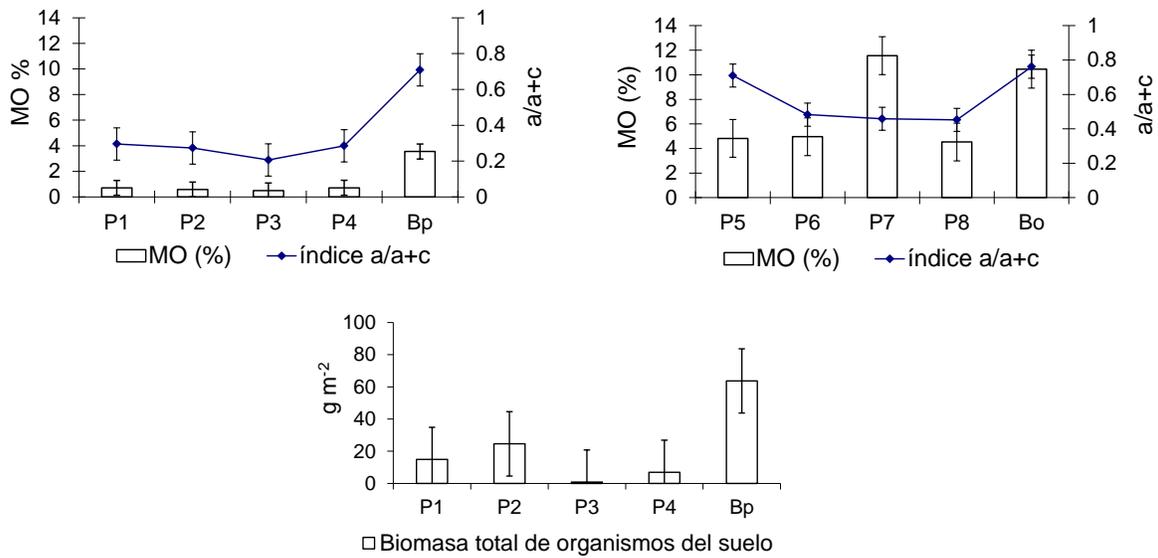


Figura 2. Variables que mostraron diferencias significativas a nivel de sitios (Tukey $p < 0.05$, $n = 30$). De P1 a Bp corresponde a Puebla; de P5 a Bo, Oaxaca.

Cuadro 4. Abundancia y biomasa de los grupos de la macrofauna que mostraron diferencias significativas entre los MIAF.

GRUPOS	(%)	VALORES DE F y p	TUKEY $p < 0.05$
PUEBLA			
ABUNDANCIA (individuos m⁻²)			
Chilopoda	5	F(3,20)=3.60; $p < .0314$	P3 < P4=P1 < P2
Larvas de Coleoptera	19	F(3,20)=9.58; $p < .0004$	P3 < P4 < P1 < P2
Oligochaeta	12	F(3,20)=9.03; $p < .0006$	P3=P4=P1 < P2
BIOMASA (g m⁻²)			
Oligochaeta	59	F(3,20)=3.79; $p < .0266$	P3=P4 < P1 < P2
OAXACA			
ABUNDANCIA (individuos m⁻²)			
Chilopoda	5.7	F(3,20)=5.38; $p < .0070$	P8=P7 < P5 < P6
BIOMASA (g m⁻²)			
Coleoptera	2.7	F(3,20)=5.28; $p < .0076$	P8=P7 < P5 < P6
Larvas	0.5	F(3,20)=4.98; $p < .0097$	P8=P7 < P5 < P6

II. Oaxaca

En Oaxaca, a diferencia de Puebla, los mayores valores significativos de algunas variables edáficas correspondieron a los sitios P5 y P7 en lugar del bosque (Cuadro 5), las diferencias entre el bosque y los MIAF oscilaron entre el 9.5% (MO) hasta el 96.6% (Ca).

En contraste con Puebla, el índice $a/a+c$ (figura 2) no mostró una relación clara con el contenido de MO, observándose los mayores valores en el bosque y en P5 ($F(4,25)=6.1172$, $p<0.001$). Sin embargo, los MIAF más deteriorados de la región de Oaxaca, presentan valores de casi el doble de los MIAF de Puebla.

Tanto la abundancia ($F(3,20)=2.20$; $p<.119$) como la biomasa ($F(3,20)=0.96$; $p<.429$) de la macrofauna no presentó diferencias significativas entre los sitios muestreados. En el análisis por grupos, sólo hubo diferencias en la abundancia de chilópodos y en la biomasa de coleópteros y larvas (Cuadro 4).

No se encontraron cucarachas, caracoles, chinches, homópteros e isópodos en el bosque, ni himenópteros y tisanuros en áreas cultivadas.

En el caso de lombrices de tierra, las áreas cultivadas presentaron una abundancia de 88 individuos m^{-2} ($7.63 g m^{-2}$), ligeramente mayor (aunque no estadísticamente) que en el sitio bosque, donde hubo 67 ($7.74 g m^{-2}$).

Cuadro 5. Variables edáficas que mostraron diferencias significativas entre el bosque y los MIAF en la región de Oaxaca.

VARIABLES	Valores de F y p	TUKEY $p<0.05$
MO	$F(4,25)=5.98$, $p<0.002$	$P8<P5=P6<Bo < P7$
N	$F(4,25)=4.04$, $p<0.012$	$P8<P6=95=Bo < P7$
Ca	$F(4,5)=9.14$, $p<0.020$	$Bo=P7=P8 < P6 < P5$
pH	$F(4,5)=46.62$, $p<0.000$	$P7=Bo=P8=P6 < P5$
CIC	$F(4,5)=5.56$, $p<0.044$	$P6 < P8=Bo=P5 < P7$

En P, K, Mg los sitios y el bosque son iguales.

Efecto del Sistema MIAF.

Entre las líneas de durazno y las franjas dedicadas a cultivos anuales se observan diferencias significativas en algunas variables edáficas, en Puebla (MO) y en mayor grado

en Oaxaca (N, K, Mg) (cuadro 6), siendo en todos los casos el suelo del durazno con los valores más elevados; en el caso de Ca, P, pH y la CIC no hubo diferencias entre los árboles y los cultivos anuales.

Cuadro 6. Comparación de variables edáficas entre las líneas de producción durazno (D) y cultivos anuales (CA) de los MIAF en las dos regiones de estudio.

Variable*	PUEBLA			OAXACA		
	D	CA	Valor de F y p	D	CA	Valor de F y p
pH	6.39	6.11	N.S.	4.99	4.90	N.S.
MO (%)	1.27	0.87	F(1,22)=7.08; p<.0143	7.45	5.48	N.S.
N (%)	0.07	0.05	N.S.	0.43	0.30	F(1,22)=4.46; p<.0463
P (mg Kg ⁻¹)	24.62	15.20	N.S.	53.5	11.4	N.S.
K (cmol Kg ⁻¹)	0.80	0.29	N.S.	0.84	0.09	F(1,6)=9.93; p<.0198
Ca (cmol Kg ⁻¹)	2.98	2.32	N.S.	8.54	4.71	N.S.
Mg (cmol Kg ⁻¹)	2.66	2.47	N.S.	1.81	0.29	F(1,6)=18.39; p<.0052
CIC	5.67	5.29	N.S.	16.1	13.21	N.S.

* Para MO y N, n=24; para las demás variables, n=8.

En cuanto a los patrones de macrofauna, en Puebla el número de grupos en cultivos anuales fue un 13% menor al del suelo cultivado con durazno. En Oaxaca no se observaron diferencias entre ambas líneas de producción (cuadro 7).

La diversidad del suelo (índice Shanon-Weaner) tampoco mostró diferencias significativas entre las líneas de producción (Puebla: F(1,22)=.05; p<.827; Oaxaca: F(1,22)=1.81; p<.192). El índice a/a+c de mesofauna no mostró diferencias significativas entre las líneas de producción.

En Oaxaca, los diplópodos, las lombrices de tierra y los chilópodos (que representan el 29% del total de organismos encontrados) mostraron abundancias significativamente más altas en el suelo de los surcos de los duraznos que en las franjas con cultivos anuales (cuadro 7); la abundancia de larvas de coleópteros, por otro lado, presentó la situación inversa.

Cuadro 7. Valores promedio de abundancia y biomasa en las líneas de producción de los MIAF, de aquellos grupos de macrofauna con una abundancia mayor de 5%. También se presentan los valores totales promedio de macrofauna.

Grupos		D	CA	Valor de F y p
PUEBLA				
No. de grupos		15	13	
Índice Shanon-Weaver		1.17	1.22	N.S.
Individuos m ⁻²	Formicidae	54.7	154.7	N.S.
	L de Coleoptera	65.3	53.3	N.S.
	Oligochaeta	36.0	40.0	N.S.
	Coleoptera	32.0	44.0	N.S.
	Chilopoda	16	17	N.S.
	Larvas	8	24	N.S.
	Total promedio	256.0	363.0	
g m ⁻²	Oligochaeta	5.123	8.864	N.S.
	L de Coleoptera	2.981	1.272	F(1,16)= 6.12, p<0.025
	Orthoptera	1.653	0.000	N.S.
	Total promedio	11.455	12.129	
OAXACA				
No. de grupos		17	17	
Índice Shanon-Weaver		1.72	1.51	N.S.
Individuos m ⁻²	Formicidae	210.7	258.7	N.S.
	Diplopoda	188.0	33.3	F(1,16)= 11.98, p<0.003
	L de Coleoptera	54.7	110.7	F(1,16)= 8.32, p<0.012
	Oligochaeta	141.3	36.0	F(1,16)= 62.27, p<0.000
	Coleoptera	45.3	61.3	N.S.
	Chilopoda	74.7	10.7	F(1,16)= 62.27, p<0.000
Total promedio	919.0	589.0		
g m ⁻²	Oligochaeta	9.968	5.306	N.S.
	L de Coleoptera	2.096	4.394	N.S.
	Diplopoda	2.013	1.221	N.S.
	Isopoda	0.463	1.327	N.S.
	Total promedio	16.844	14.805	

D= línea de duraznos; CA= línea de cultivos anuales.

Al analizar la abundancia y biomasa totales y por grupos entre cada línea de producción, para cada sitio-productor (figura 2), se observa que en P2 y P5 de los 8 sitios en estudio se observaron diferencias significativas en la abundancia o biomasa totales, siendo el sitio P5 (cuadro 8, figura 3) donde se presentó la mayor cantidad de grupos con diferencia significativa (Chilopoda, Diplura, Isopoda y Oligochaeta, que representan el 24% de la macrofauna total) y con valores preferentemente mayores en el suelo de los árboles de durazno. En el caso de ácaros y colémbolos, no hubo diferencia significativa alguna.

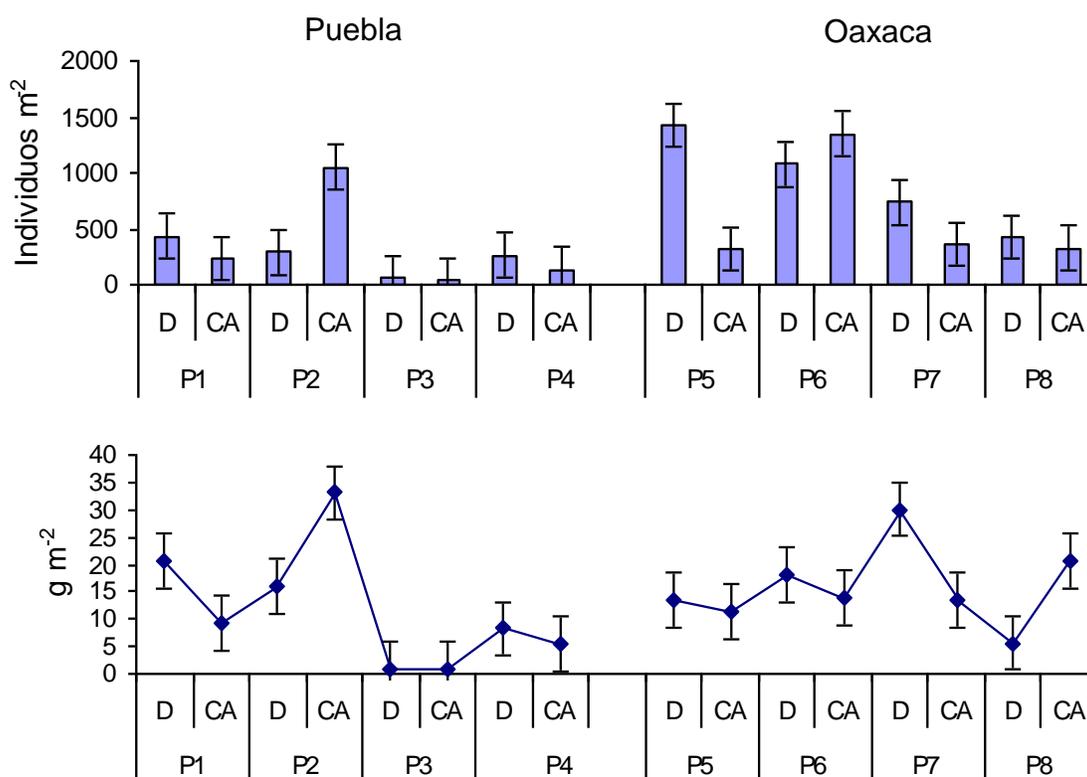


Figura 3. Abundancia y biomasa de la macrofauna por línea de producción en los MIAF de Puebla y Oaxaca. D= durazno; CA= cultivo anual. Las barras indican el error estándar de la media.

Cuadro 8. Grupos de macrofauna que mostraron diferencias significativas entre surcos de durazno y áreas dedicadas a cultivos anuales, por sitio-productor, en los MIAF de Puebla y Oaxaca.

GRUPO	MIAF	Valores de F y p	D		CA		
PUEBLA							
Coleoptera	P2	F(3,16)= 3.26, p<0.049	0	0%	117	100%	Individuos m ⁻²
Araneae	P4	F(3,16)= 3.44, p<0.042	0.107	100%	0.000	0%	g m ⁻²
Chilopoda	P2	F(3,16)= 5.03, p<0.012	0.058	15%	0.331	85%	g m ⁻²
	P1		0.320	94%	0.021	6%	
Larvas de Coleoptera	P2	F(3,16)=3.10, p<.056	155	66%	80	34%	Individuos m ⁻²
OAXACA							
Chilopoda	P5	F(3,16)= 5.91, p<0.006	133	92%	11	8%	Individuos m ⁻²
Diplopoda	P6	F(3,16)= 6.32, p<0.004	443	98%	11	2%	Individuos m ⁻²
Diplura	P5	F(3,16)= 3.79, p<0.031	133	92%	11	8%	Individuos m ⁻²
Isopoda	P5	F(3,16)= 5.01, p<0.012	64	93%	5	7%	Individuos m ⁻²
Oligochaeta	P5	F(3,16)= 4.76, p<.015	336	91%	32	9%	Individuos m ⁻²

DISCUSIÓN

Los sistemas Alley cropping y el MIAF como un caso particular, además de ser productivos, son sistemas mucho más benéficos para el ambiente (Thevathasan y Gordon, 2004) debido a la presencia de árboles; esos sistemas contribuyen a la preservación de hábitats para diversas especies de plantas y animales; así como a la protección del suelo mediante el control de la erosión y la conservación de la humedad y el reciclamiento de nutrientes y mediante las raíces de los cultivos anuales y herbáceas y de las raíces profundas de las especies perennes. Como sistema agroforestal puede conformar un microclima que favorezca la actividad biológica del suelo; así como aportar de manera constante hojarasca diversa (Vohland y Schroth, 1999), que repercute directamente en el incremento de las poblaciones de organismos del suelo (Tian *et al.*, 2000). Asimismo, este sistema debería favorecer a los ingenieros del ecosistema y a los descomponedores de

hojarasca, cuyas actividades contribuyen también al mantenimiento de la salud y la fertilidad del suelo (Barros *et al.*, 2001; Lavelle *et al.*, 1997).

Comparaciones del MIAF con otros Alley cropping

El cuadro 9 muestra que los valores encontrados en los MIAF de Puebla y Oaxaca, son similares con los de otros sistemas parecidos de alley cropping, con datos de número de grupos, abundancia y biomasa total de la macrofauna.

Al comparar la abundancia y la biomasa, los mayores valores se localizan en las áreas o surcos ocupadas con especies perennes; lo mismo en las diferencias en el número de grupos. Solamente el MIAF de Puebla muestra una situación contraria. Wardle *et al.*, (2006) mencionan que el tipo y la calidad de la hojarasca son las que determinan la diversidad y abundancia de los organismos descomponedores, pues aún al interior de cada línea de producción puede haber diferencias por la especie vegetal presente (Vohland y Schroth, 1999; Price y Gordon, 1999).

En las comparaciones con los principales grupos puede observarse que son las hormigas quienes dominan en densidad y lombrices de tierra en biomasa, con excepción de los suelos en climas tropicales, en donde las termitas tienen importancia mayor. Asimismo las larvas de coleópteros, coleópteros representan poblaciones importantes en suelos cultivados y los milpies e isópodos, en suelos con mayor cantidad de materiales orgánicos.

Cuadro 9. Comparaciones de los MIAF de Puebla y Oaxaca con otros Alley cropping de clima templado y tropical, con datos de macrofauna totales.

Lugar	Clima	Línea Cultivo Perenne		Línea Cultivo Anual		Fuente
		D	B	D	B	
Ontario, Can.	700 mm	Álamo, Arce, Fresno		Maíz, trigo, soya		Thevathasan y Gordon, 2004; Price y Gordon, 1999
	17°C	343	544	11	6.07	
		(sólo lombrices)		(sólo lombrices)		
	28°C	74	195.6	4	4.54	
		(sólo lombrices)		(sólo lombrices)		
	Grupos	n.d.		n.d.		
Yumiraguas, Perú	26°C, 2200 mm	Pijuayo		Maíz		Pashanasi, 2001
		900	84.8	397	32.4	
		36% termitas	87% lombrices	44% termitas	11% lombrices	

		24% lombrices	7% miriápodos	29% hormigas	11% miriápodos	
		20% hormigas	2% coleópteros	7% lombrices	2% coleópteros	
	Unidades taxonómicas	32		25		
		Palma, Cacao, Nuez, Achioté		Pasto		
Manaus, Brazil	26°C, 2622 mm	103	516	42	246	Vohland y Schroth, 1999
		n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	
	Familias	19		24		
		Durazno		Maíz, gladiola, chile		
		261	11.4	363	12.1	
Puebla, Méx.	15.2°C, 901 mm	25% larvas de coleópteros	45% lombrices	43% hormigas	73% lombrices	
		21% hormigas	26% larvas de coleópteros	15% larvas de coleópteros	10% larvas de coleópteros	
		14% lombrices	14% chapulines	12% coleópteros	8% larvas de mariposas	
	Grupos	15		13		Este estudio
		Durazno		Maíz, acahual		
		919	16.8	589	14.8	
Oaxaca, Méx.	16.7°C, 1840 mm	23% hormigas	59% lombrices	43% hormigas	36% lombrices	
		20% diplópodos	12% larvas de coleópteros	19% larvas de coleópteros	30% larvas de coleópteros	
		15% lombrices	12% diplópodos	10% coleópteros	9% isópodos	
	Grupos	17		17		

D= Densidad (Individuos m⁻²); B= Biomasa (g m⁻²)

Existen otros estudios en las que se han estimado la abundancia y biomasa de los organismos del suelo en diferentes sistemas de producción (Brown *et al.*, 1999, 2001; Pashanasi, 2001; Fragoso, 2001); aunque generalmente estos sistemas no se intercalan ni presentan un diseño como Alley cropping, comprueban también que en aquellos medios donde existe una mayor cobertura vegetal, sea arbustiva o arbórea, tienden a concentrar mayores valores de abundancia y biomasa, comparada con áreas dedicadas a cultivos anuales. Faltaría considerar estudios para determinar de qué manera se comporta la biota edáfica en los MIAF, a través del tiempo, como las encontradas por Gilot *et al.* (1995) en las plantaciones de hule.

Gradiente: Bosque-Línea de producción durazno-Línea de producción anual

Los gradientes de intensificación agrícola (Giller *et al.*, 1997; Matson *et al.*, 1997) son una buena aproximación para observar el modo en el cual la actividad agrícola afecta las propiedades biológicas de los suelos (Fragoso *et al.*, 1997). En este estudio fue posible definir una aproximación a este tipo de gradiente al comparar los bosques (menor intensificación) con la línea de árboles de duraznos y la línea de producción anual (mayor intensificación).

Los resultados mostraron que la abundancia y la biomasa de organismos del suelo no responden al gradiente bosque – línea de producción durazno – cultivos anuales, en ninguna de las dos regiones (abundancia: Puebla= 47–22–31%, Oaxaca= 22–47–31%; biomasa: Puebla= 73–13–14%; Oaxaca= 29–38– 33%), a pesar de ser líneas de producción contrastantes (Morales y Sarmiento, 2002) y que se ajustaría a niveles de intensificación agrícola distintos. De tal modo que solamente se aprecian diferencias entre el Bosque y el sistema MIAF, las cuales fueron mucho más notorias en Puebla que en Oaxaca. Esta diferencia podría ser explicada por la disponibilidad de materiales orgánicos para su descomposición y de humedad en el suelo.

Al menos en Puebla, la ausencia de un gradiente entre los tres ambientes puede ser debido a la presión antropogénica sobre el suelo de los árboles de duraznos, pues al ser el MIAF concebido bajo el concepto de cultivo y de productividad, los productores tienden a mantenerlo limpio de herbáceas. Otro factor sería la naturaleza caduca de los árboles de duraznos que permite la evaporación de la humedad del suelo en la época seca y por la poca presencia de hojarasca. En los bosques, por ejemplo, esta hojarasca permanece 2.5 meses más, como en las plantaciones de árboles en monocultivo (Vohland y Schorth, 1999; Tian *et al.*, 2000), ayudando a proteger la evaporación y a otros organismos del suelo como las lombrices de tierra (Hauser, 1993; Hauser *et al.*, 1998).

Debido a la naturaleza arenosa de los suelos de Puebla, la baja precipitación y la falta de la capa protectora de la hojarasca, hace que la pérdida de humedad sea más rápida, el cual en dos semanas se observó una pérdida de humedad del 12.7 al 2.3%, alcanzando el punto de marchitamiento permanente.

En Oaxaca, la falta del gradiente se induce por la mayor abundancia de organismos del suelo en los MIAF, especialmente en las líneas de duraznos, posiblemente estimulados por las acumulaciones de desechos de cosecha y herbáceas, que hacen los productores sobre la base de los árboles de duraznos, disponibles para su descomposición, así como a la mayor humedad del suelo favorecida por la ausencia de una época seca en el año. Sin embargo, con la biomasa no se alcanza a diferenciar a las líneas de producción de los MIAF con el bosque, probablemente por la calidad nutritiva de los materiales orgánicos depositados (Desjardins *et al.*, 2004; Matus y Maire, 2000) que sirven como alimento de los organismos descomponedores del suelo.

Comparaciones de la macrofauna y mesofauna

A nivel de los MIAF, la macrofauna estuvo dominada por las hormigas en la abundancia (33%) y por las lombrices en la biomasa (53%), tal y como ha sido observado en otros estudios de macrofauna en diversos sistemas naturales y perturbados en los trópicos (Brown *et al.*, 2001; Lavelle y Pashanasi, 1989) y en climas templados (Doube y Schmidt, 1997).

Los valores de abundancia y biomasa total promedios muestran que las larvas de coleópteros tienden a dominar también en las áreas cultivadas de Puebla, donde podrían constituirse con mayor facilidad en plagas del suelo como en otras regiones del centro de México (Nájera y Velázquez, 2001), mientras que los diplópodos están ausentes; en cambio en los MIAF de Oaxaca, los diplópodos se presentan en cantidades similares al suelo del bosque (Edwards, 1974), desplazando a las larvas de coleópteros en abundancia, los cuales son importantes pero solamente en biomasa.

La presencia de otros grupos en cantidades similares en los MIAF entre ambas regiones, como los coleópteros y chilópodos; así como larvas, chapulines e isópodos pueden contribuir en la estructura poblacional en el suelo de los MIAF, conformando otras interacciones ecológicas a través de sus hábitos alimenticios (Lavelle, 1997; Vohland y Schroth, 1999).

La abundancia de ácaros y de colémbolos (Puebla: 430, 1270; Oaxaca: 942, 933, respectivamente) puede estar determinada por la cantidad de hojarasca (Wolters, 1998) y por la humedad del suelo en los MIAF (van Straalen, 1998), donde además, el carácter oportunista de los colémbolos de adaptarse a ambientes perturbados (Guillén *et al.*, 2006)

permite observar una mayor población, respecto de los ácaros, con lo que se modifica el índice $a/a+c$, mostrando mayor nivel de perturbación en los MIAF de Puebla.

Condiciones favorables para la biota edáfica en el MIAF

A los patrones de la macrofauna, tanto en Puebla como en Oaxaca, fue más importante el manejo de cada MIAF por cada productor que las diferencias dentro del mismo sistema MIAF (durazno vs. cultivo anual). Se sabe que la acumulación de residuos orgánicos es muy importante para la biota del suelo (Curry, 2004; Parkinson *et al.*, 2004, Vohland y Schroth, 1999) y definitivamente esto varía de acuerdo al productor. De tal modo que en aquellos sistemas con acumulaciones de materiales orgánicos (MIAF de Oaxaca) o aplicaciones de estiércoles (P2), no sólo hubo mayor abundancia o biomasa de macrofauna, sino que estas fueron diversas, similares resultados han sido encontrados por Morales y Sarmiento (2002), Morón-Ríos y Huerta-Lwanga (2006), Vohland y Schroth (1999) y Doblas-Miranda *et al.*, (2008) al evaluar agroecosistemas con diferente nivel de perturbación.

Otra variable importante que podría estar afectando a los patrones de la macrofauna es el pH del suelo, sobre todo en los suelos con alto contenido de materiales orgánicos susceptibles a descomposición; sin embargo en este estudio no se alcanza a distinguir alguna correlación significativa con la abundancia y biomasa, sólo se encontraron tendencias entre las lombrices de tierra y los contenidos de calcio (R^2 ajustado= 0.0549, $p < 0.003$), en las líneas de durazno en Oaxaca. A nivel puntual sobresalió el sitio P5, en donde el pH es de 6.6 (Ca intercambiable, 17.6 cmol Kg⁻¹), mientras que en los demás sitios de la misma región no superan el 4.7 (<4.8 cmol Kg⁻¹ de Ca), en donde la relación de la acidez del suelo con la abundancia de lombrices de tierra ha sido señalada por Lavelle *et al.*, (1995).

