



COLEGIO DE POSTGRADUADOS

INSTITUCIÓN DE ENSEÑANZA E INVESTIGACIÓN EN CIENCIAS
AGRÍCOLAS

CAMPUS MONTECILLO

POSTGRADO DE EDAFOLOGÍA

EDAFOFAUNA COMO INDICADOR DE CALIDAD EN UN SUELO CUMULIC
PHAOZEM SOMETIDO A DIFERENTES SISTEMAS DE MANEJOS EN UN
EXPERIMENTO DE LARGA DURACIÓN

ENEYDA ANDREA CHOCOBAR GUERRA

T E S I S

PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL
PARA OBTENER EL GRADO DE

MAESTRA EN CIENCIAS

MONTECILLO, TEXCOCO, EDO. DE MÉXICO

2010

La presente tesis titulada: **EDAFOFAUNA COMO INDICADOR DE CALIDAD EN UN SUELO CUMULIC PHAOZEM SOMETIDO A DIFERENTES SISTEMAS DE MANEJOS EN UN EXPERIMENTO DE LARGA DURACIÓN**; realizada por la alumna: Eneyda Andrea Chocobar Guerra, bajo la dirección del Consejo Particular indicado, ha sido aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

**MAESTRA EN CIENCIAS
PROGRAMA DE EDAFOLOGÍA**

CONSEJO PARTICULAR

Consejero: _____

Dr. Jorge Etchevers Barra

Asesor: _____

Dr. Bram Govaerts

Asesor: _____

Dr. Kenneth D. Sayre

Montecillo, Texcoco, Estado de México, Mayo del 2010.

AGRADECIMIENTOS

AL Colegio de Postgraduados por darme la oportunidad de estudiar como Mexicana.

Al Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo, CIMMYT, por acogerme por un largo período.

A todo mi consejo por su paciencia ante mis errores en especial: al Dr. Jorge Etchevers por llevarme literalmente de la mano en el camino de la ciencia. Al Dr. Bram Govaerts por confiarme responsabilidades y mostrarme los lineamientos para el trabajo en equipo y pasión por el trabajo y al Dr. Ken Sayre por brindarme su conocimiento, sin esperar nada a cambio, por darme apoyo y solidaridad, sin que lo supiera en un momento complicado de mi estancia.

A los compañeros de trabajo de CIMMYT, Margarita Pérez, Nele Verhults, Alberto González, Adrián Martínez, José García, por hacer de mi investigación de campo una carga menos pesada, con su apoyo cordial, alegre y responsable.

A los compañeros del Laboratorio de Fertilidad de Suelos en especial a Juliana Padilla por sus conocimientos y amistad. A Claudia Hidalgo por enseñarme hacer las cosas bien para no volver a repetirlas y Lulú por su apoyo siempre respetuoso.

A mis padres (Clara y Héctor) por su amor y cobijo, por jamás negarse a darme educación, entregándome la mejor herramienta para enfrentar la vida.

A Claudia, Alejandro, Paulito y Pía, por estar ahí... siempre serán un aliciente de unidad y cariño.

A mis queridas amigas, que siempre están ahí para acogerme, y dar verdadero significado a la palabra hermandad, fraternidad, honestidad y cariño, en especial a Mariela Fuentes, Sybil Herrera, Rosa Emilia Ramírez y Blanca Prado.

A mis cuates de siempre, donde encuentro un respiro para continuar Margarita H., Eloise P., Monica A., Kate D, Ricardo R, Fabián K., Liliana S, José Luis B, Víctor H, Leo P., Magaly O., Jhonny N., Fernando P., Bernabe, Francisco R., Ibar T, Noemi V., Royer A., Nerida L, Juan A., Carolina S, Carlos A, German M.

En especial a todos los mexicanos que siempre me han brindado oportunidades que no hubiera tenido en mi país y de mostrarme cosas maravillosas de esta grandiosa tierra. Eternamente agradecida de la familia Hernández Barbosa (Rosi, Mario, Beto, Carlos, Tito y Alba).