El índice $a/a+c$ indica un potencial del grado de estrés de un sistema, pues se sabe que los colémbolos predominan en ambientes más perturbados, secos y con mayor estrés, mientras que los ácaros lo hacen en ambientes más favorables (van Straalen *et al.*, 1998). En Puebla fue obvio que los MIAFs son sistemas muy estresados en comparación con Oaxaca, ya que el índice $a(a+c)$ fue significativamente menor que el bosque en todos los MIAFs, lo que no

se observó en Oaxaca y que coincide con los valores de abundancia y biomasa totales de macrofauna encontrados.

La dominancia de lombrices de tierra y diplópodos en los MIAF de Oaxaca, en donde existe mayor cantidad de hojarasca, puede ser la variable detonante de una mayor diversidad de organismos del suelo (18, comparado con 15 en Puebla), que involucre una mayor actividad biológica en el suelo (Vohland y Schroth, 1999) ambos reconocidos como descomponedores primarios de los materiales orgánicos disponibles (Eisenbeis y Wichard, 1987; Brussaard, 1998), mismos que sirven como fuente de alimento, incrementando con ello el número de individuos (Dikinson, 1974; Desjardins *et al.*, 2004).

La implementación de filtros de escurrimiento (Cortés *et al.*, 2005) en las base de los árboles de duraznos de los MIAF pueden ser importantes medios que bioestimulen a los organismos del suelo, pues en Oaxaca albergan el 61% de la población total, mientras el resto se localiza en la parte dedicada a especies anuales.

Mejoramiento de las condiciones edáficas de los MIAF

Nuestros resultados muestran que al igual que cualquier ecosistema o sistema agrícola, una mayor fertilidad del suelo estaría relacionada con comunidades más diversas y abundantes de biota edáfica (Swift, 1999). En Oaxaca los índices de humedad, vegetación, manejo y temperatura propician que haya una macrofauna más abundante, aunque esto varía por el tipo de manejo. En Puebla la macrofauna es escasa en la mayoría de los casos, pues las condiciones ambientales son poco propicios (frío y seco). Esto resulta que el manejo individual de cada MIAF en Puebla será fundamental para cambiar la fertilización y, en consecuencia, los patrones de abundancia, biomasa y diversidad de la biota edáfica. Se ha observado que el cambio en el manejo por su productor (Laird, 1977) puede influir a otros productores, pero siempre después de ver los resultados, de tal modo que, tomando en cuenta que la presencia y actividades de los organismos en el suelo depende del nivel de intensificación agrícola, del manejo y de la calidad de los materiales orgánicos utilizados, así como de la temperatura y humedad (Lavelle *et al.*, 1998; Price y Gordon, 1999), se pueden proponer cambios al sistema MIAF, dirigido específicamente a mejorar los indicadores ambientales por la biota edáfica y consecuentemente, la fertilidad del suelo.

Esto se debería llevar al caso de Puebla, pues fue la región en donde los MIAF tuvieron menos valores de fertilidad y de biota del suelo; esta modificación al manejo del MIAF estará más acorde con la idea actual de que los sistemas agroforestales son alternativas viables de la agricultura sustentable (Sanchez, 1987), mitigando los efectos negativos de las prácticas agrícolas convencionales actuales aplicados en los cultivos anuales (Price y Gordon, 1999).

En los MIAF de este estudio, donde las especies perennes son frutales de hoja caduca, propios de los cultivos intercalados (alley cropping) de clima templado (Workman *et al.*, 2003), el manejo podría ser complementado por una cubierta vegetal con especies leguminosas, lo que incrementaría la fijación biológica de nitrógeno y la calidad de las aportaciones de hojarasca al suelo y así, favorecer la actividad biológica del suelo (Setälä *et al.*, 2000; Schmidt *et al.*, 2003). Siempre bajo el supuesto de que el sistema agroforestal también es factible bajo conceptos de producción orgánica (Jordan, 2004) en algunos tipos de suelos.

Otro aspecto importante sería que los productores se apropien del funcionamiento global del MIAF, no sólo desde el punto de vista productivo, sino de las causas (y su relación con el manejo) que mantienen esta productividad (humedad, nutrientes) pero particularmente sobre el rol de la biota edáfica, de tal modo que con su percepción (Birang *et al.*, 2003) ellos establezcan las condiciones y técnicas viables que favorezcan la permanencia de las bondades de los sistemas agroforestales.

CONCLUSIONES

Este estudio es la primera aportación donde se evalúa un gradiente de intensificación en el sistema MIAF, a través de la macrofauna y mesofauna.

La caracterización de la macrofauna y mesofauna (ácaros y colémbolos) muestran dos tipos de MIAF: uno donde la biota edáfica encuentra dificultades para desarrollarse (Puebla) y otro donde sus condiciones podrían ser equiparables al suelo del bosque (Oaxaca); delimitados por la intensidad de las labores de cultivo, el manejo de la hojarasca y la humedad del suelo.

La intensificación agrícola del suelo del MIAF muestra sólo un gradiente: Bosque – MIAF.

El índice $a/a+c$ muestra con claridad el nivel de deterioro entre el MIAF y el bosque, así como entre las regiones Puebla y Oaxaca.

En los MIAF, sólo los grupos *Oligochaeta*, *Diplopoda*, Larvas de *Coleoptera* y *Chilopoda* pueden considerarse indicadores del nivel de intensificación agrícola.

Los grupos *Oligochaeta*, *Diplopoda* e *Isopoda* responden a la disponibilidad constante de materiales orgánicos para su descomposición. Uniéndose los grupos *Chilopoda* y *Diplura* en el incremento de poblaciones de macrofauna.

La pobreza de poblaciones en los MIAF de la región Puebla, hace que éstos sean potencial de estudio para el mejoramiento del suelo mediante el control de factores que bioestimulen a las poblaciones de macrofauna y de sus impactos en la fertilidad del suelo.

Es necesario realizar estudios para determinar los niveles de aprovechamiento y pérdida de fertilizantes en ambas regiones, así como su relación con los rendimientos para ubicar con mayor precisión la fuente de sostenimiento del sistema MIAF como cultivo. Así como realizar estudios secuenciales para determinar los procesos de mejoramiento o deterioro del sistema suelo en el MIAF, mediante los ciclos de vida de la especie(s) perenne(s) en cultivo.

El MIAF como sistema, favorece el desarrollo de poblaciones de organismos del suelo, solamente limitada por factores ambientales como la disponibilidad de humedad y/o alimento. Faltaría estudiar los efectos de la biota edáfica sobre las plantas en el sistema.

AGRADECIMIENTOS

Al Departamento de Biología de Suelos del Instituto de Ecología A. C., como guía; al Departamento de Agroecología y Ambiente del ICUAP y a la BUAP, por sus apoyo en la búsqueda de conocimiento y en la formación en Postgrado; al Colegio de Postgraduados por comprender la importancia de la biota edáfica para el desarrollo; al CONACYT, como impulsor del postgrado y de la ciencia en México; y a la Universidad Veracruzana por la licencia en el uso del programa Statistica 6.0.

REFERENCIAS

- Allaby M (1998). *A Dictionary of Plant Sciences*, Oxford University Press, USA.
- Anderson JM, Ingram JSI (1993). *Tropical soil biology and fertility: A handbook methods*. Oxford: CABI, UK.
- Barbault R (1997). *Écologie générale, structure et fonctionnement de la biosphere*. Masson. Paris, France.
- Barros E, Curmi P, Hallaire V, Chauvel A, Lavelle P (2001). The role of macrofauna in the transformation and reversibility of soil structure of an oxisol in the process of forest to pasture conversion. *Geoderma* 100: 193-213.
- Birang AM, Hauser S, Amougou D (2003). Farmer's perception of the effects of earthworms on soil fertility and crop performance in southern Cameroon. *Pedobiologia* 47: 819-824.
- Blakemore RJ (2006). *Cosmopolitan Earthworms – an Eco-Taxonomic Guide to the Peregrine Species of the World*. VermEcology, Japan.
- Borror DJ, White RE (1970). *A field guide to insects. America north of Mexico*. Houghton Mifflin Company. New York.
- Brown G, Pashanasi B, Villenave C, Patrón JC, Senapati BK, Giri S, Barois I, Lavelle P, Blanchart E, Blakemore RJ, Spain AV, Boyer J (1999). Effects of earthworms on plant production in the tropics. In: Lavelle P, Brussaard L, Hendrix P (eds) *Earthworm management in tropical agroecosystems*. Wallingford: CABI, pp 87-147.
- Brown G, Fragoso C, Barois I, Rojas P, Patrón JC, Bueno J, Moreno AG, Lavelle P, Ordaz V, Rodríguez C (2001). Diversidad y rol funcional de la macrofauna edáfica en los ecosistemas tropicales mexicanos. *Acta Zool. Mex.* 1:79-110.
- Brussaard L (1998) Soil fauna, guilds, functional groups and ecosystem processes. *Appl. Soil Ecol.* 9: 123-135.
- Burger D, Brasil EC (1991). Production of organic fertilizers in the Alley-Cropping-System. In: Burger D (ed) *Studies on the utilization and conservation of soil in the Eastern Amazon region*. EMBRAPA-CPATU-GTZ, pp 217-236.
- Chu HF (1949). *How to know the immature insects*. C Brown Company Publishers, USA
- Conover WJ, Iman RL (1981). Rank transformations as a bridge between parametric and nonparametric statistics. *Am. Stat.* 35 (3): 124-129

- Cortés JI, Turrent A, Díaz P, Hernández E, Mendoza R, Aceves E (2005). Manual para el establecimiento y manejo del sistema milpa intercalada con árboles frutales (MIAF) en laderas. Colegio de Postgraduados, México.
- Cortés JI, Mendoza R, Hernández E, Aceves E, Turrent A, Estrella N (2004). El sistema agrícola “milpa intercalada en árboles frutales (MIAF)” en terrenos planos. Colegio de Postgraduados, México.
- Curry JP (2004). Factors affecting the abundance of earthworms in soils. In: Edwards CA (ed) Earthworm ecology. CRC Press, pp 91-113.
- Desjardins T, Charpentier F, Pashanasi B, Pando-Bahuon A, Lavelle P, Mariotti A (2004). Effects of earthworm inoculation on soil organic matter dynamics of a cultivated ultisol. *Pedobiologia* 47 (5-6): 835-841.
- Dickinson CH (1974). Biology of plant litter decomposition. Academic Press, Inc, NY.
- Doblas-Miranda E, Wardle DA, Peltzer DA, Yeates GW (2008). Changes in the community structure and diversity of soil invertebrates across the Franz Josef Glacier chronosequence. *Soil Biol. Biochem.* 40: 1069–1081.
- Doube BM, Schmidt O (1997). Can the abundance or activity of soil macrofauna be used to indicate the biological health of soils? In: Pankhurst E, Doube BM, Gupta VVSR (eds) Biological indicators of soil health. Oxford: CABI, pp 265-296.
- Edwards CA (1974). Macroarthropods. In: Dickinson CH, Pugh GJF (eds) Biology of plant litter decomposition. Academic Press, London, pp 533-554.
- Eisenbeis G, Wichard W (1987). Atlas on the biology of soil arthropods. Springer-Verlag, NY.
- Fragoso C (2001). Las lombrices de tierra de México (Annelida, Oligochaeta): Diversidad, ecología y manejo. *Acta Zool. Mex.* Special number 1: 131-171.
- Fragoso C, Brown GG, Patrón JC, Blanchart E, Lavelle P, Pashanasi B, Senapati B, Kumar T (1997). Agricultural intensification, soil biodiversity and agroecosystem function in the tropics: The role of earthworms. *Appl. Soil Ecol.* 6 (1): 17-35.
- García E (1973). Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen; para adaptarlo a las condiciones de la República Mexicana. UNAM, México.
- Giller KE, Beare MH, Lavelle P, Izac AMN, Swift MJ (1997). Agricultural intensification, soil biodiversity and agroecosystem function. *Appl. Soil Ecol.* 6: 3-16.

- Gilot C, Lavelle P, Blanchart E, Keli J, Kouassi P, Guillaume G (1995). Biological activity of soil under rubber plantations in Côte d'Ivoire. *Acta Zool. Fenn.* 196: 186-189.
- Guillén C, Soto-Adames F, Springer M (2006). Diversidad y abundancia de colémbolos edáficos en un bosque primario, un bosque secundario y un cafetal en Costa Rica. *Agron. Costarric.* 2(30): 7-17.
- Gulvik ME (2007). Mites (Acari) as indicators of soil biodiversity and land use monitoring: A review. *Polish J. of Ecology* 55 (3): 415-440.
- Hauser S (1993). Distribution and activity of earthworms and contribution to nutrient recycling in alley cropping. *Biol. Fert. Soils.* 15: 16-20.
- Hauser S, Asawalam DO, Vanlauwe B (1998). Spatial and temporal gradients of earthworm casting activity in alley cropping systems. *Agroforest Syst.* 41: 127-137.
- Jordan CF (2004). Organic farming and agroforestry: Alley cropping for mulch production for organic farms of southeastern United States. *Agroforest Syst.* 61: 79-90.
- Kang BT, Wilson GF (1987). The development of alley cropping as a promising agroforestry technology. In: Howard AS, Ramachandran PK (eds) *Agroforestry a decade of development.* ICRAF Nairobi, pp 236-345.
- Laird RJ (1977.) *Investigación agronómica para el desarrollo de la agricultura de temporal.* ENA-CP, Chapingo, México.
- Lavelle P, Chauvel A, Fragoso C (1995). Faunal activity in acid soils. In: Date RA, Grundon NJ, Rayment GE, Probert ME (eds) *Plant soil interactions at low pH: Principles and management.* Kluwer Academic Publishers, Netherlands, pp 201-211.
- Lavelle P (1997). Faunal activities and soil processes: Adaptive strategies that determine ecosystem function. *Adv. in Ecol. Research* 24: 93-132.
- Lavelle P, Barois I, Blanchart E, Brown GG, Brussaard L, Decaëns T, Fragoso C, Jiménez JJ, Ka Kajondo K, Moreno A, Pashanasi B, Senapati BK, Villenave C (1998). Earthworms as a resource in tropical agroecosystems. *Nature Resour.* 34(1): 26-41.
- Lavelle P, Pashanasi B (1989). Soil macrofauna and land management in Peruvian Amazonia (Yumiraguas, Loreto). *Pedobiologia* 3: 283-291.
- Matson PA, Parton WJ, Poweer AG, Swift MJ (1997). Agricultural intensification and ecosystem properties. *Science* 277 (5325): 504-509.

- Matus FJ, Maire G, Christian R (2000). Interaction between soil organic matter, soil texture and the mineralization rates of carbon and nitrogen. *Agr. Tec.* Available from: <http://hdl.handle.net/1807/1668>. Sep 2009.
- Morales J, Sarmiento L (2002). Dinámica de los macroinvertebrados edáficos y su relación con la vegetación en una sucesión secundaria en el páramo venezolano. *Ecotrópicos* 1 (15): 99-110.
- Morón-Ríos A, Huerta-Lwanga E (2006). Soil macrofauna of two successional evergreen cloud forest stages from the cerro Huitepec nature reserve, San Cristobal de las Casas, Chiapas, México. *Interciencia* 31:611-615.
- Nájera MB, Velásquez JJ (2005). Diversidad de fauna edáfica en cultivos bajo sistemas de agricultura convencional y de conservación en el Estado de Michoacán. In: Sánchez-Brito C (ed) *Avances de investigación en agricultura sostenible III: Bases técnicas para la construcción de indicadores biofísicos de sostenibilidad*. INIFAP-CENAPROS, Michoacán, México, pp 287-317.
- Parisi V, Menta C, Gardi C, Jacomini C, Mozzanica E (2005). Microarthropod communities as a tool to assess soil quality and biodiversity: A new approach in Italy. *Agr. Ecosyst. Environ.* 105 (1-2): 323-333.
- Parkinson D, McLean MA, Scheu S (2004). Impacts of earthworms on other biota in forest soils, with some emphasis on cool temperate montane forests. In: Edwards CA (ed) *Earthworm ecology*. CRC Press. pp 241-259.
- Pashanasi B (2001). Estudio cuantitativo de la macrofauna del suelo en diferentes sistemas de uso de la tierra en la Amazonia Peruana. *Fol. Amazon.* 12 (1-2): 75-97.
- Price GW, AM Gordon (1999). Spatial and temporal distribution of earthworms in a temperate intercropping system in southern Ontario, Canada. *Agroforest Syst.* 44: 141-149.
- Reynolds JW (1977). *The Earthworms (Lumbricidae and Sparganophiidae) of Ontario*. Royal Ontario Museum, Toronto, Canada
- Sanchez PA (1987). Soil productivity and sustainability in agroforestry systems. In: Stepler HA, Ramachandran PK (eds) *Agroforestry a decade of development*. ICRAF, Nairobi, pp 205-223.
- Sanchez PA (1995). Science in agroforestry. *Agroforest Syst.* 30 (1-2): 5-55.

- Schmidt O, Clements RO, Donaldson G (2003). Why do cereal–legume intercrops support large earthworm populations? *Appl. Soil Ecol.* 22 (2): 181-190.
- Senapati BK, Lavelle P, Giri S, Pashanasi B, Alegre J, Decaëns T, Jiménez JJ, Albrecht A, Blanchart E, Mahieux M, Rousseaux L, Thomas R, Panigrahi PK, Venkatachalan M (1999). In-soil technologies for tropical ecosystems. In: Lavelle P, Brussaard L, Hendrix PF (eds) *Earthworm management in tropical agroecosystems*. Wallingford: CABI, pp 199-237.
- Setälä H, Haimi J, Siira-Pietikäinen A (2000). Sensitivity of soil processes in northern forest soils: are management practices a threat? *Forest Ecol. Manage.* 133: 5-11.
- Sileshi G, Mafongoya PL (2006). Variation in macrofaunal communities under contrasting land use systems in eastern Zambia. *Appl. Soil Ecol.* 33 (1): 49-60.
- Socarras A, Rodríguez M (2005). Utilización de la mesofauna como indicador biológico en áreas recultivadas con *Pinus cubensis* en la zona minera de Moa, Holguín, Cuba. Available from: http://www.dama.gov.co/dama/libreria/php/frame_detalle.php?h_id=775. May 2012.
- Swift M (1999). Towards the second paradigm: integrated biological management of soil. In: Siqueira JO, Moreira FMS, Lopez AS, Guilherme LR, Faquin V, Furtini AE, Carvalho JG (eds) *Inter-relacao fertilidade, biologia do solo e nutrição de plantas*. UFLA, Brasil, pp:11-24.
- Thevathasan NV, Gordon AM (2004). Ecology of tree intercropping systems in the North temperate region: Experiences from southern Ontario, Canada. *Agroforest Syst.* 61: 257-268.
- Tian G, Olimah JA, Adeoye FO, Kang T (2000). Regeneration of earthworm populations in a degraded soil by natural and planted fallows under humid tropical conditions. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 74: 222-228.
- Van Straalen NM (1998). Evaluation of biodindicator system derived from soil arthropod communities. *Appl. Soil Ecol.* 9: 429-437.
- Vohland K, Schroth G (1999). Distribution patterns of the litter macrofauna in agroforestry and monoculture plantation in central Amazonia as affected by plant species and management. *Appl. Soil Ecol.* 13: 57-68.

- Wardle DA, Yeates GW, Barker GM, Bonner KI (2006). The influence of plant litter diversity on decomposer abundance and diversity. *Soil Biol. Biochem.* 38: 1052–1062.
- Wolters V (1998). Long-term dynamics of a collembolan community. *Appl. Soil Ecol.* 9: 221-227.
- Workman SW, Bannister ME, Nair PKR (2003). Agroforestry potential in the southeastern United States: Perceptions of landowners and extension professionals. *Agroforest Syst.* 59: 73-83.
- Zar JH (1999). *Biostatistical analysis*. Prentice & Hall, USA.

CAPITULO IV.

**COMUNIDADES DE LOMBRICES DE TIERRA EN SISTEMAS
AGROFORESTALES INTERCALADOS, EN DOS REGIONES DEL CENTRO DE
MEXICO**

**EARTHWORM COMMUNITIES IN INTERCROPPING SYSTEMS, FROM TWO
REGIONS OF CENTRAL MEXICO**

Dionicio JUÁREZ-RAMÓN¹ y Carlos FRAGOSO González²

¹Centro de Agroecología, Instituto de Ciencias, Benemérita Universidad Autónoma de Puebla,
Blvd. 14 sur 6301 Ciudad Universitaria, C.P. 72570 Puebla, Puebla, México. E-mail:
dionicio.juarez@correo.buap.mx

²Red de Biodiversidad y Sistemática, Instituto de Ecología, A.C., Km. 2.5 Car. Antigua a Coatepec
351, Congregación El Haya, Xalapa 91070, Veracruz, México. E-mail:
carlos.fragoso@inecol.edu.mx

RESUMEN

Se realiza un análisis de las comunidades de lombrices de tierra del sistema de cultivo milpa intercalada con árboles frutales (MIAF), ubicados en Puebla y Oaxaca. El objetivo es encontrar especies y formas de asociación que permitan potenciar los procesos biológicos del suelo. En el estudio se incluye la abundancia, biomasa y diversidad de especies epigeas y endógeas y sus factores de regulación, de quienes se estima que contribuyen en el mantenimiento de la capacidad productiva del suelo del sistema. En los MIAF de Puebla se encontraron 4 especies (1 epigea y 3 endógeas), mientras que en Oaxaca, fueron 5 (2 epigeas y 3 endógeas). En Puebla, el 64% de las lombrices se concentran en bosque, siendo *Limbricus rubellus*, Hoffmeister, 1843 y *Aporrectodea trapezoides* Dugès, 1828, las dominantes; mientras que en Oaxaca, el 79% de la población está en áreas cultivadas, dominando las especies *Octolasion tyrtaeum* Savigny, 1826, *Amyntas* sp., y *Pontoscolex corethrurus* Müller, 1857. Las diferencias en especies, abundancia y biomasa pueden estar relacionadas con la humedad del suelo, la intensificación agrícola y el nivel de manejo

antropogénico de los materiales orgánicos (desechos de cosechas y estiércoles). En ninguna de las dos regiones de estudio se cubren los 30 g m² recomendados para impactar en la fertilidad del suelo, por lo que se sugiere manipular los MIAF para incrementar la abundancia de las poblaciones.

Palabras clave: Lombrices de tierra, durazno, MIAF, sequía.

ABSTRACT

An analysis of earthworm communities in the intercropping system (MIAF), located in Puebla and Oaxaca, Mexico. The goal is to find species and association forms for increase soil biological processes. The study includes the abundance, biomass and diversity of epigeic and endogeic species and regulatory factors, of who are estimated to contribute in maintaining the soil productive capacity of the system. In the MIAF of Puebla found 4 species (1 epigeic and 3 endogeic), while in Oaxaca, were 5 (2 epigeic and 3 endogeic). In Puebla, 64% of the earthworms are concentrated in the soil forest, being *Limbricus rubellus*, Hoffmeister, 1843 and *Aporrectodea trapezoides* Dugès, 1828, the dominant species; while in Oaxaca, 79% of the population are in cultivated areas, dominating *Octolasion tyrtaeum*, Savigny, 1826, *Amyntas* sp. and *Pontoscolex corethrurus*, Müller, 1857 species. The differences in abundance and biomass may be related to soil moisture, agricultural intensification and anthropogenic management level of organic materials (crop waste and manure). In neither in the two regions of study covered biomass of 30 g m² recommended to impact soil fertility, so it is suggested to MIAF manipulate to increase the population abundance of earthworms.

Key words: Earthworms, peach, MIAF, drought.

INTRODUCCION

Las lombrices de tierra (Oligochaeta, Annelida) son uno de los grupos de organismos más importantes del suelo dado que con sus actividades influyen directa e indirectamente en

numerosos procesos edáficos como la descomposición de los materiales orgánicos, la aireación y el reciclaje de nutrientes, entre otros (Lavelle *et al.* 1998). Por esta razón han sido ampliamente estudiadas en terrenos cultivados, tanto de climas tropicales (Lavelle *et al.* 1999, Brown *et al.* 1999) como templados (Hendrix y Edwards 2004).

El sistema de milpa intercalada con árboles frutales (MIAF) es una clase de cultivo agroforestal en donde los surcos de frutales ocupan el 33% del terreno en áreas planas y 42% en laderas (Cortés *et al.* 2004, 2005), y que potencialmente puede ser propicio para la conservación de la biodiversidad del suelo y en particular para las poblaciones de lombrices de tierra, debido a que en estas áreas hay una menor remoción del suelo al ser cultivados. Se sabe además que tanto en terrenos planos o en laderas, el tipo de agricultura influye sobre la biota del suelo (incluyendo a las lombrices de tierra) ya sea por efecto de la intensificación agrícola (Postma-Blaauw *et al.* 2010) o por el arreglo topológico (Price y Gordon 1999, Montoya y Soled 2002) de las especies bajo cultivo.

En frutales de ambientes templados las lombrices de tierra producen grandes beneficios por la transformación e incorporación al suelo de la hojarasca (Werner 1990). En las áreas agrícolas de los trópicos el efecto también se presenta, de modo que se ha estado proponiendo inocularlas ya sea para la rehabilitación de suelos o para la recuperación de la fertilidad (Lavelle *et al.* 1998, Senapati *et al.* 1999).

La presencia de lombrices de tierra también pueden ser un indicador de la calidad del suelo, ya que su diversidad, densidad y biomasa son sensibles a cambios en el uso del suelo, a la intensificación del cultivo, al uso de maquinaria agrícola y a la aplicación de insumos externos (Mijangos *et al.* 2006).

En México no se han caracterizado las comunidades de lombrices de tierra en el MIAF, por lo que su estudio ayudará a reconocer las especies que se han adaptado a este sistema, si hay diferencias entre la zona de milpa y la zona arbórea y la forma en que son afectadas por las labores agrícolas. Dado que el estudio comparará al MIAF de dos localidades con diferente clima (templado seco vs. templado húmedo), también intentará identificar los métodos de cultivo más amigables para la conservación de las comunidades de lombrices de tierra.