CONTENIDO

ÍNDICE DE FIGURAS	I
ÍNDICE DE CUADROS	II
RESUMEN	IV
ABSTRACT	V
I INTRODUCCIÓN	VI
II REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA	
2.1 Características generales de la macro y mesofauna del suelo	1
2.2 El hábitat de la edafofauna y el impacto de los seres humanos	3
2.3 Sistema agrícola convencional	4
2.4 Concepto de suelo sustentable	5
2.4.1 Calidad de suelo	6
2.4.2 Indicadores de calidad de suelos agrícolas	7
2.5 Características biológicas del suelo	8
2.6 Macro y mesofauna como indicador de calidad del suelo	9
2.6.1 Características y funciones de las lombrices del suelo	10
2.6.2 Dinámica de las lombrices en diferentes sistema de manejo	16
2.7 Mediciones comunes para evaluar presencia de lombrices	18
2.7.1 Densidad	18
2.7.2 Biomasa	19
2.7.3 Características de las mediciones biológicas	19
III OBJETIVOS	
3.1 Objetivo general	20
3.2 Objetivos particulares	20
IV HIPÓTESIS	
4.1 Hipótesis general	20
4.2 Hipótesis particulares	21
V MATERIALES Y MÉTODOS	22
5.1 Mediciones descriptiva y cuantitativa de la edafofauna	25
5.2 Mediciones adicionales	26
5.3 Análisis de datos	28

VI RESULTADOS Y DISCUSIÓN	29
6.1 Descripción de la diversidad de los organismos del suelo (macro y mesofauna)	29
6.2 Densidad y diversidad de la macrofauna y mesofauna de suelo en diferentes sistemas de manejo	31
6.2.1 Cultivo de trigo	31
6.2.2 Cultivo de maíz	33
6.2.3 Rotación de cultivo trigo, maíz y frijol	35
6.3 Densidad, biomasa y diversidad de lombrices en diferentes sistemas de manejo	
6.3.1 Cultivo de trigo	36
6.3.2 Cultivo de maíz	41
6.3.3 Rotación de trigo, maíz y frijol	45
VII CONCLUSIONES	48
VIII BIBLIOGRAFÍA	49
IX ANEXOS	51

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1	Modelo conceptual para macroinvertebrados en respuesta al manejo en un agroecosistema.	15
Figura 2	Ubicación de la zona experimental del CIMMYT, El Batán, Texcoco.	22
Figura 3	Representación del procedimiento de la toma de muestra. Monolito de 25 x 25 cm, a tres profundidades 0-10, 10-20 y 20-30 cm.	26
Figura 4	Densidad de macro- y mesofauna en trigo, en parcelas de larga duración a 0-30 cm, en tres fechas de muestreo (pre-siembra; desarrollo de cultivo; descanso), en un cultivo de trigo. Lz= labranza cero; Lc= Labranza convencional; R=Rotación; M=Monocultivo; +r= Con residuo; -r= Sin residuo.	32
Figura 5	Densidad de macro- y mesofauna en maíz en parcelas de larga duración a 0-30 cm, en tres fechas de muestreo (pre-siembra; desarrollo de cultivo; descanso), Lz= labranza cero; Lc= Labranza convencional; R=Rotación; M=Monocultivo; +r= Con residuo; -r= Sin residuo.	34
Figura 6	Densidad de macro- y mesofauna en suelo donde se practicó labranza cero (Lz), se dejó el residuo (+r). Variantes en el tipo de rotación Rt (trigo), Rm (maíz), Rf (fríjol), a una profundidad de 0 a 30 cm, en tres fechas de muestreo (pre-siembra; desarrollo de cultivo; descanso).	36
Figura 7	Densidad de lombrices en un cultivo de trigo en parcelas de larga duración, a una profundidad de 0 a 30 cm.	37
Figura 8	Biomasa de lombrices en un cultivo de trigo en parcelas de larga duración, a una profundidad de 0 a 30 cm.	40
Figura 9	Densidad de lombrices en un cultivo de maíz en parcelas de larga duración, a una profundidad de 0 a 30 cm.	42
Figura 10	Biomasa de lombrices en un cultivo de maíz en parcelas de larga duración, a una profundidad de 0 a 30 cm.	44