MÉTODOS

Sitio de estudio y características edáficas, climáticas y de manejo

Esta investigación se llevó a cabo en parcelas de campesinos que son cultivadas bajo el sistema intercalado Milpa (maíz, alfalfa, chile, gladiola o frijol) – Durazno, en la región de Chiautzingo y Huejotzingo, Puebla y la región Mazateca en San Jerónimo Tecoaatl, Oaxaca. En cada una de las regiones se seleccionaron 4 MIAFs de diferentes campesinos así como un área de bosque (BP y BO) cercana y representativa de la vegetación original, como control (Cuadro 1).

Cuadro 1. Localización y características ambientales de las regiones de estudio.

REGION	PUEBLA				OAXACA			
Localización	19°12'N 98°28'W				18°10'N 96°54'W			
Altitud (msnm)	2350				1850			
°C (media anual)	15.2				16.7			
Pr (anual)	900.8 mm				2120 mm			
Clima (García 1973)	C(w'' ₂)(w)b(i')g				C(w ₂)b(i')g			
Suelo	Regosol				Cambisol			
Topografía	Plana				Ladera			
Tipo de bosque	Ciprés (BP)				Encino y mesófilo (BO)			
MIAF (dimensiones):								
Durazno (D)	1 surco en 4.8 m de ancho				1 surco en 4.6 m de ancho			
Anuales (A)	12 surcos, franja de 9.6 m				8 surcos en 6.4 m de ancho			
Barbecho	Tracción mecánica y animal				Manual			
Humedad	Riego				Temporal			
Desechos de cosecha y podas	Se extraen para forrajes y por limpieza de terreno				Se dejan en el terreno y/o coloca en filtros de escurrimiento			
Fertilizantes								
D: g árbol ⁻¹ año ⁻¹	D(110-80-60): 450+foliar				D(90-45-75): 440+3Kg gallinaza			
A: g planta ⁻¹ año ⁻¹	Maíz (160-70-0): 8				Maíz (70-46-00): 6.6			
Productores	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8
Longitud surcos (m)	188	220	166	45	30	25	40	25
Cultivo anual	Alfalfa	Alfalfa	Chile	Maíz	Maíz	Acahual	Maíz	Acahual
Edad (años)	6	12	13	14	9	9	8	9
Pesticidas (1 año ⁻¹)	1	2	3	1	1	1	1	1

En Puebla, la aplicación de fertilizantes químicos en los últimos años ha disminuido por efectos de costo, aunque con ello el sitio P3 sostiene su producción; en los sitios P2, P1 y P4 se realizan aplicaciones esporádicas de estiércol de bovino en los cultivos anuales; mientras que en P4, sobre el suelo dedicado a los árboles se aplicó una mezcla de paja de frijol y rastrojo de maíz, mediante una capa de 10 cm durante 6 años, de 1994 al año 2000. En Oaxaca se construyeron filtros de escurrimiento para el control de la erosión del suelo, mediante la acumulación de restos de limpias, podas y residuos de cosechas en la base superior de los árboles de durazno. En los sitios P6 y P8 el suelo fue más arcilloso y durante el muestreo la parte dedicada a anuales se encontraba en descanso: en los sitios P5 y P7, por otro lado, los suelos fueron más francos, presentándose un cultivo continuo de maíz por varios años. En P7 los filtros de escurrimiento presentaron mayor cantidad de materiales orgánicos acumulados.

Muestreo de las comunidades de lombrices de tierra

En cada uno de los MIAF y el bosque se muestrearon las lombrices de tierra al final de la temporada de lluvias (del 30 de octubre al 5 de diciembre del 2006). El diseño del muestreo en los MIAF's se hizo para incluir tanto los árboles como los cultivos anuales, así como la heterogeneidad del terreno. De este modo en cada MIAF se ubicaron 3 puntos de muestreo repartidos proporcionalmente a lo largo de la extensión de cada terreno. En cada punto se realizaron dos monolitos, uno sobre el surco ocupado por duraznos y el otro en la parte media de la franja dedicada a cultivos anuales. En los bosques el muestreo se realizó en seis monolitos distanciados a 5 m cada uno, a lo largo de un transecto de 30 m.

De cada monolito de 25x25cm de área por 30 cm de profundidad (método TSBF; Anderson e Ingram 1993), las lombrices se extrajeron manualmente y se fijaron en formol al 4%; posteriormente se cambiaron a una solución de etanol al 85% para su separación, cuantificación y pesado. Su identificación se realizó siguiendo las claves de Reynolds (1977) y Blakemore (2006).

Análisis fisicoquímicos

De la misma tierra de cada monolito se separó una muestra de suelo para realizar los siguientes análisis fisicoquímicos: pH (agua, 1:2), textura (Boyucos), materia orgánica (Walkey-Black), carbono, nitrógeno total (Kjeldahl), fósforo extractable (Bray), cationes intercambiables (K, Ca, Mg) y capacidad de intercambio catiónico (CIC).

Análisis estadísticos

Los datos obtenidos fueron analizados mediante ANOVAS de una vía, previa prueba de homogeneidad de varianzas en cada variable. En los casos en que los supuestos no se cumplían, los datos fueron transformados a rangos, por cuanto por este método los resultados son más robustos que las pruebas no paramétricas (Conover e Iman, 1981). Las comparaciones de medias fueron estimadas usando Tukey ($p < 0.05$) (Zar 2009); asimismo, se realizaron análisis de correlación entre variables biológicas y fisicoquímicas, tomando valores de R^2 mayores a 0.5, significativos. En el análisis se usó el programa Statistica 6.0.

RESULTADOS

Especies

En los MIAF de Puebla se registraron 4 especies de lombrices de tierra (Cuadro 2): tres endógeas (*Aporrectodea trapezoides*, *Octolasion tyrtaeum*, *Phoenicodrilus taste*) y una epígea (*Lumbricus rubellus*). *A. trapezoides* y *L. rubellus* se encontraron tanto en los MIAF como en el bosque, mientras que *O. tyrtaeum* sólo estuvo en bosque y *P. taste*, sólo en los MIAF.

En los sitios de Oaxaca se registraron 5 especies: tres endógeas (*Ocnerodrilus occidentalis*, *Pontoscolex corethrurus*, *Octolasion tyrtaeum*) y dos epígeas (*Amyntas sp.* y *Dendrodrilus rubidus*). En las áreas cultivadas estuvo ausente *O. tyrtaeum*, aunque ésta fue la única especie común entre ambas regiones.

Un grupo de especies de Oaxaca no lograron ser identificadas, por lo que se agruparon como morfo-especies (Cuadro 2).

Todas las especies fueron exóticas, siendo la única excepción *P. taste*. El estatus de esta especie peregrina sin embargo, está pendiente de la revisión del complejo *Ocnerodrilus*, *Ilyogenia*, *Phoenicodrilus* (Fragoso y Rojas, 2009).

Cuadro 2. Diversidad, abundancia y biomasa de las lombrices de tierra encontradas en los MIAF y bosque de las regiones de Puebla y Oaxaca. Las letras en H' (diversidad) corresponden a la diferencia de medias Tukey, $p < .05$. Los valores entre paréntesis indican la importancia relativa.

		PUEBLA				OAXACA			
		Bosque		MIAF		Bosque		MIAF	
H' (Shannon-Weanner)		0.66 ^a		0.15 ^b		0.36 ^a		0.53 ^a	
		Abundancia		Biomasa		Abundancia		Biomasa	
		(individuos m ⁻²)		(g m ⁻²)		(individuos m ⁻²)		(g m ⁻²)	
Categoría		B		M		B		M	
ESPECIES	ecológica	B	M	B	M	B	M	B	M
LUMBRICIDAE									
<i>Lumbricus rubellus</i>	Epígea	125.00 (32.4)	2.00 (0.5)	37.57 (58.1)	1.01 (1.6)				
<i>Octolasion tyrtaeum</i>	Endógea	61.00 (15.9)		6.46 (10.0)		16.00 (10.3)		4.18 (29.3)	
<i>Aporrectodea trapezoides</i>	Endógea	157.00 (40.7)	24.00 (7.1)	13.58 (21.0)	5.87 (9.1)				
<i>Dendrodrilus rubidus</i>	Epígea					29.00 (18.9)	5.00 (3.0)	0.89 (6.3)	0.26 (1.8)
MEGASCOLECIDAE									
<i>Amyntas sp</i>	Epígea					5.00 (3.4)	11.00 (7.3)	1.04 (7.3)	3.56 (25.0)
GLOSSOSCOLECIDAE									
<i>Pontoscolex corethrurus</i>	Endógea					5.00 (3.4)	21.00 (13.3)	0.60 (4.2)	2.79 (19.6)
OCNERODRILIDAE									
<i>Phoenicudrilus taste</i>	Endógea		12.00 (3.4)		0.10 (0.2)				
<i>Ocnerodrilus occidentalis</i>	Endógea					8.00 (5.2)	27.00 (17.6)	0.10 (0.7)	0.14 (1.0)
MORFOESPECIES						3.00 (1.7)	25.00 (15.9)	0.05 (0.3)	0.63 (4.5)
		(100%)		(100%)		(100%)		(100%)	

Comunidades de lombrices en el MIAF

Mientras que en Puebla hubo diferencias en la abundancia ($F(2,27)= 12.14;p<0.000$) y en la biomasa de lombrices ($F(2,27)= 13.04;p<0.000$) entre el bosque y el MIAF, en Oaxaca no se observó este patrón ($F(2,27)= 3.19;p<0.06$ y $F(2,27)= 0.62; p<0.54$, respectivamente). En los bosques de Puebla la abundancia y la biomasa de lombrices fue, respectivamente, 9 y 8 veces mayor que en los MIAF. Al interior del MIAF no hubo diferencias en ninguna de las dos localidades, al comparar entre las líneas de árboles de duraznos y los cultivos anuales (Figura 1).

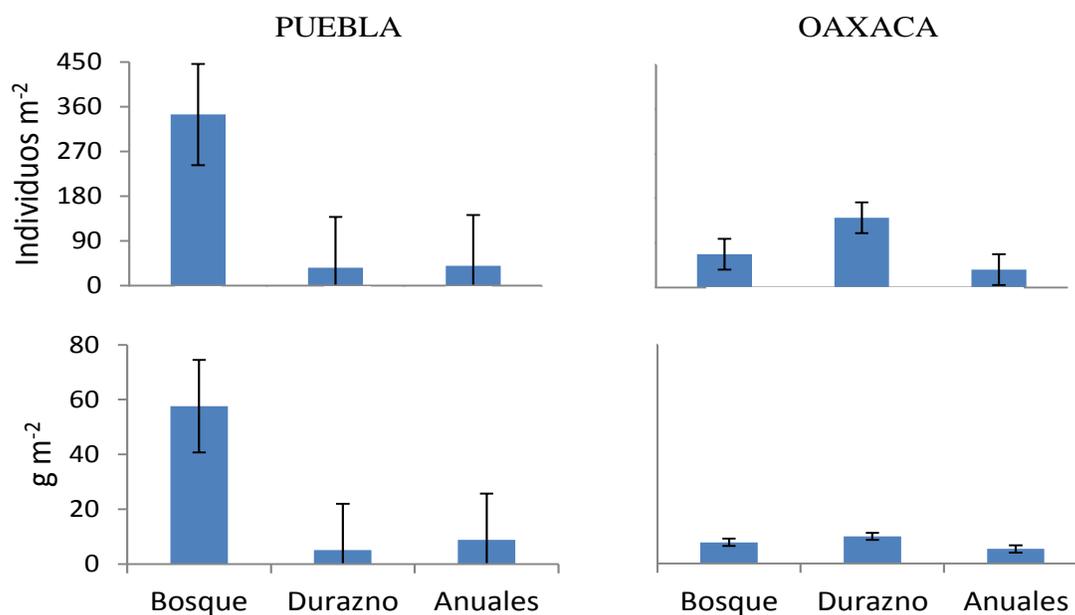


Figura 1. Densidad y biomasa de lombrices de tierra encontradas en el bosque, los surcos de durazno y el área intermedia dedicada a cultivos anuales. Las barras muestran el error estándar.

En la diversidad de especies de lombrices se observó el mismo patrón anterior, es decir solamente hubo diferencias significativas entre el bosque y los MIAF de Puebla (Cuadro 2); en donde la diversidad fue casi cuatro veces mayor en el bosque que en los MIAF, aunque la diversidad en este sistema fue la menor de todas ($F(3,43)=15.74; p<.00$). En Oaxaca, por otro lado no hubo diferencias en la diversidad entre el bosque y los MIAF.

Las comunidades fueron predominantemente endógeas tanto en Puebla (75% de las especies) como en Oaxaca (80%). Tres de las cuatro especies encontradas en Puebla fueron típicas de ambientes templados-fríos (*L. rubellus*, *O. tyrtaeum* y *A. trapezoides*). En Oaxaca, por otro lado, tres de las cinco especies encontradas fueron de origen tropical (*P. corethrurus*, *Amyntas* sp. y *O. occidentalis*). Estas especies, además fueron más abundantes en los sistemas MIAF que en el bosque; en contraste, las especies de Lumbricidae de climas templados que fueron más comunes en el bosque.

Patrones por especie

Los individuos de cada especie no se localizaron en todas las repeticiones, algunas establecen sus preferencias en bosque, en tanto otros prefieren el suelo de las líneas de durazno o en las franjas ocupadas por anuales.

Lumbricus rubellus. Solamente se encontró en Puebla, común en el bosque en un 83% de las repeticiones, mientras que en los MIAF sólo se encontró en un monolito (4%) de los cultivos anuales. La biomasa de esta especie corresponde al 49% de las lombrices de tierra encontradas.

Octolasion tyrtaeum. Esta especie sólo se localizó en el bosque, tanto en Puebla como en Oaxaca, en el 66% y 17% de las repeticiones, respectivamente, especialmente en aquellas en donde se presentaban mayores niveles de humedad. Su biomasa fue del 8% en Puebla y del 12% en Oaxaca.

Aporrectodea trapezoides. Esta especie estuvo presente solamente en Puebla, pero en todos los ambientes: en el 50% de las repeticiones en bosque, en el 25% en durazno y en el 21% de las de anuales. Estuvo ausente en 13 de los 24 monolitos del MIAF. Aunque su población siempre fue dominante en bosque. Su biomasa fue del 43% del total de lombrices encontradas.

Phoenicodrilus taste. Esta especie sólo se encontró en los MIAF de Puebla, en el 42% de las repeticiones de durazno y en el 33% de anuales. Por su tamaño, su biomasa solamente fue del 0.5%.

Dendrodrilus rubidus. Se encontró en el 50% de las repeticiones en bosque y en el 17% en durazno y en el 17% en anuales, en Oaxaca. Su biomasa fue solamente del 5%.

Amyntas sp. Esta especie sólo se encontró en Oaxaca, en el 17% de las repeticiones en bosque; en el 50% en durazno y en el 25% de los anuales. Su biomasa fue del 43%.

Pontoscolex corethrurus. Aunque esta especie sólo estuvo en Oaxaca, se encontró en el 17% de las repeticiones de bosque, en el 58% en durazno y en el 58% en anuales. Su biomasa fue del 33%.

Ocnerodrilus occidentalis. Solo se encontró en Oaxaca, el en 17% de las repeticiones en bosque, en el 42% en durazno y ausente en anuales. Su biomasa fue del 2%.

Por lo tanto, puede considerarse que las especies dominantes en Puebla fueron *Lumbricus rubellus* (epígea) y *Aporrectodea trapezoides* (endógea), por su abundancia (77%) y por su biomasa (92%) totales; en tanto en Oaxaca, fueron *Amyntas sp.* (epígea) y *Pontoscolex corethrurus* (endógea), por su biomasa total (76%) (Cuadro 3).

Cuadro 3. Dominancia de las especies encontradas en Puebla y Oaxaca.

	ESPECIE	REGION	BOSQUE	DURAZNO	ANUALES	F y p
Individuos m ⁻²	<i>L rubellus</i>	Puebla	125.3 a	0.0 b	4.0 b	16.40,<0.000
	<i>O tyrtaeum</i>	Puebla	61.3 a	0.0 b	0.0 b	12.39,<0.000
	<i>A trapezoides</i>	Puebla	157.3 a	24.0 b	12.0 b	6.66,<0.004
	<i>P taste</i>	Puebla	0.0	12.0	12.0	n.s.
	<i>O tyrtaeum</i>	Oaxaca	16.0	0.0	0.0	n.s.
	<i>D rubidus</i>	Oaxaca	29.3 a	6.7 ab	2.7 b	3.84,<0.034
	<i>Amyntas</i>	Oaxaca	5.3	14.7	8.0	n.s.
	<i>P corethrurus</i>	Oaxaca	5.3	22.7	18.7	n.s.
	<i>O occidentalis</i>	Oaxaca	8.0	42.7	0.0	n.s.
	Morfoespecie	Oaxaca	2.7	30.7	6.7	n.s.
g m ⁻²	<i>L rubellus</i>	Puebla	37.573 a	0.000 b	2.027 b	16.18,<0.000
	<i>O tyrtaeum</i>	Puebla	6.464 a	0.000 b	0.000 b	10.29,<0.000
	<i>A trapezoides</i>	Puebla	13.589	5.019	6.739	n.s.
	<i>P taste</i>	Puebla	0.000	0.104	0.099	n.s.
	<i>O tyrtaeum</i>	Oaxaca	4.176	0.000	0.000	n.s.
	<i>D rubidus</i>	Oaxaca	0.891	0.445	0.075	n.s.
	<i>Amyntas sp</i>	Oaxaca	1.040	4.805	2.312	n.s.
	<i>P corethrurus</i>	Oaxaca	0.597	2.872	2.704	n.s.
	<i>O occidentalis</i>	Oaxaca	0.101 ab	0.275 a	0.000 b	3.34,<0.050
	Morfoespecie	Oaxaca	0.048	0.696	0.141	n.s.

Las comunidades y las condiciones fisicoquímicas del suelo

A nivel regional los suelos de Oaxaca fueron más ácidos que los de Puebla ($F(1, 20)=24.4, <p=.0001$), así como más ricos en materia orgánica ($F(1, 20)=12.7, <p=.002$), nitrógeno ($F(1, 20)=27.4, <p=.00004$) y en CIC ($F(1, 20)=15.4, <p=.0008$) (Cuadro 5). En congruencia con la menor acidez, en Puebla los suelos fueron más ricos en Mg ($F(1, 20)=29.9, <p=.00002$).

En Puebla, los bosques fueron mucho más ricos en cationes (Ca, Mg, CIC), MO y N que los suelos del MIAF; al interior del MIAF no hubo diferencias en ninguno de los parámetros edáficos analizados (Cuadro 4). En Oaxaca solamente se observaron diferencias en K y Mg; sin embargo, los mayores valores se encontraron en la zona de árboles frutales.

Cuadro 4. Resultados de análisis fisicoquímicos del suelo de los sitios muestreados. Las letras corresponden a la diferencia de medias Tukey, $p<.05$.

	Bosque	Durazno	Anuales	F y p
PUEBLA				
pH	6.3	6.4	6.1	$F(2,8)=1.08; p<.3843$
P bray	6.60	24.63	15.20	$F(2,8)=2.32; p<.1603$
K	1.19	0.80	0.29	$F(2,8)=3.45; p<.0831$
Ca	9.61 a	2.99 b	2.32 b	$F(2,8)=59.47; p<.0000$
Mg	4.16 a	2.67 b	2.47 b	$F(2,8)=5.67; p<.0293$
CIC	13.55 a	5.67 b	5.29 b	$F(2,8)=23.68; p<.0004$
% M O	6.12 a	1.27 b	0.88 b	$F(2,27)=235.20; p<.0000$
% N Total	0.24 a	0.07 b	0.06 b	$F(2,27)=92.09; p<.0000$
C/N	15 ^a	11.2 b	9.38 b	$F(2,27)=8.42; p<.0014$
OAXACA				
pH	4.06	5.0	4.9	$F(2,8)=.70; p<.5256$
P bray	0.07	53.58	11.43	$F(2,8)=2.33; p<.1591$
K	0.07 b	0.85 a	0.09 b	$F(2,8)=9.42; p<.0079$
Ca	0.60	8.54	4.71	$F(2,8)=1.23; p<.3432$
Mg	0.34 b	1.82 a	0.30 b	$F(2,8)=15.90; p<.0016$
CIC	15.18	16.11	13.21	$F(2,8)=1.16; p<.3616$
% M O	10.46	7.45	5.91	$F(2,27)=2.80; p<.0788$
% N Total	0.52	0.44	0.32	$F(2,27)=2.57; p<.0947$
C/N	11.5	9.77	9.78	$F(2,27)=1.98; p<.1573$

En las relaciones entre variables fisicoquímicas y la densidad y biomasa de epígeas y endógeas significativas ($p < 0.05$), se observaron dos patrones importantes, una en relación con la CIC y otra con la MO. En Puebla, a medida que la densidad de lombrices endógeas se incrementa, la disponibilidad de cationes en el suelo del bosque también lo hace ($R = 0.999$); en tanto que en las líneas de durazno, disminuye la densidad de lombrices con el incremento del CIC ($R = -0.88$) y en las áreas dedicadas a cultivos anuales disminuye la biomasa de endógeas ($R = -0.95$).

En Oaxaca, la relación más importante se encuentra entre el incremento de la densidad de lombrices epígeas con el incremento de la cantidad de MO en el suelo, tanto en las líneas de durazno ($R = 0.997$) como en las áreas dedicadas a anuales ($R = 0.96$). Este patrón pudiera considerarse similar en el bosque; sin embargo, en ese suelo su correlación ($R = 0.89$) no se encontró significativa.

Patrones al interior del MIAF

Los MIAF de Puebla y los de Oaxaca tuvieron respuestas muy diferentes hacia las lombrices de tierra. En Puebla la invasión a las áreas de cultivos anuales parece haber ocurrido desde el bosque, con resultados no muy exitosos y sin un claro patrón dentro de ellos; en Oaxaca, la invasión parece haberse hecho recientemente hacia el bosque o bien las lombrices se dispersaron hacia los MIAF con mucho éxito, haciéndose notar que las líneas de árboles fueron mucho más propicios para ellas (Cuadro 5).

Cuadro 5. Densidad y biomasa de las lombrices de tierra en los bosques y MIAF; y prácticas de cultivo que realizan los productores, de cada región en estudio.

	Bosque		Durazno		Anuales		Prácticas de cultivo
	D	B	D	B	D	B	
PUEBLA	344a		36.0b		40.0b		F(2,27)= 12.14;p<0.000
	57.6a		5.1b		8.8b		F(2,27)= 13.04;p<0.000
P1			43	9.4	9	0.00	Deja crecer y reintegra toda la biomasa herbácea en durazno
P2			85	10.9	85	27.9	Hay cultivo de alfalfa y aplica

						estiércoles constantemente
						Extrae del terreno todos los
P3		16	0.1	5	0.04	residuos de cosecha, podas y
						herbáceas
P4		0	0.00	32	2.1	Como sistema MIAF está
						abandonado. No tiene manejo
OAXACA	67	141.0		36.0		n.s.
		7.7	9.9		5.3	n.s.
P5		336	5.8	32	4.2	Aplica poco estiércol, secado al
						sol. Los filtros de escurrimiento
						con MO abundante.
P6		69	7.7	16	3.6	La sección de cultivos anuales está
						en descanso
P7		107	23.4	53	9.5	Los filtros de escurrimiento tienen
						MO abundante
P8		53	3.1	43	3.8	La sección de cultivos anuales
						estaba en descanso. Como MIAF
						es poco atendido.
D= individuos m ⁻² ; B= g m ⁻² ; n.s., diferencias no significativas.						

En los bosques, el tamaño de las lombrices fueron similares entre ambas regiones, así como las encontradas en P5 y P7 de anuales o P2 y P6 en surcos de durazno. Habría que observar las razones que involucran un tamaño pequeño de las lombrices en P3, P4 y P8, identificables como especie o manejo de factores de regulación.

DISCUSIÓN

Los sistemas alley cropping han sido diseñados en el mundo para mantener una producción diversificada y escalonada a través del año; para el caso de México, en los MIAF se han integrado tecnologías en el manejo de nutrientes para incrementar la producción agrícola, aprovechando las diferentes estrategias de captación que tienen los árboles y las plantas anuales, así como la disposición espacial de las especies que faciliten la absorción de la radiación solar como nutriente.

Las líneas de árboles y las franjas con anuales aportan beneficios, los primeros como aportadores de hojarasca y protectores contra los vientos, y los segundos, como aportadores de N₂ atmosférico cuando son ocupados por leguminosas, en su oportunidad cuando se rotan con gramíneas, los cuales en su conjunto, aportan alimentos para el hombre y forrajes, aunque estos productos sean extraídos fuera del terreno y sólo se reintegren, en menor escala, materiales orgánicos en forma de estiércoles de animales de traspatio.

En lo ecológico, las líneas de árboles frutales mantienen espacios del suelo con menor remoción, en las labores de preparación para el cultivo, ideales para convertirse en reservorios de poblaciones de organismos; y con sus raíces, logran extraer nutrientes de lugares más profundos para ser reciclados en la superficie del suelo, instaurando un sistema dinámico vertical, espacial y temporal.

En un sistema de esta naturaleza la presencia de una comunidad de oligoquetos bien estructurada sería un valor agregado al sistema, pues éstos mediante sus actividades podrían ayudar a la descomposición de la hojarasca, al incremento en el reciclamiento de nutrientes en el suelo y a la dispersión de los nutrientes desde la zona de árboles hacia la de anuales, y viceversa.

Los MIAF estudiados mostraron claras diferencias en la comunidad de lombrices como cabría esperar dadas las diferencias climáticas y edáficas entre ambas regiones. La diferencia en precipitación, sin embargo parece ser el factor que más influencia tuvo sobre las comunidades de lombrices, afectando no solo la diversidad de lombrices en los MIAF, sino la distribución al interior de los mismos. La diferencia de edades de los MIAF entre ambas regiones (Puebla, 11; Oaxaca, 9 años), no refleja la construcción de un sistema más estable con el tiempo.

Comparaciones

La densidad registrada en los MIAF de Puebla (36-40 individuos m⁻²) y de Oaxaca (36-141 individuos m⁻²) son similares a las encontradas en otros sistemas agroforestales de clima templado, donde se encuentra por lo menos alguna de las especies registradas en este estudio: 10-350 individuos m⁻² (Bohlen *et al.* 1995); en Ontario, 10-180 individuos m⁻² (Price y Gordon 1999); en Quebec, 46-253 individuos m⁻² (Whalen 2004).

La presencia de lombrices de afinidad más tropical en la región de Oaxaca refleja la sensibilidad de las lombrices de tierra a los cambios de altitud y de latitud. Los quinientos metros de diferencia en altitud de esta región y de Puebla y todo un grado de menor latitud, ciertamente repercute en la invasión de lombrices tropicales, a pesar de que la diferencia en la temperatura media anual fue solo de 1.5°C. Sin embargo las temperaturas mínimas son una explicación más clara para este patrón, en Puebla baja hasta los 1.2°C en época invernal, mientras en Oaxaca solamente a 8.4°C.

Restricciones de humedad

En Puebla el bosque tuvo mayor densidad y biomasa de lombrices que los MIAF, mientras que en Oaxaca las diferencias no fueron significativas. Esta diferencia se debe muy probablemente a la menor humedad existente en los MIAF de Puebla, de tal modo que el bosque aledaño estaría funcionando como un refugio para estos organismos. De hecho la especie más común del bosque y la de mayores valores en el MIAF (*A. trapezoides*), ha sido reconocida como una especie tolerante a la sequía (Bohlen *et al.* 1995; Chan y Mead 2003; Fernández *et al.* 2010). La otra especie común en el bosque de Puebla es una epigea (*L. rubellus*) que abundó sobre todo cerca de cuerpos de agua. Esta especie estuvo prácticamente ausente en los MIAF, sólo se encontró en uno de los cuatro sitios estudiados caracterizado por el uso constante de estiércoles de bovino (8.3% de las repeticiones totales).

Aunque se ha mostrado que en función de las condiciones de humedad, *L. rubellus* puede actuar como una epiendógea (Addison 2009) parece ser que las poblaciones de Puebla son epigeas restringidas, pues a un mes después de la última lluvia del año, se encontraron en el suelo de los MIAF, lombrices recién-eclosionadas muertas y secas. De modo que la sobrevivencia de esta especie en los MIAF solo ocurrirá si la humedad aumenta, ya sea por irrigación artificial, o por un sistema de cobertura que retenga un poco más la humedad.

La tercera especie del bosque, *O. tyrtaeum*, estuvo completamente ausente de los MIAF. Esto podría deberse a una muy baja tolerancia a la sequía, ya que se trata de una especie frecuente y bien adaptada a suelos muy húmedos (Hendrix *et al.* 2008) y pantanos (Plum y Filser 2005) En los sitios de estudio del bosque de Puebla se le encontró en los flujos de agua de los arroyos. Su introducción al sistema MIAF estará también fuertemente

condicionada por la humedad, aunque se ha observado que se trata de una especie poco tolerante a la manipulación (García y Fragoso 2002), por lo que no se garantiza su sobrevivencia en el MIAF.

Finalmente en Puebla, solamente *Phoenicodrilus taste* pudo soportar el clima y las labores aplicadas en los MIAF, presente en el 45.8% de las repeticiones y ausente en el bosque. Se trata de una especie con una alta plasticidad que ha sido registrada en áreas de clima árido con riego (Brito-Vega *et al.* 2006). Sin embargo, por su pequeño tamaño, no sería una especie fundamental dentro de los MIAF.

En Oaxaca, al no existir una limitación importante de humedad, por la mejor distribución del patrón de lluvias en el año, el sistema MIAF fue mejor para las lombrices que el bosque. Esto sin embargo solamente se aplica a las tres especies tropicales (*P. corethrurus*, *Amyntas* sp. y *O. occidentales*), pues las especies de afinidad templada (*O. tyrtaeum* y *D. rubidus*) se localizan más en el bosque. Las tres especies tropicales tienen un elevado potencial de mantenerse en los MIAF por su gran tolerancia ambiental (especies euri, según Fragoso *et al.* 2001), además, una de ellas (*P. corethrurus*.) ha probado aumentar la producción agrícola en diferentes tipos de cultivos (Brown *et al.* 1999).

Materiales orgánicos

En Puebla, las condiciones extremas de baja humedad aunado a la intensificación agrícola utilizada, no permitieron evaluar el efecto del aporte de hojarasca al interior del sistema MIAF; en Oaxaca, sin embargo, el efecto se observó claramente con una mayor abundancia y biomasa total bajo los árboles y para las tres especies más abundantes. Este efecto podría deberse principalmente a las acumulaciones de materiales orgánicos en los filtros de escurrimiento y a la baja extracción de residuos de cosecha, Tal y como ha sido ampliamente señalado, una cobertura vegetal favorecerá la presencia y abundancia de lombrices (Kalisz y Powell 2000; Morales y Sarmiento 2002): en particular, materiales altamente palatables favorecerán la presencia de epigeas (Chaudhuri *et al.* 2008)

Relación con variables fisicoquímicas

La alta correlación entre la densidad y la biomasa con la CIC en el bosque, puede estar sustentada por la capacidad de reciclamiento de nutrientes que ejercen las lombrices de tierra a partir de la descomposición de la hojarasca. En el MIAF, en donde la CIC no responde con estos organismos, posiblemente está dado por las aplicaciones constantes de fertilizantes.

Las mayores concentraciones de organismos y su biomasa dados en el bosque de Puebla, coincide con mayores concentraciones de Ca y Mg, como lo registran Huerta *et al.* (2008); aunque en este estudio se adicionan también P y K.

Si bien se han registrado a las lombrices de tierra como procesadoras de materiales orgánicos, en el bosque de Puebla, en donde el suelo contiene un 6.1% de MO, existe una relación en la densidad de epígeas/endógeas de 1/1.7 (0.57), mientras que en los bosques de Oaxaca, en donde el suelo contiene un 10.4% de MO, la relación fue de 1/0.8 (1.18). A mayor cantidad de hojarasca, lombrices epígeas dominantes. En los MIAF de Puebla, cuyos valores de MO fueron mucho menores (1.08%), esta relación fue considerablemente menor ($1/15 = 0.07$), mientras que en los MIAF oaxaqueños, en donde existe un 6.4% de MO, la relación fue de $1/2.6 = 0.38$.

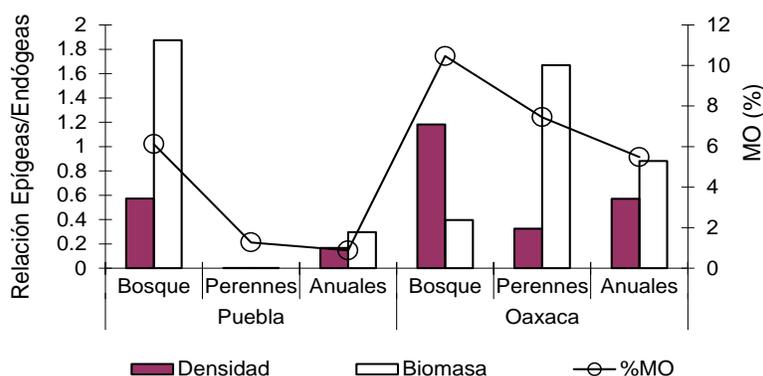


Figura 2. Comparaciones entre la relación de epígeas/endógeas, tanto en densidad como en biomasa, con valores de los contenidos de %MO de los sitios estudiados.

Siendo la hojarasca, la prioridad alimenticia de las epígeas y el suelo para las endógeas, la relación epígeas/endógeas permite determinar el hábitat de una u otra categoría ecológica (Falco y Momo 2010), quienes al intervenir en los procesos de descomposición de la hojarasca y la integración de compuestos al suelo, hasta lograr la mineralización de

nutrientes, de manera conjunta con microorganismos, se pueden lograr incrementos en los contenidos de N total, hasta un ideal de 0.14%, como lo registran Huerta *et al.* (2008).

Bajo estos análisis, los MIAF de Oaxaca pueden considerarse como de condiciones ecológicas similares al bosque de Puebla. Y los MIAF de Puebla, en condiciones más vulnerables, contrarias a los requerimientos que faciliten el desarrollo de las comunidades de lombrices de tierra.

Manejo en el MIAF

Las comunidades de lombrices de tierra de ambientes manejados se estructuran principalmente por la interacción de las variables ambientales (temperatura, humedad, cobertura, nutrientes, etc.), con el manejo antropogénico. Todas estas variables están jerárquicamente relacionadas, de tal modo que aunque la mayoría tenga las condiciones adecuadas para las lombrices, si una de la jerarquía superior tiene valores inadecuados, las lombrices serán incapaces de sobrevivir. Por ejemplo si la vegetación (multi-estrato) no ofrece un refugio a las condiciones de baja humedad, las lombrices de tierra no podrán subsistir.

En Puebla, la cobertura y hojarasca producida por los árboles de durazno en los MIAF estudiados aparentemente no fue suficiente para impedir la pérdida de agua y mantener a las poblaciones de lombrices. Sin embargo parece ser que las aplicaciones de estiércoles, la reincorporación abundante de la biomasa herbácea y la disminución de labores agrícolas, podrían ayudar a que el sistema albergara mayores cantidades de lombrices.

Feijoo *et al.* (2007), por ejemplo, reconocen que existen sistemas de cultivo que crean ambientes propicios para conservar la biodiversidad, la recolonización y la reproducción natural de las especies. Pero los aplicados en el MIAF, especialmente en Puebla, presentan niveles considerables de remoción del suelo y de la cubierta vegetal, que desprotegen a la humedad del suelo, cuya temporalidad y frecuencia determinan ya una intensificación del cultivo (Postma-Blaauw *et al.* 2010).

Con base en otras experiencias en cultivos perennes (Senapati *et al.* 1999) o con anuales (Li *et al.*, 2002), la presencia de lombrices, tanto en las zonas bajo el dominio de los árboles como de las plantas anuales, deberá tener un efecto positivo y sinérgico sobre la

producción. Brown *et al.* (1999) sugieren que una biomasa de lombrices cercana o similar a los 30 g m⁻² es suficiente para impactar significativamente la fertilidad del suelo.

Tanto en los MIAF de Oaxaca como en los de Puebla estos valores no se presentan a nivel promedio y solo en algunas repeticiones los valores están por encima de los 20 g m⁻² (Puebla 27.9 g m⁻²; Oaxaca 23.3 g m⁻²), por lo que en principio deberían manipularse los sistemas para incrementar la abundancia de las poblaciones.

CONCLUSIONES

Los MIAF son sistemas agrícolas diseñados para diversificar e incrementar la producción agrícola; la combinación entre especies perennes y anuales permite conformar una estructura vegetal y de aplicaciones tecnológicas ordenadas en el espacio y tiempo, haciendo que su sistema sean refugios potenciales para las comunidades edáficas.

Los MIAF de Oaxaca presentan un ambiente similar al bosque de Puebla.

En Puebla sería más necesaria la manipulación del MIAF como sistema de cultivo, sobre todo tratando de implementar cambios en las prácticas agrícolas que usan la mayoría de los agricultores.

Entre estas prácticas se incluye el uso de abonos de cobertera, estiércol, etc, que ayuden a proteger el suelo, aumentar la cantidad de hojarasca y la humedad del suelo, así como incrementar la mineralización y liberación de nutrientes para las plantas.

Para Puebla: *L. rubellus* (epigea) y *A. trapezoides* (endógea); y para Oaxaca: *Amyntas* sp. y *D. rubidus* (epígeas) y *P. corethrurus*, (endógea), serían las especies susceptibles de manejo para impactar positivamente en el MIAF.

AGRADECIMIENTOS

Al Departamento de Agroecología y Ambiente del ICUAP y a la BUAP, por sus apoyo en la búsqueda de conocimiento y en la formación en Postgrado; al Colegio de Postgraduados por comprender la importancia de la biota edáfica para el desarrollo; al CONACYT, como impulsor del postgrado y de la ciencia en México; y a la Universidad Veracruzana por la licencia en el uso de paquete Statistica.

LITERATURA CITADA

- Addison, J. A. 2009. Distribution and impacts of invasive earthworms in Canadian forest ecosystems. *Biol Invasions* 11:59-79.
- Anderson, J. M. & Ingram, J. S. I. 1993. *Tropical soil biology and fertility: a handbook methods*. C.A.B.I. Wallingford, Oxford, U.K.
- Blakemore, R. J. 2006. *Cosmopolitan Earthworms – an Eco-Taxonomic Guide to the Peregrine Species of the World*. VermEcology, Japan.
- Bohlen, P. J., W. M. Edwards & C. A. Edwards. 1995. Earthworm community structure and diversity in experimental agricultural watersheds in Northeastern Ohio. *Plant Soil* 170(1): 233-239.
- Brito-Vega, H., D. Espinosa-Victoria, B. Figueroa-Sandoval, C. Fragoso & J. C. Patrón-Ibarra 2006. Diversidad de lombrices de tierra con labranza de conservación y convencional. *Terra Latinoamericana* 24: 99-108.
- Brown G., Pashanasi B., Villenave C., Patrón J. C., Senapati B. K., Giri S., Barois I., Lavelle P., Blanchart E., Blakemore R. J., Spain A. V., Boyer J. 1999. Effects of earthworms on plant production in the tropics, pp 87-147. In: Lavelle P., Brussaard L., Hendrix P. (Eds). *Earthworm management in tropical agroecosystems*. C.A.B.I. Wallingford, Oxford, U.K.
- Chan, K. Y. & J. A. Mead. 2003. Soil acidity limits colonisation by *Aporrectodea trapezoides*, an exotic earthworm. *Pedobiologia* 47(3): 225-229.
- Chaudhuri. P. S, S. Nath & R. Paliwal. 2008. Earthworm population of rubber plantations (*Hevea brasiliensis*) in Tripura, India. *Tropical Ecology* 49(2): 225-234.
- Conover W.J., Iman R.L. 1981. Rank transformations as a bridge between parametric and nonparametric statistics. *Am. Stat.* 35 (3): 124-129
- Cortés F., J.I., A. Turrent F., P. Díaz V., E. Hernández R., R. Mendoza R. & E. Aceves R. 2005. *Manual para el establecimiento y manejo del sistema milpa intercalada con árboles frutales (MIAF) en laderas*. Colegio de Postgraduados, México.
- Cortés F., J.I., R. Mendoza R., E. Hernández R., E. Aceves R., A. Turrent F. & N. Estrella C. 2004. *El sistema agrícola “Milpa intercalada en árboles frutales (MIAF)” en terrenos planos*. Colegio de Postgraduados, Puebla, México.

- Falco, L. B. & F. Momo 2010. Selección de hábitat: efecto de la cobertura y tipo de suelo en lombrices de tierra. *Acta Zool. Mex.* Número especial 2: 179-187.
- Feijoo, A., M. C. Zúñiga, H. Quintero & P. Lavelle 2007. Relaciones entre el uso de la tierra y las comunidades de lombrices en la cuenca del río La Vieja, Colombia. *Pastos y Forrajes* 30: 235-249.
- Fernández, R., M. Novo, M. Gutiérrez, A. Almodóvar & D.J. Díaz C. 2010. Life cycle and reproductive traits of the earthworm *Aporrectodea trapezoides* (Duges, 1828) in laboratory cultures. *Pedobiologia* 53: 295–299.
- Fragoso, C. y P. Rojas. 2009. A new ocnerodrilid earthworm genus from southeastern Mexico (Annelida: Oligochaeta), with a key for the genera of Ocnerodrilidae. *Megadrilologica* 13 (9): 141-152.
- García, E. 1973. *Modificaciones al sistema de clasificación climática de Koppen; para adaptarlo a las condiciones de la República Mexicana*. UNAM, México.
- Fragoso, C. 2001. Las lombrices de tierra de México (Annelida, Oligochaeta): Diversidad, ecología y manejo. *Acta Zool. Mex.* Special number 1: 131-171.
- García, J. A. & C. Fragoso. 2002. Growth, reproduction and activity of earthworms in degraded and amended tropical open mined soils: laboratory assays. *Appl. Soil Ecol.* 20 (1): 43-56.
- Hendrix, P.F. & C.A. Edwards. 2004. Earthworms in Agroecosystems: Research Approaches, pp. 287-296. In: C.A. Edwards (ed). *Earthworm Ecology*. CRC Press. Boca Raton. Florida.
- Hendrix, P. F., M. A. Callahan, Jr., J. M. Drake, C. Huang, S. W. James, B. A. Snyder & W. Zhang 2008. Pandora's Box Contained Bait: The Global Problem of Introduced Earthworms. *Annu. Rev. Ecol. Evol. Syst.* 39: 593–613.
- Huerta L. E, J. Rodríguez-Olán, I. Evia-Castillo, E. Montejo-Meneses, M. Cruz-Mondragón & R. García-Hernández 2008. Relación entre la fertilidad del suelo y su población de macroinvertebrados. *Terra Latinoamericana* 26: 171-181.
- Kalish, P. J. & Powell E. J. 2000. Invertebrate macrofauna in soils under old growth and minimally disturbed second growth forests of the Appalachian mountains of Kentucky. *Am. Midlyat.* 144: 297-307.

- Lavelle, P., Barois, I., Blanchart, E., Brown, G.G., Brussaard, L., Decaëns, T., Fragoso, C., Jiménez, J.J., Ka Kajondo, K., Martínez, M.A., Moreno, A.G., Pashanasi, B., Senapati, B.K. & Villenave, C., 1998. Earthworms as a resource in tropical agroecosystems. *Nature & Resources* 34(1): 26-41.
- Lavelle, P., L. Brussaard, P. Hendrix. 1999. *Earthworm management in tropical agroecosystems*. C.A.B.I. Wallingford, Oxford, U.K.
- Li, H., Hu F., Shen Q., Chen X., Cang L., Wang X. 2002. Effect of earthworm inoculation on soil carbon and nitrogen dynamics and on crop yield with application of corn residues. *Chinese Journal of Applied Ecology* 13(12):1637-1641
- Mijangos, I., R. Pérez, I. Albizu & C. Garbisa 2006. Effects of fertilization and tillage on soil biological parameters. *Enzyme Microb. Tech.* 40 (1): 100-106.
- Montoya, J. M. & R. Solé A. 2002. Small World Patterns in Food Webs. *J. Theor. Biol.* 214: 405-412.
- Morales J. & L. Sarmiento 2002. Dinámica de los macroinvertebrados edáficos y su relación con la vegetación en una sucesión secundaria en el páramo venezolano. *Ecotrópicos* 1 (15): 99-110.
- Plum, N. M. & J. Filser 2005. Floods and drought: Response of earthworms and potworms (Oligochaeta: Lumbricidae, Enchytraeidae) to hydrological extremes in wet grassland. *Pedobiologia* 49 (5): 443-453.
- Postma-Blaauw, M. B., R. G. M de Goede, J. Bloem, J. H. Faber & L. Brussaard. 2010. Soil biota community structure and abundance under agricultural intensification and extensification. *Ecology* 91:460–473.
- Price, G. W. & A. M. Gordon. 1999. Spatial and temporal distribution of earthworms in a temperate intercropping system in southern Ontario, Canada. *Agroforest. Syst.* 44: 141–149.
- Reynolds, J.W. 1977. *The Earthworms (Lumbricidae and Sparganophiidae) of Ontario*. Royal Ontario Museum, Toronto, Canada.
- Senapati, B. K., P. Lavelle, P. K. Panigrahi, S. Giri & G. G. Brown 1999. Case study A1. Soil Fauna and organic fertilizers in tea gardens of Tamil Nadu, India. FAO. Disponible en: <http://www.fao.org/landandwater/agll/soilbiod/cases/caseA1.pdf>

- Werner, M. R. 1990. Earthworm ecology and sustaining agricultural. *Components* 4(1).
Disponibile en: <http://www.sarep.ucdavis.edu/worms/werner.htm>.
- Whalen, J. K. 2004. Spatial and temporal distribution of earthworm patches in corn field, hayfield and forest systems of southwestern Quebec, Canada. *Appl. Soil Ecol.* 227: 143-151.
- Zar, J. H. 2009. *Biostatistical analysis*. Prentice & Hall. USA.

CAPITULO V.

EFFECTO DE ABONOS ORGÁNICOS Y LOMBRICES DE TIERRA (*A. trapezoides* y *L. rubellus*) SOBRE CULTIVOS INTERCALADOS DE DURAZNO

*EFFECT OF ORGANIC FERTILIZERS AND EARTHWORMS (A. trapezoides AND L. rubellus) OVER
PEACH INTERCROPPING CULTURES*

**Dionicio Juárez Ramón¹, Carlos Fragoso González², Ronald Ferrera Cerrato⁵,
Engelberto Sandoval Casto⁴, Antonio Turrent Fernández³, Ignacio Ocampo Fletes⁴,
Juventino Ocampo Mendoza⁴**

¹Centro de Agroecología, Instituto de Ciencias, Benemérita Universidad Autónoma de Puebla, Blvd. 14 sur 6301 Ciudad Universitaria, C.P. 72570 Puebla, Puebla, México. E-mail: *dionicio.juarez@correo.buap.mx*

²Red de Biodiversidad y Sistemática, Instituto de Ecología, A.C., Km. 2.5 Car. Antigua a Coatepec 351, Congregación El Haya, Xalapa 91070, Veracruz, México. E-mail: *carlos.fragoso@inecol.edu.mx*

³Instituto Nacional de Investigaciones Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), El Horno, Chapingo, Estado de México, México. E-mail: *turrent1@colpos.mx*

⁴CP- Campus Puebla, Km. 125.5 Car. México-Puebla, Colonia La libertad, Cholula, Puebla, México. E-mail: *engelber@colpos.mx, ofletes_2000@yahoo.com, jocampo@colpos.mx*

⁵CP- Campus Montecillo, Km. 36.5 Car. México-Texcoco, Montecillo, Estado de México, México. E-mail: *ronaldfc@colpos.mx*

RESUMEN

La bioestimulación y la bioaumentación incrementan la liberación de nutrientes en el suelo; pero en clima templado y con restricciones de humedad no se han estudiado. La condición empobrecida del suelo en cultivos intercalados en el centro de México, es propicia para probar estos conceptos haciendo aplicaciones de materiales orgánicos: alfalfa cortada de la misma parcela, chícharo cultivado *in situ* y estiércol de vacuno, solos o con lombrices de tierra inoculadas: *L. rubellus* (epigea) y *A. trapezoides* (endógea). En el experimento de campo, los tratamientos fueron organizadas en bloques aleatorizados y con 5 repeticiones, más un control sin enmiendas ni lombrices. Cada unidad experimental fue de 4 m⁻² con un árbol de durazno al centro, separada por otros 2 árboles a ambos lados dispuestos en el mismo surco. Las variables consideradas fueron grupos de la macrofauna, mesofauna,

microbiológicos y fisicoquímicos. Los resultados mostraron que *A. trapezoides* es viable incrementando su biomasa en 76% al año, con una gran capacidad de movilidad; mientras que *L. rubellus* sólo funciona con hojarasca y cuando la humedad del suelo está protegida. Los materiales orgánicos verdes estimularon a las poblaciones de la biota edáfica, en tanto que el estiércol, va directamente a la liberación de nutrientes en el suelo. Se detectó una posible depredación de microorganismos por las lombrices de tierra, con la ausencia de hojarasca. Los efectos de los materiales orgánicos serán positivos en la medida en que las actividades agrícolas estén acordes a la modificación de factores que favorezcan a las poblaciones de organismos del suelo.

*Autor de correspondencia

E-mail: dionicio.juarez@correo.buap.mx. Tel.: 01 222 2440537.

Palabras clave: enmiendas orgánicas, inoculación de lombrices, biota edáfica, MIAF.

ABSTRACT

Biostimulation and bioaugmentation enhanced release of nutrients in the soil, but in temperate weather with humidity restrictions have not been studied. The impoverished condition of the soil in alley cropping in central Mexico, is suitable to test these concepts by application of organic amendments as alfalfa cut of the same plot, peas grown *in situ* and cow manure, single or with earthworms species inoculated: *L. rubellus* (epigeic) and *A. trapezoides* (endogeic). In the field experiment, treatments were arranged in randomized blocks with 5 replications, plus a control without amendment or earthworms. Each experimental unit was 4 m² with a peach tree in the center, separated by other 2 trees on both sides arranged in the same row. The variables were groups of macrofauna, mesofauna, microbiological and physicochemical. The results showed that *A. trapezoides* is feasible to increase its biomass by 76% year⁻¹, with a great capacity for mobility; while *L. rubellus* works only with litter and when soil moisture is protected. Green organic amendments stimulated the soil biota populations, while the manure goes directly to the release of nutrients in the soil. Detected a possible predation of soil microorganisms by earthworms in the absence of litter. The effects of organic amendments will be positive to the extent that

agricultural activities are in line with changes in regulatory factors that support populations of soil organisms.

Key words: organic amendments, earthworm inoculation, edaphic biota, alley cropping.

INTRODUCCIÓN

El sistema de milpa intercalada con árboles frutales (MIAF) establecido en algunas partes del altiplano del centro de México, presenta una baja diversidad y abundancia de organismos del suelo (Juárez *et al.*, 2012). Esto se debe en gran medida a las condiciones ambientales poco propicias de baja temperatura y escasa humedad y a la escasa incorporación de materiales orgánicos al suelo. Por esta razón constituyen un sistema adecuado para probar alternativas que mejoren la capacidad productiva de sus suelos, mediante el manejo de los organismos del suelo.

Diversos estudios han demostrado una relación entre una mayor capacidad productiva del suelo y la presencia de comunidades diversas y abundantes de la biota edáfica (Swift, 1999). Estas comunidades diversas se presentan en suelos húmedos, con temperaturas cálidas y templadas y en donde existe un manejo de las actividades agrícolas (Lavelle *et al.*, 1998; Price y Gordon, 1999), especialmente por la incorporación de materiales orgánicos al suelo y la reducción del nivel de intensificación agrícola.