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1.	Compendio de indicadores para evaluar la calidad de un suelo agrícola, basado en características física, químicas y biológicas.	8
Cuadro 2	Ciclo biológico de la lombriz, (hemisferio norte) especie <i>Amyntas sieloloci</i> . Término del período de hibernación e inicio de eclosión de cocones.	12
Cuadro 3	Tratamientos estáticos que varían de acuerdo al tipo de labranza, manejo de residuos y rotación de cultivo.	23
Cuadro 4	Tratamientos dinámicos que varían de acuerdo al tipo de labranza, manejo de residuos y rotación de cultivo.	23
Cuadro 5	Lista de organismos de suelo, divididos por unidades taxonómicas. Encontrados a una profundidad de 0-30 cm, en un experimento de larga duración.	30
Cuadro 6	Densidad (número de individuos m ⁻²) de macro- y mesofauna de suelo, encontrados en ocho diferentes manejos agronómicos, en un cultivo de trigo, a una profundidad de 0 a 30 cm, en tres periodos de medición.	31
Cuadro 7	Densidad (número de individuos m ⁻²) de macro- y mesofauna de suelo, encontrados en ocho diferentes manejos agronómicos, en un cultivo de trigo, maíz y fríjol, a una profundidad de 0-30 cm, en tres periodos de medición.	33
Cuadro 8	Densidad (número de individuos m ⁻²) de macro- y meso fauna de suelo, encontrados en ocho diferentes manejos agronómicos, en un cultivo de maíz, a 0-30 cm de profundidad, en tres periodos de medición.	35

Cuadro 9	Biomasa de lombrices en maíz bajo diferentes sistemas de manejo comparando el manejo de residuo, tipo de labranza y el uso de la rotación de cultivo, en parcelas de larga duración en el altiplano central de México.	44
Cuadro 10	Densidad de lombrices en un sistema con uso de labranza cero, retención de residuos y rotación de tres diferentes cultivos, en parcelas de larga duración en el altiplano central de México.	46
Cuadro 11	Biomasa de lombrices en un sistema con el uso de labranza cero, retención de residuos y rotación de tres diferentes cultivos en parcelas de larga duración en el Altiplano central de México.	47

EDAFOFAUNA COMO INDICADOR DE CALIDAD EN UN SUELO CUMULIC PHAOZEM SOMETIDO A DIFERENTES SISTEMAS DE MANEJOS EN UN EXPERIMENTO DE LARGA DURACIÓN

Eneyda Andrea Chocobar Guerra. Colegio de Postgraduados, 2010.

Los organismos del suelo contribuyen en la formación y los cambios de la estructura física del suelo e influyen en la dinámica de los nutrientes por sus efectos sobre la inmovilización y humificación de la materia orgánica. Por lo anterior, es importante estudiar la edafofauna en sistemas de larga duración (15 años) porque repercute de manera directa en el rendimiento de los cultivos y en el mejoramiento del suelo. Estas cualidades además pueden ser empleadas para crear indicadores biológicos de calidad del suelo, con el objeto de potenciar manejos agrícolas con tendencias sustentables. La investigación se enfocó en clasificar (grupo taxonómico), cuantificar (N° individuos m^{-2}) medir biomasa (gramos m^{-2}) y evaluar la variación poblacional de la edafofauna con diferentes manejos, basados en el uso de la labranza cero (Lz), labranza convencional (Lc), con y sin manejo de residuos (+r) o (-r) y uso de rotación y monocultivo, medidos en tres períodos distintos, tanto en trigo como en maíz.

Mediante el uso de una metodología estándar (método TSBF), se obtuvo que tanto en el cultivo de trigo como en el de maíz, las lombrices de tierra resultaron tener, en general mayor densidad y biomasa en los manejos donde se aplica Lz, con rotación de cultivo (R) y retención de residuos (+r). En ambos cultivos los manejos con menor número de individuos y biomasa correspondió a aquellos donde no se deja el residuo (-r), independiente del manejo (Lc o Lz), con o sin aplicación de rotación. Con respecto a la diversidad taxonómica, se encontraron 29 familias distribuidas en diez clases de invertebrados. En cuanto a las formas de manejo, el tratamiento LzR+r con trigo, tuvo el mayor número de individuos, mientras la Lz, con monocultivo (M) y +r, incrementó la población en el caso del maíz; por el contrario el manejo que disminuyó la comunidad faunística fue la Lc sin residuos en la superficie del suelo.