La cantidad, calidad y frecuencia de la disponibilidad de materiales orgánicos para su descomposición en el suelo incrementa la actividad biológica (Setälä *et al.*, 2000; Schmidt *et al.*, 2003). Esto se debe a que sirven como fuente de alimento para los organismos trituradores, descomponedores o procesadores de desechos orgánicos, incluyendo a los macro, meso y microorganismos que viven en el suelo (Ferrera y Alarcón, 2001).

De entre los animales de la macrofauna, es más conveniente manejar a las lombrices de tierra, porque en su calidad de ingenieros del ecosistema (Lavelle *et al.*, 1997) ejercen impactos físicos que favorecen la distribución de otros organismos y el transporte de insumos orgánicos dentro del suelo; con estos últimos es posible influir en el incremento de la actividad biológica y por lo tanto, en la fertilidad del suelo. Esto se ha demostrado en

sistemas de cultivo agroforestales tropicales, con efectos similares o mayores a la agricultura intensiva sostenida con fertilizantes químicos (Senapati *et al.*, 1999; Lavelle *et al.*, 1998).

Si bien en los suelos y cultivos de climas templados también se ha demostrado el efecto benéfico de las lombrices, no se ha probado esto en sistemas intercalados de árboles y anuales. En este estudio, por lo tanto, se pretende evaluar en el sistema agroforestal MIAF el efecto de las lombrices de tierra y de la aplicación de enmiendas orgánicas, sobre algunas variables fisicoquímicas del suelo y sobre la biota edáfica (macro, meso y microfauna). Es de esperarse que a un año del experimento este manejo haya tenido un impacto en el mejoramiento de la salud del suelo.

MATERIALES Y MÉTODOS

Sitio de estudio

El estudio fue realizado en los valles centrales de Puebla (México), caracterizados por su clima templado y seco (C(w''₂)(w)b(i')g, García (1973): Pr= 900.8 mm (mayo-octubre); T_{ma} = 15.2°C; Alt =2297-2437 msnm), en un terreno cultivado con surcos de árboles de durazno intercalados con franjas sembradas con especies anuales (MIAF= sistema particular tecnificado de “alley cropping”). En este sitio se detectó con anterioridad (octubre 2006) una elevada extracción de residuos de cosecha y una baja presencia de organismos del suelo (0.74% de MO y 0.07 g m⁻² de lombrices de tierra) en comparación con el suelo del bosque ubicado a sólo 300 m de distancia, que presentó valores mayores (6.12% de MO y 57.6 g m⁻² de lombrices de tierra) (Juárez *et al.*, 2012).

Por la condición arenosa del suelo (regosol), las áreas cultivadas presentan problemas de resequedad superficial de octubre a mayo de cada año; a 5 cm de profundidad el suelo puede cambiar, en tan sólo 14 días soleados, de la condición de capacidad de campo a la de punto de marchitamiento permanente. Por esta razón es importante aplicar riego durante esta época.

Diseño de la investigación

La investigación consistió en un experimento de campo de 12 meses (iniciado en septiembre de 2007), llevado a cabo en el suelo de las líneas de árboles de durazno del

sistema MIAF. Los tratamientos incluyeron la adición de distintos tipos de abonos orgánicos locales y de lombrices de tierra. La adición de los abonos ocurrió en tres ocasiones: septiembre, enero y junio.

Los abonos orgánicos utilizados fueron:

a) Chicharo (*Pisum sativum*) (**Ch**). Cultivado *in situ* para fijación de N atmosférico, se utilizó una densidad de 75g de semilla por m⁻², variedad Early Perpetion (5 veces más a la densidad normal para grano). Posteriormente el follaje se aplicó como abono verde.

b) Alfalfa (*Medicago sativa*) (**A**). Aplicada como abono verde no cultivado *in situ* a una densidad de 4.5 kg m⁻² (Huerta *et al.*, 2005). La alfalfa fue cortada del mismo terreno del productor.

c) Estiércol fresco de bovino (**E**). Aplicado bajo el concepto de abono orgánico tradicional de la región a una densidad de 75 Mg ha⁻¹, equivalente a 30 kg por unidad experimental (Cortés, *et al.*, 2004).

Las lombrices de tierra inoculadas (L) fueron las más abundantes en el suelo del bosque: *Aporrectodea trapezoides* (endogea) y *Lumbricus rubellus* (epigea), en una proporción 2:1, y con una biomasa total de 30 g m⁻² (Huerta *et al.*, 2005). La inoculación fue con individuos juveniles con un peso menor a 0.7g y en circunferencia, a 0.8 m de distancia del tronco del árbol (Figura 1).

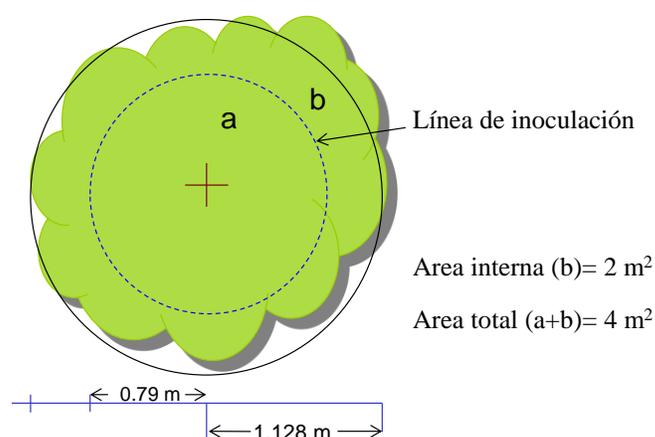


Figura 1. Línea de inoculación de lombrices de tierra, ubicada en el centro del área total de una superficie circular de 4m⁻².

Cada unidad experimental estuvo constituida por una superficie de 4 m² en cuyo centro se encontraba un árbol de durazno; la distancia entre cada unidad experimental fue de 2 árboles a lo largo de la línea.

Los tratamientos del experimento fueron siete: tres con los diferentes tipos de abonos orgánicos mencionados (Ch, A y E), tres con los abonos orgánicos mas lombrices (LCh, LA y LE) y un testigo (T) sin aplicación de abonos ni lombrices. La disposición fue de bloques al azar, colocados, en sentido opuesto al gradiente de humedad producido por el riego rodado, el cual es aplicado por los productores durante la época de floración y fructificación del durazno, de febrero a mayo (Figura 2).

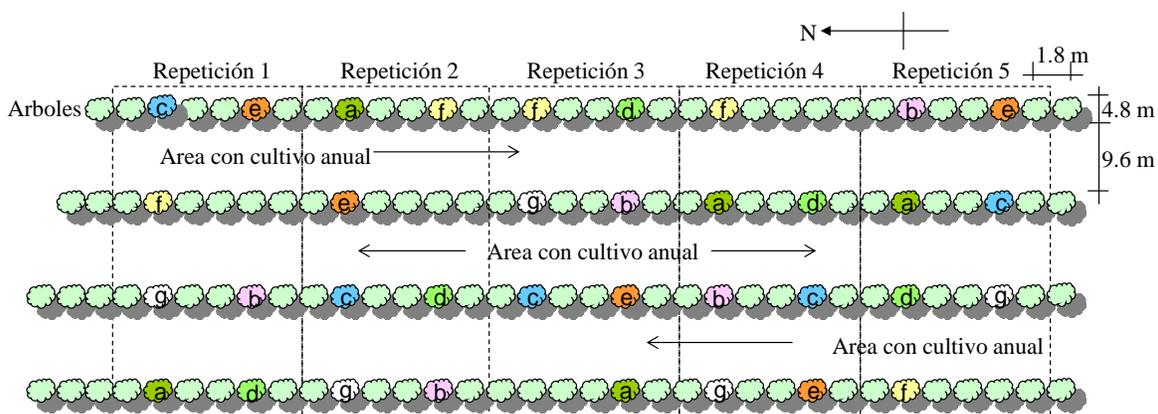


Figura 2. Esquema del dispositivo experimental. Tratamientos: a) Alfalfa, b) Estiércol, c) Chicharro, d) Lombriz con alfalfa, e) Lombriz con estiércol, f) Lombriz con chicharro, g) Testigo. El riego rodado aplicado fue de sur a norte.

Las variables de respuesta biológicas fueron: densidad y biomasa de 24 grupos de macrofauna, cociente ácaros/ácaros+colémbolos (a/a+c) (Rodríguez, 1998), desarrollo de poblaciones microbianas (UFC) de bacterias celulolíticas, solubilizadoras de P, y fijadoras de N atmosférico (Ferrera y Alarcón, 2001) y biomasa microbiana (g de C-CO₂) (Jenkinson y Ladd, 1981). Las variables de respuesta fisicoquímicas del suelo fueron materia orgánica-MO (Walkey-Black), N total (Kjeldahl), P extractable (Bray), cationes intercambiables: K, Ca, Mg; capacidad de intercambio catiónico (CIC), CE y pH (agua, 1:2).

Durante la época de sequía (octubre a febrero) se aplicó una lámina de 3 mm de agua por semana a todos los tratamientos, incluyendo al testigo. Esto incrementó la

humedad del suelo a 15.5% y permitió mantener la actividad biológica del suelo y los procesos de descomposición de los materiales orgánicos aplicados en la época seca. Las herbáceas producidas y cortadas en las labores de limpia, se reintegraron como materiales orgánicos en cada unidad experimental.

Muestreo

El muestreo de la biota y de las variables fisicoquímicas del suelo se llevó a cabo al finalizar el experimento entre el 6 y el 28 de septiembre de 2008. El punto de muestreo en cada unidad experimental se ubicó a 80 cm del tronco de los árboles, en el centro de un área circular de 4 m², de donde se extrajeron una muestra de macrofauna, otra de mesofauna y una más para análisis fisicoquímicos.

Macrofauna. La macrofauna se extrajo manualmente de un monolito de 25x25x25 cm, mediante el método TSBF (Anderson e Ingram 1998); con excepción de las lombrices de tierra que se fijaron en formol al 4% y las gallinas ciegas que se fijaron en solución pampel, el resto de los macroinvertebrados fueron fijados en etanol al 70%. Los organismos fueron separados en el laboratorio por grupos a nivel de Clase, Orden y Familia, siguiendo las clasificaciones y dibujos presentados por Chu (1949), Borror (1970), Wells *et al.* (1984), Johansen (1985) y Eisenbeis y Wichard (1987), y posteriormente contados y pesados. Las lombrices de tierra se identificaron hasta especie o morfoespecie, siguiendo las claves citadas por Reynolds (1977) y Blakemore (2006).

Mesofauna. Junto al monolito de macrofauna se colectó una muestra de suelo de 5x5x15cm de profundidad. La mesofauna se obtuvo en laboratorio mediante embudos de Berlesse-Tullgren, con un foco de 40 watts encendido continuamente durante 4 días, fijando todos los organismos en etanol al 70%.

Microorganismos. A partir de una muestra compuesta de 1 kg de suelo de cada tratamiento, en el laboratorio se cuantificaron las unidades formadoras de colonias (UFC) de microorganismos degradadoras de celulosa (BPC), fijadores de nitrógeno (BFN) y solubilizadores de fósforo (BSP), mediante el cultivo de diluciones (Ferrera-Cerrato, *et al.*, 1993); además se estimó la biomasa microbiana (BM), mediante el método de fumigación-incubación (Delgado y España, 2000).

Análisis Físicoquímicos. De la tierra extraída en cada monolito de macrofauna, se separó una muestra de suelo de 500 g, la cual fue secada y tamizada y enviada al Laboratorio de Física de Suelos del Colegio de Postgraduados, en donde se realizaron los análisis físico-químicos correspondientes.

Análisis Estadísticos

Las diferencias entre tratamientos se detectaron mediante un ANOVA de una vía (Zar, 2009), previa prueba de homogeneidad de varianzas; las comparaciones de medias se hicieron mediante la prueba de rangos múltiples de Tukey ($p < 0.05$). Además se realizaron análisis de correlaciones entre las variables para detectar efectos. Los análisis se realizaron utilizando el programa Statistica.

RESULTADOS

Cantidad y calidad de los abonos orgánicos aplicados

La cantidad y calidad de los abonos orgánicos aplicados varió de manera importante durante el año que duró el experimento, la cantidad total de materia seca (MS) aplicada de cada abono fue diferente, ya que la cantidad de alfalfa y la de chicharo fueron, respectivamente, 60% y 12% mayores que la cantidad aplicada de estiércol. En cuanto a la calidad nutricional, la alfalfa presentó los mayores valores (Cuadro 1).

Cuadro 1. Cantidad total y contenidos nutricionales de los abonos orgánicos aplicados a lo largo de los 12 meses de duración del experimento (tres aplicaciones en verde).

Abono Orgánico	Material fresco aplicado (kg m ⁻²)	Material seco aplicado (kg m ⁻²)	Contenido de N (%)	Calidad como fertilizante* N-P-K (g m ⁻²)
Chicharo	2.74	0.58	2.07	12 - 1.4 - 8.1
Alfafa	13.50	2.84	3.19	90.7 - 9.3 - 60.7
Estiércol	22.50	4.73	0.50	23.8 - 7.1 - 21.3

*Los contenidos nutricionales fueron estimados con datos de: García y Martínez (sf) y Trinidad (2010).

Además de la baja cantidad de material seco en el tratamiento chicharo, las aplicaciones fueron heterogéneas debido al efecto local en la producción de materia verde en cada unidad experimental. Sin embargo, se observó un aumento en la producción de biomasa fresca del follaje del chícharo, en cada ciclo de cultivo en campo, aunque no se encontraron diferencias entre los 3 momentos de producción ($F(2, 12)=2.9073$, $p=.09342$).

Comportamiento de las lombrices de tierra inoculadas

Considerando todos los tratamientos la biomasa de la lombriz endógena *A. trapezoides* tuvo una ganancia del 75.9% en 12 meses, mientras que la epigea *L. rubellus* disminuyó el 55.6% de la cantidad original inoculada (Cuadro 2). En el caso de la primera especie hubo una cierta variación entre tratamientos, mientras que en el caso de *L. rubellus* solamente se encontraron lombrices en LA y con un peso mayor del inoculado en ese tratamiento. La lombriz endógena *A. trapezoides* emigró a todos los tratamientos en los que no se inoculó, incluyendo el control, sin observarse diferencias significativas entre los tratamientos, en esta última forma de distribución ($F(6,28)=.58$; $p<.74$).

Cuadro 2. Ganancia y pérdida en la biomasa ($g\ m^{-2}$) de las lombrices *A. trapezoides* y *L. rubellus* en cada uno de los tratamientos al finalizar el experimento.

Tratamiento	2007		2008			Ganancia o Pérdida		
	<i>At</i>	<i>Lr</i>	<i>At</i>	**	<i>Lr</i>	**	<i>At</i>	<i>Lr</i>
LCh*	20	10	24.38	60.35	0.00	0.00	4.38	-10.00
LA*	20	10	11.14	43.26	16.70	82.59	-8.86	6.70
LE*	20	10	7.19	33.41	0.00	0.00	-12.81	-10.00
Ch	0	0	24.73	61.82	0.00	0.00	24.73	0.00
A	0	0	23.05	89.34	0.00	0.00	23.05	0.00
E	0	0	4.09	3.26	0.00	0.00	4.09	0.00
T	0	0	10.96	40.06	0.00	0.00	10.96	0.00

* Tratamientos con lombrices inoculadas: *At*, *A. trapezoides*; *Lr*, *L. rubellus*. **Biomasa máxima encontrada en un monolito.

Considerando la disposición experimental de los tratamientos, se detectó que la emigración de *A. trapezoides* se realizó hacia los extremos norte y sur de la parcela experimental, sobre

la línea de los surcos de árboles y con mayor énfasis hacia el bloque 1, tanto en la densidad ($F(4,30)=15.24$; $p<.000$) como en la biomasa ($F(4,30)=4.39$; $p<.006$) (Cuadro 3).

Cuadro 3. Movilidad espacial de las lombrices de tierra en campo. Las letras indican diferencias significativas entre bloques (Prueba de Tukey, $p< 0.05$).

Bloques	Individuos m ⁻²	g m ⁻²
1	354.3 a	49.4 a
2	118.8 b	31.2 ab
3	48.0 c	2.9 b
4	64.0 b	5.8 b
5	121.1 b	27.1 ab

Macrofauna

La aplicación de materiales orgánicos al suelo no afectaron a la macrofauna, pues no hubo un efecto significativo de los tratamientos ni en la diversidad de organismos ($H= 1.0$ a 1.3 , Shanon-Weaver ($F(6,28)=.51$; $p<.79$), ni en la densidad ($F(6,28)=.62$; $p<.71$), ni en la biomasa ($F(6,28)=.60$; $p<.72$).

La abundancia de los organismos del suelo estuvo dominado por larvas de dípteros (36%), lombrices de tierra (25.2%) y chilópodos (12.3%); en la biomasa dominaron las lombrices de tierra (79%), seguidas de las larvas de dípteros (7%) y los chapulines (7%). La abundancia de hormigas sólo alcanzó el 0.16%. Estuvieron ausentes grupos como: tijerillas, milpiés, cucarachas, avispas, termitas, opiliones, pseudoescorpiones y tisanuros (Cuadro 4).

Cuadro 4. Biomasa (g m⁻²) de los organismos de macrofauna encontrados en cada tratamiento, al finalizar el experimento.

	LCh	LA	LE	Ch	A	E	T
Larvas (Diptera)	0	0.026	7.181	3.987	1.517	2.362	0
Orthoptera	1.229	0.326	0.45	6.208	0	4.262	0.870
Pupas	0.781	0.570	0.819	1.952	0.154	0.358	0.154
Coleoptera	0.186	0.384	0.602	0.326	0.870	0.544	0.134
Chilopoda	0.294	0.576	0.230	0.147	0.262	0.314	0.218
Larvas (Coleoptera)	0.237	0.403	0.288	0.125	0.589	0.090	0.138
Larvas (Lepidopera)	0.282	0	0.794	0.160	0	0.058	0.154
Gasteropoda	0	0	0	0	0	1.088	0

Araneae	0.090	0.038	0.096	0.237	0.160	0.006	0.096
Hemiptera	0	0.019	0.026	0.026	0.019	0.045	0.06
Isopoda	0	0.090	0	0	0	0.013	0
Homoptera	0	0	0	0.013	0.006	0.038	0.01
Diptera	0	0.006	0.006	0	0.013	0	0
Formicidae	0	0.003	0	0	0	0.006	0
Diplura	0	0	0	0.006	0	0	0

En el caso de las larvas de coleópteros, la biomasa fue mayor ($F(2,24)=3.31$; $p<.053$) en los tratamientos A, con y sin lombrices de tierra inoculadas.

Mesofauna

Las poblaciones de ácaros fueron mayores en el tratamiento E y menores en el tratamiento LCh ($F(6,28)=3.75$; $p<.007$) (Cuadro 4); mientras que los colémbolos no mostraron diferencia alguna ($F(6,28)=2.00$; $p<.09$). El índice a/a+c mostró ligeras diferencias entre los tratamientos ($F(6,28)=2.36$; $p<.056$), pues solo el tratamiento de lombrices con estiércol (LE) mostró valores significativamente menores que el resto de los tratamientos, exceptuando el control (T) y el de lombrices con chicharo (LCh).

Microorganismos

Las comunidades bacterianas totales mostraron diferencias altamente significativas entre los tratamientos (Cuadro 4), correspondiendo los mayores valores a los tratamientos de lombrices con alfalfa (LA) y estiércol (E) ($F(6,28)=55.27$; $p<.000$). Por grupo funcional los microorganismos procesadores de celulosa se desarrollaron mejor en el tratamiento de chicharo (Ch) y en menor proporción en LA y en el de lombrices con estiércol (LE) ($F(6,28)=4.69$; $p<.002$); en cambio los microorganismos solubilizadores de P inorgánico presentaron mayores poblaciones en el tratamiento LA y menores cantidades en LE y A ($F(6,28)=11.67$; $p<.000$); finalmente los microorganismos fijadores de N dominaron en A y tuvieron los menores valores en LE y Ch ($F(6,28)=4.81$; $p<.002$). La biomasa microbiana estuvo correlacionada con el número de bacterias y solo en el tratamiento A tuvieron valores relativamente elevados de biomasa microbiana correspondieron a la menor abundancia de bacterias totales. Los tratamientos con mayor biomasa microbiana fueron LA y E, mientras que el control (T) tuvo el menor valor ($F(6,28)=3.53$; $p<.010$) (Cuadro 5).

Cuadro 5. Promedios totales de las variables analizadas. Para cada variable, letras distintas denotan diferencias significativas entre tratamientos.

Variable	LCh	LA	LE	Ch	A	E	T	
Macrofauna (Indiv. m ⁻²)	342	544	874	653	694	586	230	n.s.
Biomasa (g m ⁻²)	28.25	44.6	19.48	38.14	35.18	27.98	13.19	n.s.
Lombrices (Indiv. m ⁻²)	160	227.2	153.6	115.2	153.6	86.4	92.8	n.s.
Lombrices (g m ⁻²)	25.158	42.163	8.998	24.96	31.59	18.803	11.353	n.s.
Acaros	470.4 b	1254.4 Ab	1004.8 Ab	780.8 ab	1040 ab	1740.8 a	406.4 b	***
Colémbolos	518.4	854.4	2233.6	598.4	688	1401.6	460.8	n.s.
Índice a/a+c	0.46 ab	0.63 A	0.35 b	0.58 a	0.66 a	0.62 a	0.53 ab	*
Bacterias totales	81,849,848 bc	164,294,048 A	63,222,336 c	104,603,848 b	32,879,264 d	145,200,000 a	65,458,436 c	***
BPC (UFC)	5,152,775 abc	4,671,869 Bc	3,939,086 c	10,657,751 a	5,675,588 abc	4,525,204 bc	9,517,695 ab	***
BSP (UFC)	4,994,228 bc	6,832,608 A	3,860,305 cd	4,085,471 bed	2,896,507 d	5,784,390 ab	5,127,901 abc	***
BFN (UFC)	3,943,855 bc	3,270,308 Abc	2,737,665 bc	2,210,497 c	4,207,763 a	3,128,293 abc	2,971,852 abc	***
BM (g de C-CO ₂)	5.12	6.72	3.59	4.56	5.42	6.04	2.51	**
MO (%)	0.70	1.17	1.30	0.88	0.87	1.08	0.82	n.s.
Ph	6.63 d	7.14 bc	7.74 a	6.76 d	7.16 bc	7.44 ab	6.76 cd	***
N (%)	0.04	0.04	0.05	0.05	0.04	0.04	0.03	n.s.
P	12.43 C	19.29 c	71.43 a	15.86 c	24.29 c	46.43 b	10.36 c	***
K	0.46 D	0.82 bc	1.25 a	0.62 cd	0.95 ab	1.07 ab	0.48 d	***
Ca	2.63	2.91	3.20	2.85	2.82	2.76	2.91	n.s.
Mg	1.58 Ab	1.45 ab	2.31 ab	1.64 ab	1.93 ab	2.70 a	1.22 b	**
CIC	4.40 B	8.45 ab	7.84 ab	4.93 b	8.04 ab	11.65 a	3.91 b	***
CE	0.19 C	0.45 a	0.47 a	0.26 bc	0.39 ab	0.43 a	0.23 c	***

Abreviaturas: Indiv. m⁻², individuos m⁻²; BPC, bacterias degradadoras de celulosa; BSP, bacterias solubilizadoras de fósforo; BFN, bacterias fijadoras de nitrógeno atmosférico; MB, biomasa microbiana.

*p<0.05, **p<0.01, ***p<0.001, n.s. No significativo

Nutrientes del suelo

Ni la materia orgánica ni el nitrógeno del suelo mostraron diferencias significativas, con respecto al control y entre tratamientos, por la adición de abonos orgánicos o lombrices. La misma situación se observó para el calcio. En el caso del P, Mg, K y la CIC los tratamientos con solo estiércol (E) o con estiércol y lombrices (LE) presentaron los mayores valores; en las cuatro variables, el control presentó los menores valores.

DISCUSION

Potencialidades y efectos de los materiales orgánicos aplicados

A partir de la dosis recomendada por Huerta *et al.* (2005) de 4.5 kg m⁻² de mucuna en clima tropical, con 22% de MS (0.99 kg), la cantidad aplicada de alfalfa cortada en verde en el tratamiento A acumuló 184% más, sumando las 3 aplicaciones. Solamente que este material no fue producido en la unidad experimental.

En estiércol, la cantidad aplicada fue de 373% mayor con respecto a la cantidad de mucuna recomendada, 10.5 veces superior a la recomendada por Crohn y Haith (1994).

En cambio en el caso de chícharo, la producción *in situ* solamente alcanzó 0.58 kg m⁻² MS año⁻¹ con los 3 ciclos de cultivo, equivalente al 58% de la cantidad de MS de mucuna recomendada; sin embargo, a este tratamiento se le encontraron otras potencialidades:

a) La cantidad de nitrógeno aportado al suelo, vía fijación biológica, tuvo una aportación de 15.3 g N m⁻² año⁻¹, estimada con los datos de Peña-Cabriales *et al.* (1997), por lo que el contenido nutricional aportado al suelo en el tratamiento Ch se elevó a 27.3–1.4–8.1 (N-P-K), superando en 3.5 g m⁻² de nitrógeno más al tratamiento E.

b) El cultivo secuencial de chícharo *in situ*, en el tratamiento Ch y LCh, tendió a mejorar al suelo mediante la proliferación de nódulos activos de BFN en las raíces, incrementado hasta en un 170%, respecto a los demás tratamientos (F(6,28)=8.20; p<.0000) (Figura 3), es decir, mayor número de ciclos de cultivo, mayor disponibilidad de bacterias simbióticas fijadoras de nitrógeno.

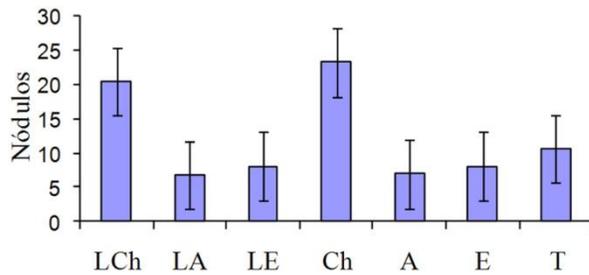


Figura 3. Cantidad de nódulos de BFN simbióticas desarrollados en raíces de plantas de chícharo cultivadas en el laboratorio, en el suelo proveniente de cada tipo de tratamiento y después de ser utilizado durante un año de experimento en campo ($F(6,28)=8.20$; $p<.0000$).

c) El análisis de la producción de abono verde, de los tres ciclos de cultivo en un año, no fueron suficientes para detectar un mayor rendimiento relacionado con el incremento de nódulos; aunque sí se nota alguna ligera tendencia ($F(2, 12)=2.9073$, $p=.093$), habría que observar mayor número de ciclos de cultivo *in situ*.

d) La sostenibilidad productiva de abono verde en el tratamiento Ch puede tener otros factores de variación, por cuanto está sujeta a la competencia con herbáceas en el verano, época en que requiere mayor intervención del hombre en su condición de cultivo.

Existen otros factores que afectaron las potencialidades de los tres tratamientos de materiales orgánicos evaluados, Las cantidades de materia orgánica aplicada en los tratamientos A y E son “más artificiales” por cuanto el sistema en clima templado no tiene esa capacidad productiva, por lo que sería necesario considerar que la cantidad de materiales orgánicos aplicables al suelo, como abono verde, fuera similar a la capacidad del sistema para producirlos, de lo contrario un lugar se enriquecería a costa del empobrecimiento de otro.

A las cantidades de MS que produce el sistema debe sumarse el producido como podas y herbáceas, que en el caso del MIAF van de 0.675 a $1.650 \text{ kg m}^{-2} \text{ año}^{-1}$, sólo que estos materiales son de menor calidad y por efectos de manejo, son desechadas por el productor fuera del terreno, en su mayor parte.

Aún cuando el suelo del MIAF en estudio contiene un bajo contenido de MO, es posible que a los tratamientos A y E les bastara una sola aplicación en cantidad suficiente; la aplicación en 3 ciclos fue pensado para que las generaciones de organismos trituradores

encontraran alimento lábil permanentemente, sin que tuvieran que acceder a compuestos de mayor complejidad estructural o de otras estructuras que se forman para procesos posteriores de biodegradación (Corlay *et al.*, 1999).

Sampedro (1999) menciona que la actividad celulolítica en la descomposición de desechos se encuentra en los primeros dos meses, hasta hacer que las 2/3 partes del material total aplicado sea descompuesto durante el primer año.

En el tratamiento E, cuyo componente cuenta con cierto avance de descomposición, se observaron estimulaciones solamente a microorganismos; pero fue el tratamiento de mayor efectividad en la liberación de nutrientes en el suelo. Lo que hace suponer que la participación de las lombrices de tierra, en los procesos de descomposición, haya sido dada principalmente, en los tratamientos con materiales orgánicos en verde.

Según Frioni (1999), los suelos con contenidos de N total superior a 1.8%, el medio favorece la mineralización neta. Por lo tanto, en los tratamientos A (3.19%) y Ch (2.07%), que presentan aportaciones mayores de N, deben haberse generado dinámicas del carbono orgánico superior al que se da en un ecosistema tropical con sus propias aportaciones de hojarasca; pero solamente en las primeras etapas de descomposición durante el año de experimento, porque fue el tratamiento E, en donde la aportación de nutrientes tuvo mayores efectos.

Lombrices de tierra y actividad biológica

La lombriz *L. rubellus* es probable que haya sucumbido por depredación y por el resecaimiento del suelo, aunque esta especie encontró lugar de refugio en el tratamiento A, con indicios de una posible migración forzada al ser encontrado solamente en una unidad experimental, ubicada en el extremo sur de la parcela experimental y con una biomasa 500% superior a la cantidad inoculada. Si esta especie, por ser epigea, tiene una plasticidad reproductiva amplia, de 36 a 112 días (Whalen y Sampedro, 2009), además con un potencial de reproducción, en un 300% (Lowe y Butt, 2005) superior a *A. trapezoides*, la cantidad encontrada es producto de una migración, pero realmente de supervivencia a nivel parcela experimental.

La redistribución de *A. trapezoides* se realizó mayoritariamente en los momentos de precipitación (junio-septiembre) y sobre la superficie del suelo, posiblemente haya sido

motivada por el exceso de humedad momentáneo y no por los compuestos orgánicos aplicados, pues aunque esta especie tiende a preferir suelos cultivados con gramíneas (Buckerfield, 2002), está claramente adaptada al suelo del bosque de donde fueron extraídos para su inoculación, en donde la relación C/N es de 14/1. La alfalfa y el chícharo, como abonos verdes, presentan una relación C/N de 13/1, el estiércol de 35/1 (Schuldt, 2006). Blakemore (1999) reporta migraciones hasta de 20 m, de esta especie.

En la densidad de lombrices, según Huerta *et al.* (2005), algunas especies no responden a la abundancia y calidad de los materiales orgánicos aplicados. En este estudio, en los tratamientos inoculados con *A. trapezoides* se encontraron individuos de 0.13 g de biomasa, similares a los encontrados en el testigo (0.12 g); y en los no inoculados, los individuos fueron de mayor tamaño, de 0.21 g.

Al menos de lombrices endógeas, los tratamientos Ch soportaron hasta 60.5 g m⁻² en promedio; en A, 66 g m⁻²; y en E, 25 g m⁻². Comparado con los 20 g m⁻² inoculados, es posible observar una capacidad de *A. trapezoides* para potenciar su biomasa.

Si bien, la calidad de los materiales orgánicos, la humedad y la temperatura del suelo, son los tres factores que determinan el incremento de poblaciones de lombrices de tierra (Tian *et al.*, 2000), en los sitios de estudio se observaron lombrices activas desde la primera aplicación de riego, en febrero. Es posible que *A. trapezoides* sea estratega “r” (Reines *et al.*, 1998; Dajoz y Leiva, 2001), por cuanto muestra un carácter oportunista con la primera manifestación de humedad (Domínguez y Edwards, 1997), aun cuando febrero esté dentro del periodo invernal; o la especie disfruta de un alto grado de adaptabilidad a los ambientes, de ahí su condición de especie exótica (Fragoso, 2001).

Sobre los bajos efectos de los tratamientos en la mesofauna, en colémbolos pueden estar dados por las restricciones de humedad en el suelo (Hutson, 1980); y en el caso de ácaros, por la temperatura. Lavelle *et al.* (1981) encontraron poblaciones de ácaros hasta 45 veces superior a las registradas en este estudio y con hojarasca “poco abundante”, pero en clima tropical. Aún cuando ambos grupos presentan estrategias reproductivas “r”, es necesario observar sus poblaciones en un plazo mayor de experimento, pues Rodríguez (1998) los considera buen indicador en la restauración de suelos.

Para el caso de microorganismos, las diferencias de UFC entre tratamientos pueden ser producto de la presencia del tipo de enmiendas, como lo demuestran Joergensen *et al.*

(2010) en la acumulación de residuos bacterianos mediante estiércoles, y no de la presencia de lombrices de tierra, por cuanto éstos pudieron haber empañado la detección de sus efectos por su redistribución espacial.

De la actividad bacteriana, si bien no se tienen registros de especies que tengan una relación simbiótica o asociativa con la rizósfera del durazno en la región de estudio, no se descarta la posibilidad de que haya microorganismos que respondan positivamente, como sucede con algunas especies adaptadas en climas secos (Diedhiou, 2007).

De los posibles efectos que *A. trapezoides* haya provocado en las poblaciones bacterianas, pueden estar relacionadas a los registros de Stephens et al (1994), quienes encontraron que pueden incrementar las poblaciones de *Rhizobium*, antes de los 40 días, y

después, las reducen. El muestreo de este estudio se hizo entre los 41 a 51 días después de la última aplicación de enmiendas. Si existiera alguna forma de depredación bacteriana, tal vez explicara lo del tratamiento E donde hubo un alto incremento de poblaciones bacterianas totales y biomasa microbiana (LA y E), contrario al tratamiento LE; o la mayor presencia de BPC en Ch y de BFN en A, en donde no se inocularon lombrices desde el principio del experimento (Figura 4). Ortiz-Ceballos *et al.* (2007) reportan que con la ausencia de materiales orgánicos sin descomponer, las lombrices tomaron de la comunidad micorrízica para su alimentación.

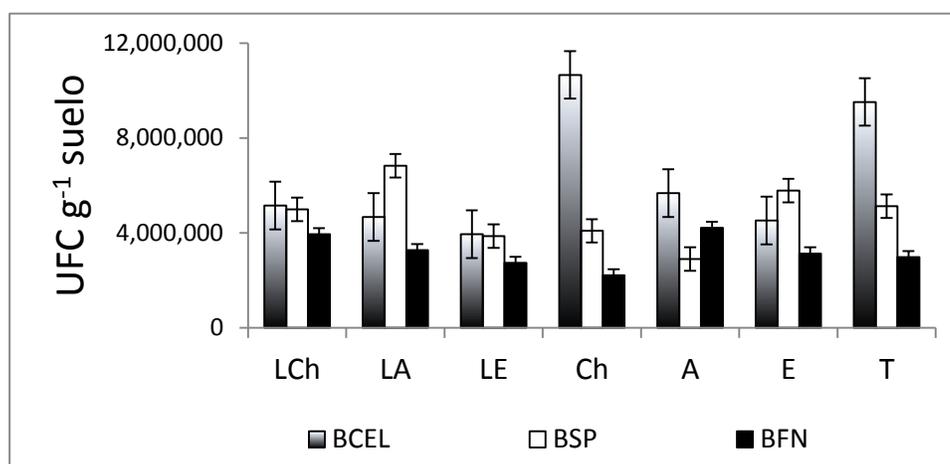


Figura 4. Poblaciones bacterianas (UFC) de bacterias procesadoras de celulosa (BCEL), solubilizadoras de fósforo (BSP) y fijadoras de nitrógeno (BPN), en los diferentes tratamientos.

Consideraciones para mejorar los efectos

El manejo de lombrices de tierra en el sitio de estudio, por las restricciones de humedad, debe considerar la presencia de suficiente alimento y una cubierta protectora del suelo y de la humedad, especialmente entre octubre y febrero, para que las lombrices epigeas puedan sobrevivir la sequía, época en el que no se recomienda aplicar riegos porque la humedad acelera la floración de los árboles frutales y los frutos son dañados por las heladas tardías.

Si la lombriz *A. trapezoides* emigró con el agua de riego o con la lluvia, de cualquier manera existe la oportunidad de una gran movilidad en el sistema. Y si soportó las perturbaciones de las actividades agrícolas, el suelo arenoso y la baja humedad, su capacidad de sobrevivencia y potencialidad la hace viable para la rehabilitación de los suelos.

Los resultados obtenidos en el tratamiento Ch no son muy alejados de los del testigo; por lo que sería conveniente inducir una mayor productividad de biomasa para acceder a mayores efectos de estimulación de la biota del suelo y de reciclamiento de nutrientes, considerando que la fijación de N atmosférico y biomasa mostraron producción ascendente por cada ciclo de cultivo de chícharo subsecuente.

Con la cantidad de nutrientes aportados por los materiales orgánicos aplicados, no se alcanzaron a distinguir efectos en la fructificación, debido a las afectaciones que hicieron las heladas tempranas a la floración y fructificación en el siguiente ciclo productivo, solamente se logró distinguir visualmente una mejor nutrición de las hojas de los árboles de durazno en el tratamiento E, considerando observaciones en toda la huerta. Se concibe que las aportaciones y la eficiencia de absorción de los nutrientes provenientes de estas fuentes orgánicas pudo ser más efectiva, incluyendo los árboles en donde el productor utilizó fertilizantes (Peña-Cabriales, 2001).

Posiblemente en los ciclos posteriores se reflejarían en los rendimientos si se continuaran las aportaciones de enmiendas orgánicas, porque además de integrar una mayor dinámica con la mayor presencia de fuentes de alimento, los organismos de suelo estarían fijando nutrientes corporales por digestión y liberando desechos hacia el suelo, que son nutrientes para las plantas y alimento para otros organismos.

Aun cuando pareciera que el productor mantiene estable su terreno, el sistema MIAF en estudio, permanece en una constante perturbación por la alta tasa de extracción de

materiales orgánicos. Al introducirse enmiendas e inocularse lombrices de tierra sobre la línea de los árboles, se llega a alterar la homeóstasis del sistema a corto plazo, provocando fenómenos como la migración de lombrices, redistribución de lombrices, crecimiento poblacional de organismos descomponedores, activación de la dinámica poblacional microbiana, liberación de nutrientes; y otros fenómenos relacionados con la diversidad de organismos, la depredación, mutualismo, comensalismo, sinergismo, etc. Posiblemente la primera fuerza de acción esté dada por la estimulación provocada por las enmiendas y en segundo plano, la presencia de lombrices como potenciadoras.

CONCLUSIONES

El estudio demuestra que el manejo de *Aporrectodea trapezoides* en suelo cultivado con duraznos es viable en regiones templadas subhúmedas al incrementar su biomasa en 76% al año.

La lombriz *Lumbricus rubellus* puede contribuir en el reciclamiento de materiales orgánicos si se mantiene con los mismos materiales o por otros medios y con una estructura ecológica de protección de la humedad del suelo, donde la especie sólo requiera mayor cantidad y calidad de alimento.

La bioestimulación se cumple con la aplicación de materiales orgánicos verdes, útiles para estimular a las poblaciones de macrofauna descomponedores.

Si se aplican estiércoles, según su grado de descomposición estimulará prioritariamente la actividad metabólica de los microorganismos, pero no a las poblaciones macrofaunísticas.

Conviene elegir el estado de avance de descomposición de los estiércoles para impactar en el corto, mediano o largo plazos en la disponibilidad de nutrientes para un cultivo.

Los efectos de los materiales orgánicos, serán positivos en la medida en que las actividades agrícolas estén acordes a la modificación de factores de regulación que favorezcan a los organismos del suelo.

Agradecimientos

A la Red de Biodiversidad y Sistemática del Instituto de Ecología A. C., como guía; al Departamento de Agroecología y Ambiente del ICUAP y a la BUAP, por sus apoyo en la búsqueda de conocimiento y en la formación en Postgrado; al Colegio de Postgraduados

por comprender la importancia de la biota edáfica para el desarrollo; al CONACYT, como impulsor del postgrado y de la ciencia en México; y a la Universidad Veracruzana por la licencia en el uso del paquete Statistica.

REFERENCIAS

- Anderson, J.M. e Ingram. J.S.L., 1998. Tropical Soil Biology and Fertility: A Handbook of Methods. CAB International, UK.
- Blakemore, R.J., 1999. The diversity of exotic earthworms in Australia – a status report. Proceedings of “The Other 99%”. W. Ponder and D. Lunney (Eds), Transactions of the Royal Zoological Society of NSW. pp 182-187.
- Blakemore, R.J., 2006. Cosmopolitan Earthworms – an Eco-Taxonomic Guide to the Peregrine Species of the World. (2nd Edition). VermEcology, Japan.
- Borror, D.J. y R.E. White, 1970. A field guide to insects. America north of Mexico. Houghton Mifflin Company, N.Y.
- Buckerfield, J.C., 2002. Earthworm populations in dryland cropping soils under conservation-tillage in south Australia. Soil Biology and Biochemistry 12 (24): 1667-1672.
- Chu, H.F., 1949. How to Know the Immature Insects. WM. C. Brown Company Pulishers. USA.
- Corlay C., L., R. Ferrera-Cerrato, J.D. Etchevers B., A. Echegaray A. y J.A. Santizo R., 1999. Cinética de grupos microbianos en el proceso de producción de composta y vermicomposta. Agrociencia 33: 375-380.
- Cortés F., J.I., R. Mendoza R., E. Hernández R., E. Aceves R., A. Turrent F. y N. Estrella Ch., 2004. El sistema agrícola “Milpa intercalada en árboles frutales (MIAF)” en terrenos planos. Colegio de Postgraduados, Puebla, México.
- Crohn, D.M. y Haith, D.A., 1994. A forest site nitrogen dynamics model for land application of sludge. Transactions of the ASAE 37(4): 1135-1144.
- Dajoz, R., y M.J. Leiva M., 2001. Tratado de Ecología. Mundi-Prensa, Madrid.
- Delgado, R. y M. España, 2000. Evaluación de la biomasa microbiana por los métodos fumigación-incubación y fumigación-extracción y su relación con la disponibilidad de nitrógeno en suelos de Venezuela. Agronomía Tropical 50(4): 537-551.

- Diedhiou, S., 2007. Activity, composition and structure of soil microbial communities in Savannah shrubs of agroecosystems in semi-arid Senegal. Doctoral thesis. Oregon State University.
- Dominguez, J., y C.A. Edwards, 1997. Effects of stoking rate and moisture content on the growth and maturation of *Eisenia andrei* (Oligochaeta) in pig manure. *Soil Biology & Biochemistry* 29: 743-746.
- Eisenbeis, G. y W. Wichard, 1987. Atlas on the biology of soil arthropods. Springer-Verlag, N.Y.
- Ferrera C, R. y A. Alarcón, 2001. La microbiología del suelo en la agricultura sostenible. *Ciencia Ergo Sum* 2(8): 175-183.
- Fragoso, C. 2001. Las lombrices de tierra de México (Annelida, Oligochaeta): Diversidad, ecología y manejo. *Acta Zool. Mex. Special number 1*: 131-171.
- Frioni, L., 1999. Procesos microbianos. Fundación Universidad Nacional de Rio Cuarto, Argentina.
- García, E., 1973. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Koppen; para adaptarlo a las condiciones de la República Mexicana. UNAM, México.
- García-Carreón, J.S., y M.R. Martínez-Menez, s/f. Abonos verdes. SAGARPA-Colegio de Postgraduados. Disponible en:
<http://www.sagarpa.gob.mx/desarrolloRural/Documents/fichasCOUSSA/Abonos%20Verdes.pdf> . Consultado en mayo de 2010.
- Huerta, E., C. Fragoso y P. Lavelle, 2005. Efecto de la aplicación de hojarasca de mucuna sobre densidad y biomasa de lombrices de tierra. *Terra Latinoamericana* 23: 533-544.
- Hutson, B.R., 1980. Colonization of industrial reclamation sites by acari, collembola and other invertebrates. *Journal of Applied Ecology* 17: 255-275.
- Jenkinson, D. y J. Ladd, 1981. Microbial Biomass in soil: measurement and turnover. *Soil Biology & Biochemistry* 5: 415-471.
- Joergensen, R.G., P. Mäder, A. Fließbach, 2010. Long-term effects of organic farming on fungal and bacterial residues in relation to microbial energy metabolism. *Biology and Fertility of Soils* 3(46): 303-307.

- Johansen, C., 1985. Classification of Insects and their relatives. En: Robert E. Pfadt (Ed.) Fundamentals of applied entomology. Macmillan Publishing Company. New York, pp. 84-127.
- Juárez R., D., C. Fragoso G., A. Turrent F., E. Sandoval C., R. Ferrera C., I. Ocampo F., J. Ocampo M. 2012. Soil macro and mesofauna in alley cropping systems from two regions of central Mexico. Scientific Research and Essays 7(41): 3502-3514.
- Lavelle, P., M. Maury y V. Serrano, 1981. Estudio cuantitativo de la fauna del suelo en la región de Laguna Verde, Veracruz. Epoca de lluvias. En: P. Reyes-Castillo (ed), Estudios ecológicos en el trópico mexicano. Instituto de Ecología, A.C., México, publicación 6: 65-100.
- Lavelle, P., 1997. Faunal activities and soil processes: Adaptive strategies that determine ecosystem function. Advances in Ecological Research 24, 93-132.
- Lavelle, P., I. Barois, E. Blanchart, G. Brown, L. Brussaard, T. Decaëns, C. Fragoso, J.J. Jiménez, K. Kajondo, M.A. Martínez, A. Moreno, B. Pashanasi, B. Senapati, C. Villenave, 1998. Las lombrices como recurso en los agroecosistemas tropicales. Naturaleza y recursos 1(34): 28-44.
- Lowe, C.N. y Butt, K.R., 2005. Culture techniques for soil dwelling earthworms: a review. Pedobiología 49: 401-413.
- Ortiz-Ceballos, A.y C. Fragoso 2007. Earthworm populations under tropical maize cultivation: the effect of mulching with velvetbean. Biology and Fertility of Soils 6(39):438-445.
- Peña-Cabriales, J.J. y O.A. Grageda-Cabrera, 1997. Dinámica del nitrógeno en el sistema agrícola. En: J. Ruiz-Herrera, D. Guzmán de Peña y J.J. Peña-Cabriales (eds). Perspectivas de la microbiología en México. IPN, México, pp. 345-366.
- Peña-Cabriales, J.J., O.A. Grageda-Cabrera y J.A.Vera-Núñez 2001 Manejo de los fertilizantes nitrogenados en México: uso de las técnicas isotópicas (¹⁵N). Terra Latinoamericana 20: 51-56.
- Price, G.W. y A.M. Gordon, 1999. Spatial and temporal distribution of earthworms in a temperate intercropping system in southern Ontario, Canada. Agroforestry Systems 44: 141-149.

- Reines A., M.C. Rodríguez A., A. Sierra P., M.M. Vázquez G., 1998. Lombrices de tierra con valor comercial: biología y técnicas de cultivo. Universidad de Quintana Roo, México.
- Reynolds, J.W. 1977. The Earthworms (Lumbricidae and Sparganophiidae) of Ontario. Royal Ontario Museum, Toronto, Canada.
- Rodríguez A., M.C., 1998. Evaluación y diagnóstico de la macrofauna y la mesofauna edáficas de los suelos restaurados por industrias APASCO en el cerro Buenavista, Veracruz. Tesis de maestría. Instituto de Ecología A. C., México.
- Sampedro, L., 1999. Biodegradación de residuos celulósicos mediante lombrices y microorganismos. Tesis Doctoral. Universidad de Vigo, España.
- Schmidt, O., R.O. Clements y G. Donaldson, 2003. Why do cereal-legume intercrops support large earthworm populations? *Applied Soil Ecology* 2 (22): 181-190.
- Schuldt, M., 2006. Lombricultura: teoría y práctica. Mundi-prensa, Madrid.
- Senapati, B.K., Lavelle, P., Giri, S., Pashanasi, B., Alegre, J. Decaëns, T., Jiménez, J.J., Albrecht, A., Blanchart, E., Mahieux, M., Rousseaux, L., Thomas, R., Panigrahi, P.K. and Venkatachalan, M., 1999. In-soil technologies for tropical ecosystems. En: P. Lavelle, L. Brussaard and P.F. Hendrix (eds.) *Earthworm management in tropical agroecosystems*. CAB International, Wallingford, pp. 199-237.
- Setälä, H., J. Haimi, A. Siira-Pietikäinen, 2000. Sensitivity of soil processes in northern forest soils: are management practices a threat? *Forest Ecology and Management* 133: 5-11.
- Stephens, P.M., C.W. Davoren, M.H. Ryder, B.M. Doube, 1994. Influence of the earthworm *Aporrectodea trapezoides* (Lumbricidae) on the colonization of alfalfa (*Medicago sativa* L.) roots by *Rhizobium meliloti* L5-30R and the survival of *R. meliloti* L5-30R in soil. *Biology & Fertility of Soils* 18:63-70.
- Swift, M., 1999. Towards the second paradigm: integrated biological management of soil. En: J.O. Siqueira, F.M.S. Moreira, A.S. Lopez, L.R. Guilherme, V. Faquin, A.E. Furtini y J.G. Carvalho (Eds), *Inter-relacao fertilidade, biologia do solo e nutrição de plantas*. UFLA, Lavras, Brasil, pp: 11-24.

- Tian, G., J.A. Olimah, F.O. Adeoye y T. Kang, 2000. Regeneration of earthworm populations in a degraded soil by natural and planted fallows under humid tropical conditions. *Soil Science Society of America Journal* 74: 222-228.
- Trinidad S., A., 2010. Utilización de estiércoles. SAGARPA. Disponible en: <http://www.sagarpa.gob.mx/desarrolloRural/Documents/fichasaapt/Utilizaci%F3n%20de%20esti%20rcoles.pdf>. Mayo de 2010.
- Whalen; J.K. y L. Sampedro, 2009. Soil ecology & management. Cab International, UK.
- Wells, S.M., R.M. Pyle y N.M. Collins, 1984. The UICN invertebrate red data book. IUCN, Gland, Switzerland.
- Zar, J.H.. 2009. Biostatistical analysis. Prentice & Hall. USA.

CAPITULO VI.

EL MIAF COMO SISTEMA DE CULTIVO AGROECOLOGICO ESTRATÉGICO PARA LA PRODUCCION AGRICOLA SOSTENIBLE

THE MIFT AS STRATEGIC AGROECOLOGICAL SYSTEM FOR SUSTAINABLE
AGRICULTURAL PRODUCTION

**Dionicio Juárez Ramón¹, Ignacio Ocampo Fletes², Juventino Ocampo Mendoza²,
Engelberto Sandoval Casto², Antonio Turrent Fernández³, Carlos Fragoso González⁴,
Ronald Ferrera Cerrato⁵**

¹Centro de Agroecología, Instituto de Ciencias, Benemérita Universidad Autónoma de Puebla. Pitágoras 39, Valle del Sol, Puebla, Pue. E-mail: dionicio.juarez@correo.buap.mx

²Colegio de Postgraduados (CP)- Campus Puebla, Km. 125.5 Car. México-Puebla, Colonia La libertad, Cholula, Puebla, México. E-mail: ofletes_2000@yahoo.com, jocampo@colpos.mx, engelber@colpos.mx.

³Instituto Nacional de Investigaciones Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), Km 38.5 carretera México-Veracruz, Chapingo, Edo. de México, México. E-mail: turrent1@colpos.mx

⁴Red de biodiversidad y Sistemática, Instituto de Ecología, A. C., Km. 2.5 Carretera Antigua a Coatepec 351, Congregación El Haya, Xalapa 91070, Veracruz, México, E-mail: carlos.fragoso@inecol.edu.mx

⁵CP- Campus Montecillo, Km. 36.5 Car. México-Texcoco, Montecillo, Estado de México, México. E-mail: ronaldfc@colpos.mx

RESUMEN

El objetivo de este trabajo fue analizar a la Milpa intercalada con árboles frutales (MIAF), como modelo agroecológico, tomando en cuenta la capacidad de este sistema en albergar aquellos organismos del suelo que participan activamente en el reciclamiento de nutrientes. La propuesta se sustenta utilizando la bioaugmentación y la bioestimulación de lombrices de tierra mediante aplicaciones de enmiendas orgánicas. Para ello se instalaron dos experimentos: uno, en donde se aplicaron dos abonos verdes (chícharo y alfalfa) y estiércol y se inocularon lombrices de tierra, por su casi escasa presencia (0.107 gm⁻²); y otro, en donde sólo se aplicaron las mismas enmiendas orgánicas, sin inoculación de lombrices por cuanto su población se consideró viable de ser estimulada (10.9 gm⁻²). Los resultados muestran que los impactos en el incremento de poblaciones de lombrices de tierra y en el mejoramiento de los suelos están sujetos al grado de control de los factores de regulación,

especialmente en la constancia en la disponibilidad de los materiales orgánicos y de las técnicas de cultivo que aplican los productores. Se considera viable utilizar a las lombrices de tierra como facilitadoras de estructuras poblaciones que intervienen en el mejoramiento de la capacidad productiva del suelo y asegurar una producción sostenible en el largo plazo, con el que también podrán sostenerse estrategias de mejoramiento de la calidad de la vida del hombre.

Palabras clave: modelo agroecológico, biota edáfica, deterioro, estrategia.

ABSTRACTS

The aim of this study was to analyze the Maize field intercropped with fruit trees (MIFT) as agroecological model, taking into account the ability of this system to accommodate those soil organisms that are actively involved in the recycling of nutrients. The proposal is supported using bioaugmentation and biostimulation of earthworms by application of organic amendments. This will set up two experiments: one, where two green manures were applied (pea and alfalfa) and manure and inoculated earthworms, by its small population (0.107 gm^{-2}), and another in which only applied organic amendments, without inoculation of earthworms, because its population is considered viable be stimulated (10.9 gm^{-2}). The results show that the impact on the increase of earthworms population in the soil improvement are subject to the level of control of the regulatory factors, especially in the continued availability of organic materials and techniques applying by crop growers. It is considered feasible to use earthworms as facilitators of populations structures involved in improving the soil productive capacity and ensure sustainable in the long term, which may also hold strategies for improving the quality of human life.

Keywords: agroecological model, soil biota, soil deterioration, production strategies.

INTRODUCCIÓN

La milpa intercalada con árboles frutales (MIAF) puede ser considerado como modelo agroecológico, si se tomara como un sistema de cultivo que puede ser imitado en otros sitios y condiciones ambientales.

El MIAF como sistema intercalado de especies, anuales con perennes, bajo un arreglo topológico, es producto de una visión de tecnificación de un sistema ancestral, incluso ideado también en otras partes del mundo; logando diferentes aspectos relevantes en la productividad, constituyéndose en motor económico de las familias humanas, con potencialidades de respeto al ambiente en el uso de los recursos.

Este sistema ya supera diversos conceptos de análisis como la combinación de dos sistemas de cultivo: anuales, como el maíz y el frijol, y perennes, como los frutales (Cortés *et al.*, 2004); la oportunidad de integración de especies de porte alto (epicultivo), medio (mesocultivo) y bajo (sotocultivo), con los que logra rendimientos del 36 al 96% mayores que las que se obtienen de las mismas especies en cultivo simple (Cortés *et al.*, 2012; ; en el control de la erosión del suelo en terrenos de ladera (Cortés 2005); en la capacidad de fijación de carbono por su condición de sistema agroforestal (Acosta, 2001) y la importancia socioeconómica que sostiene por sus características de aportar cosechas en diferentes épocas del año según la especie en cultivo, incrementando los ingresos del productor y su familia (Cortés *et al.*, 2007).

Sin embargo, aún falta observar su condición de modelo en sus potencialidades ecológicas, si el MIAF responde al sostenimiento de la biodiversidad (carácter de México) del suelo, especialmente de aquellos organismos que actúan en el reciclamiento de nutrientes y que le infieren al suelo una capacidad de producción sostenible, debido a que como sistema productivo es dependiente de insumos externos, sobre todo de fertilizantes, por cuanto requiere de hasta de 450 g anuales por cada árbol de durazno, más entre 250 a 420 Kg ha⁻¹ para el maíz. Que si bien, para los árboles puede no ser alta la cantidad como se utilizan en otros frutales, no deja de ser una carga económica para el productor.

Y posteriormente, conviene cuestionar si vale la pena utilizar a la biota edáfica (como las lombrices de tierra) para potenciar el reciclamiento de nutrientes, a través de la descomposición de materiales orgánicos que impacten en el mejoramiento y sostenimiento de la capacidad productiva del suelo.

MÉTODOS

El estudio comprende dos periodos:

El primer periodo fue sobre la caracterización de 4 MIAF en terrenos planos (P1, P2, P3, P4) y 4 en terrenos de ladera (P5, P6, P7, P8), con las variables biomasa de lombrices de tierra (g m^{-2}) y materia orgánica (MO), en su condición de indicadores de calidad y de fertilidad, respectivamente. Las MIAF de terrenos planos se ubican en la región de Chiautzingo-Huejotzingo, en Puebla; y los de ladera, en San Jerónimo Tecoaatl, en Oaxaca. Ambas regiones mantienen un clima templado, de los cuales se tomó al bosque de cada lugar como control. Las variables biológicas analizadas fueron: el índice de diversidad, la abundancia y biomasa de lombrices, y del resto de la macrofauna edáfica (organismos mayores a 2 mm); y las variables fisicoquímicas: pH, MO y CIC.

El segundo periodo comprende la instalación de dos experimentos en el sistema MIAF, ubicada en terreno plano, en donde se aplicaron enmiendas orgánicas (dos abonos verdes: chícharo cultivado *in situ* (Ch) y alfalfa cortada del mismo terreno (A); y estiércol (E) de ganado vacuno), en la base que conforma una circunferencia de 4 m^{-2} , alrededor de los árboles de durazno, a razón de 4.5 Kg de materia seca (MS) m^{-2} (Huerta *et al.*, 2005) Para el caso de chícharo, éste fue cultivado *in situ* y la aplicación fue conforme de haya producido materia verde. Durante la época de sequía, se aplicó una lámina de 3 mm de agua semana⁻¹, a fin de mantener la actividad biológica en el suelo.

En el experimento uno, sólo se aplicaron las enmiendas orgánicas, por cuanto se detectó la presencia de 11 g de lombrices de tierra m^{-2} ; mientras que en el experimento dos, por cuanto existe una alta tasa de extracción de residuos de cosecha, de podas y de limpieas, se aplicaron enmiendas más la inoculación de dos especies de lombrices de tierra: *Lumbricus rubelus* (epi-endógea) y *Aporrectodea trapezoides* (endógea), a razón de 30 g m^{-2} totales (Huerta *et al.*, 2005) (ver Capítulo V del presente documento).

Los datos obtenidos fueron analizados mediante ANOVAS de una y dos vías y correlaciones. Para el análisis de varianza, en los casos en que los datos no cumplían los supuestos de homogeneidad de varianzas, fueron transformados a rangos, por cuanto éstas son más robustas a las pruebas no-paramétricas (Conover e Iman, 1981). Las comparaciones de medias se realizaron aplicando Tukey ($p \leq 0.05$) o Duncan, en los casos en que la variable no soportara el mismo nivel de rigurosidad (Zar, 1996).

RESULTADOS

Caracterización biológica de las MIAF

Las MIAF ubicados en terrenos planos no presentaron ni diversidad, ni abundancia, ni biomasa de organismos del suelo; así como tampoco en contenidos de MO ni CIC (Cuadro 1). En cambio las MIAF de laderas presentaron los mayores valores en abundancia de organismos y en contenidos de MO y CIC. Sus condiciones pueden considerarse similares al suelo del bosque.

Cuadro 1. Variables biológicas y fisicoquímicas utilizadas como indicadores de calidad en el suelo de las MIAF analizadas de cada región.

Variable	PUEBLA		OAXACA		Valores de F y p
	MIAFp	Bp	MIAFo	Bo	
Índice H (Shannon-Weaver)	1.19	1.02	1.62	1.42	F(3,56)= 4.72; p<.00
Abundancia total (individuos m ⁻²)	312.00	554.67	754.00	426.67	F(3,56)= 2.75; p<.05
Biomasa total de organismos del suelo (g m ⁻²)	11.79	63.68	15.82	12.79	F(3,56)=15.55; p<.00
pH	6.25	6.26	4.94	4.05	F(3,56)=25.22; p<.00
MO en suelo (%)	1.08	6.12	6.48	10.46	F(3,56)=21.87; p<.00
CIC	5.48	13.55	14.66	15.18	F(3,56)=38.76; p<.00

Si se compara el contenido de organismos del suelo, en terrenos de laderas de Oaxaca las MIAF tienen mayor densidad que en las de terrenos planos de Puebla, superándolas de 353 a 392% (Figuras 1 y 2).

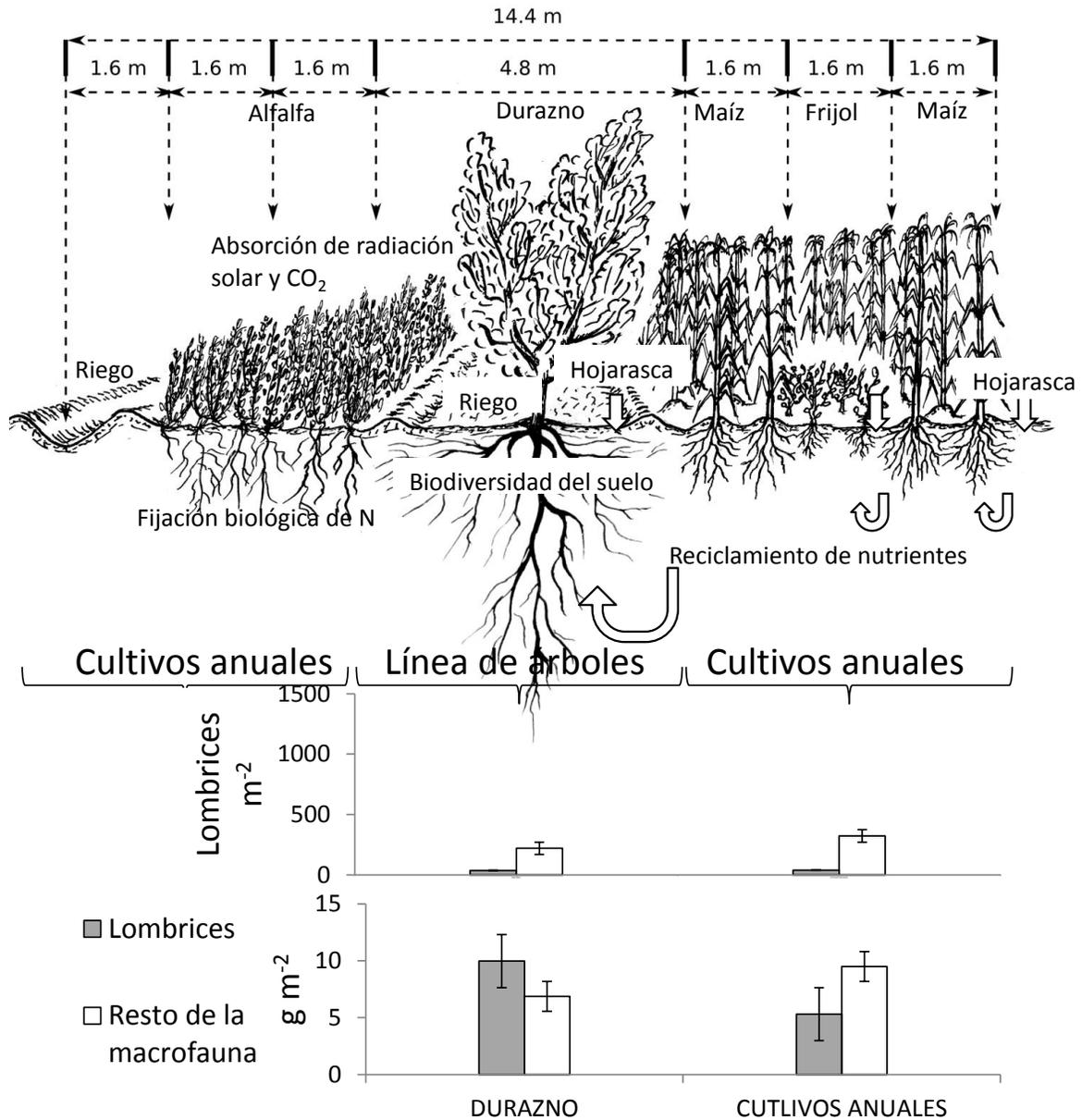


Figura 1. Densidad (individuos m⁻²) y biomasa (g m⁻²) de lombrices de tierra y del resto de la macrofauna, del suelo ocupado por surcos de duraznos y de la franja cultivada con especies anuales en la MIAF en terrenos planos de Puebla. La presente figura es un dibujo extraído de la figura 1 de Cortés *et al.* (2005), modificada para este estudio.

Y si se compara el contenido de organismos del suelo entre las líneas de durazno con las franjas dedicadas al cultivo de especies anuales, puede observarse que las MIAF de terrenos de laderas, en donde se encuentran la mayor cantidad de materiales orgánicos,

producto de residuos de cosecha, restos de podas y de limpieas, presentan la mayor cantidad de lombrices de tierra. Así como, mayor cantidad de biomasa del resto de la macrofauna en las franjas con cultivos anuales en Puebla (Figuras 1 y 2).

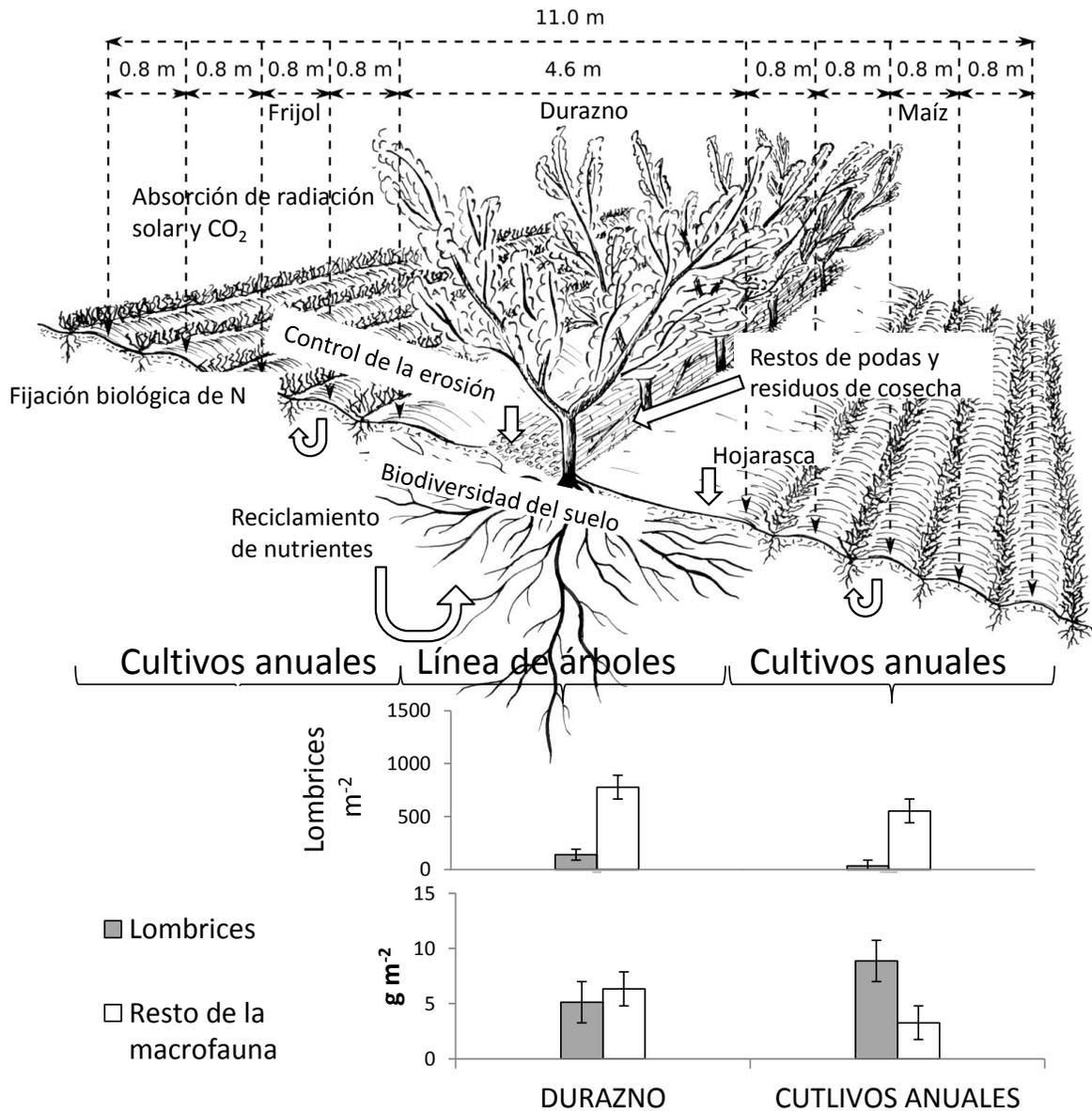


Figura 2. Densidad (individuos m⁻²) y biomasa (g m⁻²) de lombrices de tierra y del resto de la macrofauna, del suelo ocupado por surcos de duraznos y de la franja cultivada con especies anuales en la MIAF en terrenos de ladera de Oaxaca. La presente figura es un dibujo extraído de la figura 2 de Cortés *et al.* (2005), modificada para este estudio.

Si se consideran las diferencias de las MIAF de terrenos planos y laderas, respecto de sus bosques, y al tomar las variables de contenidos de MO y biomasa de lombrices de tierra, se observó un deterioro mayoritario en los terrenos planos (Cuadro 2).

Cuadro 2. Deterioro del suelo del MIAF, tomando a la materia orgánica (MO) y la biomasa de lombrices de tierra como indicadores. El deterioro está calculado como una relación de los valores MIAF/bosque, tomando al suelo del bosque de cada región como control, considerando que es un sistema menos perturbado.

	MO	Lombrices de tierra	Nivel de deterioro el suelo	
	(%)	(g m⁻²)	por MO	por lombrices de tierra
PUEBLA				
Cultivos	1.07%	6.99	89.73%	89.89%
Bosque	10.42%	69.15		
OAXACA				
Cultivos	7.26%	7.63	30.59%	1.42%
Bosque	10.46%	7.74		

Con estas mismas variables (MO y biomasa de lombrices de tierra) se alcanzaron a detectar, que el MIAF con mayor nivel de deterioro es P3, ubicado en Puebla. y de los mejores, P2 de la misma región (Figura 3).

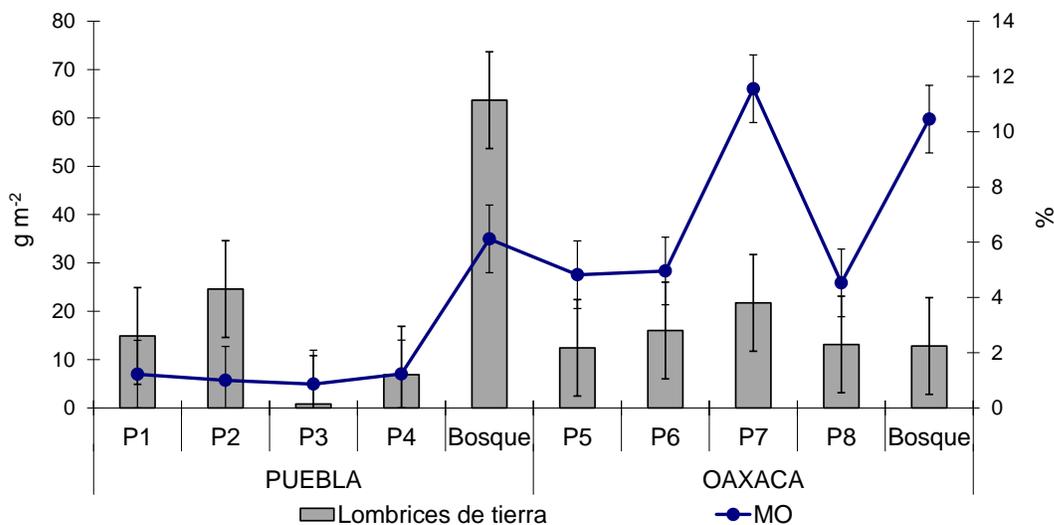


Figura 3. Biomasa de lombrices de tierra (g m^{-2}) y contenido de materia orgánica (MO) en el suelo de las MIAF (P) y el bosque de cada región de estudio.

Si se toma al bosque como referencia, las MIAF de Puebla presentan mayores potencialidades de mejoramiento del suelo; en tanto que las MIAF de Oaxaca, pueden considerarse en condiciones similares a su bosque.

Mejoramiento del suelo de las MIAF

Después de aplicar las enmiendas orgánicas en las dos MIAF, durante un año, en la P3 se observó una gran movilidad de lombrices de tierra, de modo que los inoculados quedaron dispersos en toda la parcela experimental cuyo resultado final se muestra en la figura 4, abarcando todos los tratamientos, especialmente hacia los extremos norte y sur de la parcela. Es probable que esta dispersión haya sido realizado en la época de lluvias, debido a que la especie de mayor movilidad fue *A. Trapezoides*, incrementando además su biomasa total en un 75.9% más que la cantidad inoculada. En cambio, la presencia de *L. rubellus* fue reducida al 55.6%. Para más detalles consultar Capítulo V del presente documento.

La MIAF P2, en donde sólo se estimularon las poblaciones de lombrices de tierra existentes, con la aplicación de las enmiendas citadas, la población se incrementó significativamente en un año de experimento, de 10.65 a 45.66 g m^{-2} para *A. trapezoides* y de 8.107 a 45.17 g m^{-2} de *L. rubellus*, rebasando ambas especies la cantidad total

recomendada de 30 g m⁻², conformándose al final una proporción de 50 y 50% de la biomasa total para cada especie.

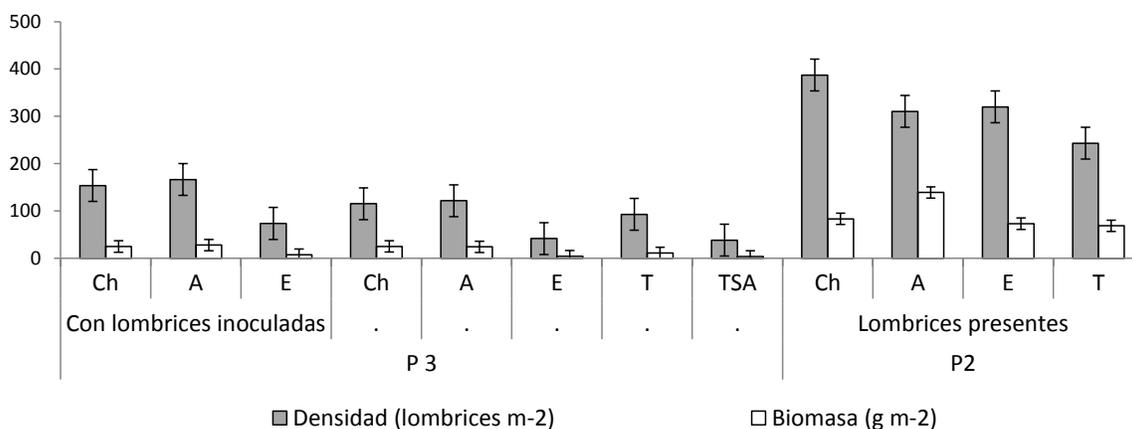


Figura 4. Diferencias altamente significativas en densidad y biomasa ($F(11, 48)=3.58$, $p=.0009$) de lombrices de tierra de las especies *A. trapezoides* y *L. rubellus*, después de tres aplicaciones de enmiendas orgánicas, en un año. Ambas especies fueron inoculadas solamente en los tres primeros tratamientos de P3. T, es el testigo (sin aplicaciones de enmiendas); TSA, es un testigo sin aplicaciones de enmiendas ni ninguna lámina de riego.

El resultado final, la MIAF P2 rebasa a la P3 en un 198% más en densidad y en 238% en biomasa, con la especie *A. trapezoides*. Y con la especie *L. rubellus*, en la P2, de los 11 g m⁻² que había originalmente, éste se incremento a 45.17 g m⁻², al año de experimento.

DISCUSIÓN

Ventajas y Desventajas del MIAF

La condición agroforestal del MIAF, en donde existe la oportunidad de rotar diversas especies cultivadas, anuales en el corto plazo y perennes en el largo plazo, permite reconocer las potencialidades agroecológicas que el sistema puede construir.

Algunos aciertos que el MIAF ha desarrollado, es la reducción de la erosión en por lo menos un 75% (Juárez *et al.*, 2008) mediante la conformación de terrazas de muro vivo con acumulaciones, aguas arriba, de materiales orgánicos provenientes de desechos de

cosecha, de podas y de limpiezas del terreno (Figura 2). Este microambiente de materiales orgánicos acumulados también permite incrementar la biomasa de los organismos del suelo.

Las MIAF de terrenos planos tienen más desventajas ecológicas, por cuanto mantienen condiciones forzadas en el albergue de organismos del suelo, por efectos de menor disponibilidad de humedad, desprotección del suelo por efectos de limpiezas previa a la aplicación de riego sobre las líneas de árboles (Figura 1) y la baja integración de materiales orgánicos al suelo (Figura 3). Esta condición de intensificación agrícola (Fragoso *et al.*, 1997) no permite una dinámica natural normal en el sistema, lo que convierte al MIAF en dependiente de insumos fertilizantes externos, disminuyendo la dinámica del reciclamiento de nutrientes que le dan vida al suelo.

¿Vale la pena utilizar a la biota edáfica en el mejoramiento de la calidad de su suelo?

En el experimento del MIAF P3 se muestra con claridad que a pesar de haber inoculado 30 g de lombrices de tierra m^{-2} (Huerta *et al.*, 2005), el comportamiento de ellas depende de factores ambientales y aplicaciones tecnológicas antropogénicas.

En principio las lombrices epígeas no alcanzaron a soportar las deficiencias en humedad, la exposición a la radiación solar y la escasa cubierta de materiales orgánicos aplicados, que le permitieran refugio y alimento y las constantes labores de limpieza que realizan los productores. En todo caso, es necesario conformar un ambiente más sombreado y de mayor protección de la humedad del suelo como en el MIAF P2, en donde *L. rubellus* alcanzó a cuadruplicar su biomasa. No debe descartarse la manipulación de epígeas en el MIAF, sino acondicionar espacios para su facilitación.

Las lombrices endógeas tienen mayores oportunidades de integrarse al suelo y tomar el interior del mismo como refugio ante las inclemencias de tiempo seco, radiación solar y de las labores agrícolas. Sin embargo, queda pendiente analizar las razones que llevaron a la especie *A. trapezoides* a una mayor movilidad espacial, posiblemente obedezca a las características propias de la especie de migrar hasta por 20 m por año (Blakemore, 1999).

Huerta *et al.* (2005) definen que con una biomasa mínima de 30 g m^{-2} es posible impactar en la actividad biológica del suelo. El MIAF P3 finalizó al año con 15.7 g m^{-2} , habiendo sido inoculada con lombrices de tierra el 37.5% del suelo ocupada por el

experimento. En tanto que el MIAF P2, finalizó con 90.8 g m⁻², sin haber recibido ninguna inoculación. Esto significa que inocular lombrices de tierra es un buen principio, pero lo que determina el éxito de una especie, es el control de los factores de regulación de poblaciones.

El MIAF como modelo agroecológico estratégico de producción de alimentos

Las MIAF de Puebla, difieren de los de Oaxaca por sus diferencias topográficas, condiciones de uso de suelo, intensidad de cultivo y labores agrícolas aplicadas.

En Puebla, el MIAF está instalado sobre suelos con una tradición agrícola histórica, de por lo menos 500 años de antigüedad, con una alta extracción de desechos de cosecha, para uso forrajero si es de maíz, o limpia de terrenos como parte de las labores agrícolas que realizan los productores. Estas acciones hacen que los suelos sean de bajos contenidos en MO, del orden de 0.74 a 1.2%, que unido a la condición arenosa del suelo (regosol) y la facilidad de pérdida de agua por evaporación, hace que el MIAF sea vulnerable a diversos factores relacionados con la fertilidad del suelo:

1) Disminución de la capacidad de sostenimiento de poblaciones de organismos del suelo en un periodo largo en el año.

2) Actividad biológica del suelo concentrada sólo en la época de lluvias (verano).

3) Menor velocidad de descomposición de materiales orgánicos provenientes de limpias, podas y herbáceos de periodos de descansos.

4) Ante la deficiente incorporación de abonos orgánicos, existe mayor dependencia a la aplicación de fertilizantes minerales.

5) El uso constante de fertilizantes disminuye la sinergia raíz-suelo para la estimulación de asociaciones y efectos simbióticos de las plantas con los organismos del suelo.

6) Las aplicaciones constantes de fertilizantes induce una forma productiva acostumbrada en los productores, como única forma de mantener rendimientos.

7) El uso de fertilizantes puede provocar deterioros en el largo plazo, como mantenimiento de la capacidad productiva de los suelos agrícolas de la región.

Para el caso de Oaxaca, la MIAF vive otras situaciones:

- 1) Las pendientes de los terrenos hacen que la intensificación agrícola sea limitado.
- 2) El uso de maquinaria agrícola está ausente.
- 3) Las labores agrícolas son de carácter tradicional.
- 4) Existe baja extracción de residuos de cosecha, por cuanto los recursos forrajeros son más diversos y accesibles.
- 5) Las pendientes pueden provocar erosión del suelo, pero ésta se ha reducido mediante filtros de escurrimientos.
- 6) Los filtros de escurrimientos conforman una estructura del MIAF de laderas cumpliendo diferentes funciones y efectos como:
 - a) Son un medio rico en materiales orgánicos diversos susceptibles a descomposición.
 - b) Son fuente importante de alimento para los organismos descomponedores.
 - c) En ellos se mantienen niveles de humedad aceptables, liberación de nutrientes constantes, conformándose microcadenas alimenticias.
 - d) Son refugio para varios tipos de organismos, por cuanto son acumulaciones de materiales orgánicos y el suelo no sufre remoción por labores de preparación del suelo para cultivo.

Bajo las características que muestran las MIAF, se cumplen varios de los principios que sugieren Gliessman (1998), Altieri y Nicholls (2000) y Núñez (2005) para considerar al MIAF como un sistema agroecológico, pues contempla la diversificación, la capacidad de adaptarse a las condiciones locales, el balance en el flujo de nutrientes y energía, la conservación de recursos, el incremento de las relaciones sinérgicas y el manejo holístico del sistema (Figuras 1 y 2). Solamente se tienen que observar que tales características se den con mayor profundidad y eficiencia, pues sobre todo las MIAF de los terrenos planos de Puebla, presentan mayores restricciones a la biota edáfica.

De los aspectos de mejoramiento que deben contemplarse en los suelos de las MIAF es la construcción de estructuras poblacionales de las comunidades biológicas del suelo (Juárez *et al.*, 2011) que sustentan a los procesos biológicos del suelo bajo las condiciones ambientales locales, a fin de impactar en la generación de una dinámica productiva sostenible, que contemple el principio de la biodiversidad (Altieri y Nicholls, 2000; 2007) y

que permiten una estabilidad y consolidación del ecosistema (Yu *et al.*, 2010), sean MIAF de terrenos planos o de ladera.

Factibilidades tecnológica y social estratégicos

La construcción consciente de comunidades biológicas del suelo que mejoran o recuperan la fertilidad, implica manipular factores de regulación, que estimulan a las poblaciones de organismos macro, meso y microbiológicos (Cuadro 3). En la figura 4 se muestra el reflejo de la intervención y de las decisiones del productor, quien permite conservar y utilizar a la biodiversidad del suelo (MIAF P2), o restringir su presencia e intervención en los procesos biológicos del suelo (MIAF P3).

Cuadro 3. Factores de regulación de las poblaciones de organismos del suelo y sus efectos.

FACTOR DE REGULACIÓN	FORMA	EFEECTO
DEL AMBIENTE ATMOSFÉRICO		
Temperatura	Optima según la especie	Actividad o inactividad
Inicio de las lluvias	Absorción del suelo	Rompe la latencia de los organismos
Periodo de lluvias	Hasta que dure la humedad aprovechable	Periodos largos, amplían el periodo activo de los organismos del suelo
DEL AMBIENTE BIOTICO		
Tipo de vegetación	Sombreado y aporte de hojarasca	Protección del suelo a la radiación directa del sol. Prolongación temporal de la humedad residual
Especies vegetales aportadoras de hojarasca	Tipo y cantidad de materiales orgánicos que se aportan	Diversidad de organismos del suelo
Cantidad de los materiales orgánicos	Energía	Densidad de organismos del suelo (individuos m ⁻²): velocidad de reproducción.
Calidad de los materiales orgánicos	Relación C:N:K:P:-	Biomasa de los organismos del suelo (g m ⁻²): palatabilidad, nutrición.
Contenido nutricional de los materiales orgánicos	---	Deficiencias nutricionales o intoxicación
DEL SUELO		

pH	Neutro	Según la especie
Profundidad del suelo	---	Esferas de acción de los organismos
Humedad en el suelo	80% del aprovechamiento de humedad	Compensación agua:aire y esfuerzo para extraerla. Los excesos también afectan a las poblaciones
Clase textural		Afecta la capacidad de retención de nutrientes y humedad
Profundidad, pedregosidad, etc.		Facilita o inhibe su accesibilidad
ANTROPOGÉNICOS		
Extracción de residuos de cosecha de limpias y de podas	Materia seca nueva	Disminuye la disponibilidad de fuentes de alimento para los organismos
Frecuencia de suministro de materiales orgánicos	Constancia	Disminuye el estrés de los organismos por hambre
Remoción del suelo	Preparación del suelo	Modifica el hábitat de organismos del suelo
Uso de maquinaria	Preparación del suelo	Compacta al suelo, mata organismos y los expone a depredadores
Sistemas de cultivo	Mono o policultivos	Afecta la diversidad de especies aportadoras de desechos orgánicos
Uso de fertilizantes	Aplicados al suelo	Afecta la simbiosis o asociación de las plantas con los organismos en la rizósfera
Uso de estiércoles	Frescos o enfriados	Pueden desarrollar poblaciones de organismos descomponedores. Al agotarse el recurso, pueden invadir otras plantas.
Uso de abonos orgánicos	Composteados	Desarrolla poblaciones de microorganismos
Uso de aguas negras		Desarrolla poblaciones de microorganismos. Puede ser tóxico por su contenido de metales pesados y contaminante por sus biológicos
Cambio de uso del suelo	Cambios a cubierta vegetal	Modifica estructuras poblacionales de las comunidades biológicas del suelo

Y sólo si la especie potencial no se encuentra en la parcela, pero que sí se localiza en las áreas de vegetación menos intervenida, pueden considerarse la multiplicación mediante

técnicas de cría (Huerta, 2008), y la inoculación en las áreas de cultivo para fomentar su participación en el reciclamiento de nutrientes. Esto se lo logró en cultivos de te en la India (Lavelle *et al.*, 1998; Senapati *et al.*, 1999).

Aunque al principio es necesaria la intervención de un experto para realizar estudios de diagnóstico de las comunidades de organismos del suelo regionales y locales y para la identificación de especies, en vivo, para inocularlos en los sitios de interés, sin provocar efectos adversos ecológicos por invasión de especies exóticas, el seguimiento y cuidado de las comunidades biológicas puede ser canalizado a los productores mediante manuales prácticos de manejo.

Esto se ha demostrado en el trabajo conjunto con el productor () cuando se instalaron los primeros módulos de MIAF en los que se produjeron plantas de árboles de durazno, para reducir costos de establecimiento, que es uno de los obstáculos para una adopción amplia del sistema.

Si bien en estudios posteriores se ha encontrado que se requiere de una apropiación racional (Leff, 2004) tecnológica de parte del productor, con la reconocimiento de las bondades que la biota edáfica macro, meso y microorganismos juegan en el reciclamiento de nutrientes, a fin de aportar innovaciones en la MIAF (Ruiz, 2011) en el diseño, construcción y cuidado de estructuras poblacionales de comunidades biológicas, que mejoren la calidad del suelo y la sostenibilidad del cultivo. Estas aportaciones estarían supeditados a los factores que regulan sus poblaciones de cada lugar y el conocimiento de la tierra y sus cultivos que tiene el productor, integrando un sincretismo tecnológico pertinente, oportuno y propio de cada lugar.

CONCLUSIONES

La MIAF, por su condición de sistema agroforestal y por permitir la diversificación organizada de especies en cultivo, presenta la mayoría de los principios que la agroecología considera en su concepto.

El grado de naturalidad y respeto al ambiente de la MIAF, se encuentra según la forma de uso de los recursos y del nivel de intensificación que el productor realiza.

La MIAF, como agroecosistema, tiene un alto nivel potencial de reintegrar y mantener comunidades biológicas, propias del carácter biodiverso de México.

Si no se tiene una base de recursos naturales de buena calidad, cualquier programa de desarrollo social que contemple a la agricultura como fundamento, no tendrá éxito en la producción de agrícola.

Agradecimientos

A la Red de biodiversidad y Sistemática del Instituto de Ecología A. C.; al Centro de Agroecología del Instituto de Ciencias, Benemérita Universidad Autónoma de Puebla; al Colegio de Postgraduados por comprender la importancia de la biota edáfica para el desarrollo; y al CONACYT, como impulsor del postgrado y de la ciencia en México; y a Tomás E. Juárez Y., por sus apoyos en la representación mediante dibujos.

LITERATURA CITADA

- Acosta, M., Etchevers J.D., Monreal C., Quednow, K., Hidalgo C. 2001. Metodología para medir la captura de carbono en sistemas naturales y agrícolas de ladera. Simposio internacional de medición y monitores de la captura de carbono en ecosistemas forestales. Valdivia, Chile.
- Altieri, M. A. y Nicholls, C. I. 2000. *Agroecología, teoría y práctica para una agricultura sustentable*. Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente.
- Altieri M.A., Nicholls C.I. 2007. Conversión agroecológica de sistemas convencionales de producción: teoría, estrategias y evaluación. *Ecosistemas*. 2007/1. (URL: http://www.revistaecosistemas.net/articulo.asp?Id=457&Id_Categoria=1&tipo=portada)
- Conover WJ, Iman RL 1981. Rank transformations as a bridge between parametric and nonparametric statistics. *Am. Stat.* 35 (3): 124-129
- Cortés F., J. I., A. Turrent F., P. Díaz V., E. Hernández R., R. Mendoza R., E. Aceves R. 2005. *Manual para el establecimiento y manejo del sistema milpa intercalada con árboles frutales (MIAF) en laderas*. Colegio de Postgraduados, México.
- Cortés F., J. I., R. Mendoza R., E. Hernández R., E. Aceves R., A. Turrent F. y N. Estrella Ch. 2004. *El sistema agrícola "Milpa intercalada en árboles frutales (MIAF)" en terrenos planos*. Colegio de Postgraduados, Puebla, México.

- Cortés F, J.I., A. Turrent F., P Díaz V., P Claro C., E. Hernández R., E Aceves R., R Mendoza R. 2007. Milpa intercalada con árboles frutales (MIAF), una tecnología multiobjetivo para las pequeñas unidades de producción. En: Calva, J.L., (Coord.) *Desarrollo agropecuario, forestal y pesquero*. Agenda para el Desarrollo Vol. 9. UNAM-Porrúa, México. pp. 100-116.
- Cortés F., J. I., A. Turrent F., E. Hernández R., N. Francisco N., J. P. Torres Z., A. Zambada M., P. Díaz V. 2012. *Milpa intercalada con árboles frutales (MIAF)*. SAGARPA, 2012. <http://es.scribd.com/doc/101812248/03-Milpa-Intercalada-Con-Frutales>.
- Fragoso, C; G. G. Brown, J. C. Patrón, E. Blanchart, P. Lavelle, B. Pashanasi, B. Senapati and T. Kumar 1997. Agricultural intensification, soil biodiversity and agroecosystem function in the tropics: the role of earthworms. *Applied Soil Ecology* 1(6): 17-35.
- Gliessman, S. 1998. *Agroecology: Ecological Processes in Sustainable Agriculture*. Sleeping Bear/ Ann Arbor Press.
- Hernández Romero, Ernesto; Muratalla Lúa, Alfonso 2008. Rendimiento de fruto y número de ramas principales en árboles de durazno intercalados con milpa. *Terra Latinoamericana* 26 (3): 265-273.
- Huerta L., E. 2008. *Manual de reproducción de lombrices de tierra nativas. Epígeas, endógeas, nativas y exóticas*. El Colegio de la Frontera Sur, México.
- Huerta, E., C. Fragoso y P. Lavelle 2005. Efecto de la aplicación de hojarasca de mucuna sobre densidad y biomasa de lombrices de tierra. *Terra Latinoamericana* 23: 533-544.
- Juárez R., D., C. Fragoso G., A. Turrent F., J. Ocampo M., E. Sandoval C., I. Ocampo F., R. Ferrera C., E. Hernández R. 2008. Mejoramiento del suelo en el sistema milpa intercalada con árboles frutales (MIAF). *Leisa, Revista de Agroecología* 24-2 (Suelos vivos): 30-31
- Juárez-Ramón, D., C. Fragoso G., A. Aragón G., A. D. Hernández-Fuentes, M- Salgado M. 2011. Manejo Agroecológico de la Biodiversidad del Suelo. En: A. Aragón G., D. Jiménez G. y M. Huerta L. (Eds.). *Manejo Agroecológico de Sistemas* (Vol. II). II Simposio Internacional en Manejo Agroecológico de Sistemas. Benemérita Universidad Autónoma de Puebla. Puebla, México. pp. 29-44. ISBN: 978-607-487-395.

- Lavelle, P., I. Barois, E. Blanchart, G. Brown, L. Brussaard, T. Decaëns, C. Fragoso, J.J. Jiménez, K. Kajondo, M.A. Martínez, A. Moreno, B. Pashanasi, B. Senapati, C. Villenave, 1998. Las lombrices como recurso en los agroecosistemas tropicales. *Naturaleza y recursos* 1(34): 28-44.
- Leff, E. 2004. *Racionalidad ambiental. La reapropiación social de la naturaleza*. Siglo XXI editores. México. 509 pp. Isbn: 968-23-2560-9
- Núñez. M. A. 2005. *Bases científicas de la agricultura tropical sustentable*. In Motion Magazine. June 11. http://www.inmotionmagazine.com/global/man_base.html
- Ruíz Mendoza, Alma Delia 2011. *La milpa intercalada en árboles frutales; un análisis del proceso de escalamiento PMSL-PEDREL en cinco municipios de la Sierra Mixe del estado de Oaxaca*. Tesis (Maestra en Ciencias, especialista en Desarrollo Rural).- Colegio de Postgraduados México
- Senapati, B.K., Lavelle, P., Giri, S., Pashanasi, B., Alegre, J. Decaëns, T., Jiménez, J.J., Albrecht, A., Blanchart, E., Mahieux, M., Rousseaux, L., Thomas, R., Panigrahi, P.K. and Venkatachalan, M. 1999. In-soil technologies for tropical ecosystems. In: P. Lavelle, L. Brussaard and P.F. Hendrix (eds.) *Earthworm management in tropical agroecosystems*. CAB International, Wallingford. pp. 199-237.
- Torres Zambrano, Juan Pablo; Cortés Flores, José I.; Turrent Fernández, Antonio; Hernández Romero, Ernesto; Muratalla Lúa, Alfonso 2008. Rendimiento de fruto y número de ramas principales en árboles de durazno intercalados con milpa. *Terra Latinoamericana* 26 (3): 265-273.
- Turrent-Fernández, A. y J.I. Cortés-Flores 2011. La Milpa Intercalada en Árboles Frutales (MIAF): una tecnología multiobjetivo para pequeñas unidades de producción. En: Lira Sandoval,, R. H. y J. G. Medina-Torres (eds). *Agricultura sustentable y biofertilizantes*. México. pp. 32-39.
- Yu, G., J. Feng, Y. Che, X. Lin, L. Hu, S. Yang 2010. The identification and assessment of ecological risks for land consolidation based on the anticipation of ecosystem stabilization: A case study in Hubei Province, China. *Land Use Policy* 2(27): 293-303.
- Zar, J.H.. 2009. *Biostatistical analysis*. Prentice & Hall. USA.

CAPITULO VII.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES GENERALES

CONCLUSIONES

Caracterización biológica general del suelo del MIAF

1. La baja intensificación agrícola y las labores agrícolas manuales aplicadas en los MIAF de Oaxaca, mantienen mayor diversidad y abundancia de organismos que los de Puebla, por lo que son capaces de conservar la biodiversidad del suelo, posiblemente favorecidos por la baja tasa de extracción de materiales orgánicos, el escaso uso de agroquímicos y el nulo uso de maquinaria agrícola.

2. Las condiciones de deterioro nutrimental que muestran los suelos de los MIAF de Puebla pueden ser mejorados mediante incrementos en la incorporación de materiales orgánicos al suelo, las cuales pueden obtenerse de las podas de los árboles frutales y de las herbáceas mediante limpiezas del terreno. El volumen total de estos materiales orgánicos es de 7.25 Kg m⁻²: hasta el 67% pueden ser de ramas podadas de los árboles frutales y 3.75 Kg m⁻² de material herbáceo (con 15% de MS). El resto del terreno ocupado por cultivos anuales tiene su propia producción de MS constituida por herbáceas y residuos de cosecha, cuyo volumen no fue contemplada su estimación en este estudio.

Identificación de especies susceptibles a manejo

3. En los MIAF de Puebla y Oaxaca, sólo se encuentran especies de lombrices exóticas, ninguna nativa, lo que implica la posibilidad de que el sistema MIAF fue instalado en áreas de cultivo fuertemente antropogeneizados o intemperizados, características que la convierten en potenciales para rehabilitarlos en su capacidad para conservar la biodiversidad del suelo y para mantener su capacidad productiva.

4. En la región cultivada comprendida entre el Municipio de Puebla y las faldas del Volcán Iztaccihuatl, las especies de lombrices *Limbricus rubellus*, Hoffmeister, 1843 (epiendógea) y *Aporrectodea trapezoides* Dugès, 1828 (endógea), son potenciales para impactar en la

conservación de la capacidad productiva de los suelos cultivados, por cuanto *A. trapezoides* tiene cierta tolerancia a la sequía y *L. rubellus* puede adoptar no sólo su categoría epígea sino endógea al integrarse a mayor profundidad del suelo cuando la superficie disminuye sus contenidos de humedad.

Manipulación de la biota edáfica

5. Los bajos contenidos de MO del suelo en los MIAF de Puebla, indica que este sistema requiere de la incorporación de materiales orgánicos para estimular de poblaciones de lombrices de tierra, quienes por ser ingenieros del ecosistema, son capaces de potenciar los procesos de transformación trasladando compuestos orgánicos y microorganismos, además de su contribución en la descomposición de esos materiales.

6. El incremento de la biomasa anual de 76% de la lombriz de tierra endógea *Aporrectodea trapezoides* muestra su capacidad de adaptación al sistema y su viabilidad para impactar positivamente en los suelos del MIAF de Puebla, cuyos efectos puede ampliarse al espacio geográfico regional comprendido entre el Municipio de Huejotzingo y las faldas del Iztaccihuatl, donde la especie ya se encuentra.

Potencialidades de sostenibilidad productiva en los MIAF

7. La producción de abonos verdes *in situ*, mediante el cultivo de chícharo (*Pisum sativum* L.) en el suelo destinado a los surcos de árboles frutales en los MIAF, solamente alcanzó un rendimiento de 2.94 Kg m⁻², acumulados en tres ciclos de cultivo durante un año, la cual equivale al 65.3% de la cantidad recomendada por Huerta *et al.* (2005), de 4.5 Kg m⁻², para impactar en los efectos de disponibilidad de nutrientes para el desarrollo vegetal. Lo que significa que en las condiciones del MIAF en Puebla, la producción autogestiva de materiales orgánicos para el reciclamiento de nutrientes puede no ser suficiente.

8. Los factores de regulación que más influyen en las poblaciones de lombrices de tierra en el sistema MIAF, son: la disminución de la humedad por efectos de sequedad del suelo y

falta de protección, como el sombreado del suelo en los bosques; la escasa cantidad de hojarasca, por efectos de limpieza de las áreas destinadas a los árboles frutales para que el agua de riego corra mejor; la baja calidad de la hojarasca, por cuanto está constituido por herbáceas y restos de poda de los árboles; y la inconstancia de sus aportaciones, por no existir una conciencia de incorporación de restos de materiales orgánicos para el reciclamiento de nutrientes.

9. Los materiales orgánicos verdes aplicados estimularon directamente a las poblaciones de la biota edáfica macro; mientras el estiércol influyó en las poblaciones de microorganismos y en la liberación de nutrientes en el suelo. Se concluye que los efectos de aplicación de abonos verdes y estiércoles, con el manejo de la biodiversidad del suelo son potenciales para convertir a los suelos agrícolas pobres en sostenibles, cuyos métodos deben estar acordes con las actividades agrícolas que los productores desarrollan en sus terrenos.

10. Si el productor, dueño del terreno con el sistema MIAF, sobre el experimento establecido en campo alcanzó a distinguir un mejor desarrollo y nutrición de las hojas con los tratamientos con estiércol, confirma que el estiércol influye directamente en la disponibilidad de nutrientes en el suelo; mientras que la hojarasca verde surte efectos en la bioestimulación de los organismos descomponedores, con la liberación de nutrientes a mayor plazo. Por lo tanto hay un potencial para la recuperación de suelos empobrecidos, los cuales al ser mejorados pueden ser una base importante como fuente de recursos naturales y uno de los elementos para llevar a éxito a programas de desarrollo agrícola.

RECOMENDACIONES

1. Para complementar los efectos de la lombriz *Aporrectodea trapezoides* en el suelo de los MIAF, en Puebla, conviene realizar ensayos de campo sobre la protección de la humedad del suelo a fin de que la especie *Lumbricus rubellus*, por su naturaleza epi-endogea, pueda vivir eficientemente no sólo en las áreas boscosas, sino también en las áreas de cultivo.

2. La necesidad de alargar la vida de las hojas de durazno durante el verano-otoño, para no acelerar su periodo de acumulación de horas-frío y las heladas tempranas alcancen a dañar a la floración y fructificación en febrero-marzo, conviene proteger la humedad residual del suelo de octubre-noviembre para incrementar el tiempo de actividad de las lombrices de tierra, similar al bosque; de esa manera las lombrices epigeas también podrían aportar mayores efectos en la conservación de la fertilidad del sistema MIAF.

3. Con el fin de establecer o recuperar las poblaciones de lombrices de tierra en las áreas de cultivo, de aquellas especies que se encuentran en las áreas menos perturbadas de la región (bosques) y que son potenciadores de efectos positivos en el suelo, es necesario realizar ensayos de reproducción de esas especies para posteriormente inocularlos en los campos de cultivo, junto con la manipulación de factores de regulación de poblaciones (humedad y cantidad y calidad de la hojarasca).

4. Cuidar los momentos de aplicación de las labores agrícolas, especialmente cuando se utiliza maquinaria agrícola, debido a que cualquier remoción del suelo puede afectar considerablemente a las poblaciones que se acercan a la superficie del suelo, especialmente a las lombrices epígeas, quienes son motivados por los incrementos de la humedad al inicio de la temporada de lluvias o promovidos por las aplicaciones de riego por inundación.

5. Si bien la bioestimulación mediante aplicaciones orgánicas y la bioaumentación de organismos potenciadores de efectos positivos en el suelo del sistema MIAF contribuye en el sostenimiento de la capacidad productiva del suelo, esta base puede contribuir en el éxito de programas de desarrollo agrícola, por cuanto puede garantizar un nivel de rendimientos, tomando a la actividad biológica como base de la fertilidad del suelo.

6. En la implementación de programas estratégicos de desarrollo socio-económico, que se fundamenten en la producción agrícola, deben observar la buena calidad de los suelos involucrados, que sean activos en sus procesos biológicos y que sean eficientes en el reciclamiento de nutrientes; de lo contrario difícilmente podrán superar niveles de

rendimientos que sustenten el éxito del programa, y si lo hacen será bajo costos mayores mediante la inclusión de insumos externos, con una consecuente insostenibilidad.