Palabras clave: Indicadores biológicos, labranza, rotación, residuos.

Adecuar a Iso cambios en español Edafofauna as indicator of quality in a cumulic pahozem soil treated to different management systems in a permanent trial.

Eneyda Andrea Chocobar Guerra. Colegio de Postgraduados, 2010.

Soil organisms contribute to the formation and changes in the physical structure of the soil and influence the dynamics of nutrients due to their effect on the humidification of the organic matter. It is therefore important to study the edafofauna in long-term management systems (15 year) because of the direct association between crop yields and soil improvement. They can also be used to create biological indicators of soil quality, with the objective of potential a sustainable agricultural management. The aim of this study was to classify (in taxonomical groups), quantify (number individuals per m²), measure biomass (grams per m²) and evaluate the population variability of the edafofauna in different management systems, zero tillage (Lz), conventional tillage (Lc), with and without residues (+r and -r), and use of crop rotation(R) or monoculture (M), measured on three different moments during a 1 year production period, in wheat and maize production systems. Using a standard methodology (TSBF) the results indicated that the worms in the soil in a wheat production system increased in biomass in LzR+r. whereas in the maize production system the biomass was similar in both Lz and Lc, with R+r. In both crop systems the number of individuals and biomass was reduced in the -r treatment, independently of the use of Lc or Lz, with or without crop rotation. As of taxonomical diversity, 29 families were identified distributed in ten classes of organism of the soil. The LzR-r treatment in the wheat production system resulted with the highest number of individuals. In the maize production system, LzM+r increased the population size, whereas the Lc-r treatment reduced the size of the fauna community.

Keywords: biological indicator, tillage, crop rotation, residues.

I.- INTRODUCCIÓN

El efecto que tiene el manejo del suelos agrícolas en la biomasa y número de especies clasificadas como edafofauna no ha sido estudiado en profundidad en México, con excepción de algunas especies consideradas como patógenas. Sin embargo, se sabe que muchas de ellas tienen interacciones positivas con aspectos de interés para la sustentabilidad de los sistemas agrícolas.

La literatura menciona que la expansión demográfica, el cambio climático a nivel global, la pérdida de diversidad de especies (animal y vegetal) que viven en ambientes específicos, y la degradación física y de la fertilidad del suelo, constituye los problemas ambientales y sociales más importante que padecemos como resultado del aumento y mantención de manejos antrópicos.

La agricultura pertenece a una de esas actividades antropocéntricas que perjudican los ambientes naturales en el proceso de producir fibra y alimento, sin respetar los recursos naturales básicos (agua, aire, suelo). Para revertir dichos manejos surge el concepto de sustentabilidad, que tiene como objetivo principal mantener o aumentar los rendimientos actuales, obtener beneficios económicos y hacer un uso racional de los recursos que la conforman. La agricultura sustentable tiene como fin satisfacer nuestras necesidades actuales así como la de las generaciones futuras.

A partir de esta nueva forma de conceptualizar los recursos naturales, se redefinió al suelo como un recurso natural, no renovable, dinámico y vivo, que no sólo proporciona sustento o fibra, si no que actúa como un protector de la calidad ambiental y de todas las criaturas vivientes, porque en él se desarrollan importantes ciclos bioquímicos. Sin embargo, para poder diferenciar la funcionalidad de distintos tipos de suelo es que se recurrió al parámetro de calidad de suelo, que se define como la capacidad inherente que tiene un tipo específico de suelo, para funcionar adecuadamente dentro de un ecosistema natural o manipulado, para proporcionar ciertos servicios a las plantas, los animales y el hombre de acuerdo a su uso específico o multifuncional, sin que ocurra degradación ni daños a los recursos naturales base.

El suelo es un componente susceptible dentro del sistema de producción agrícola, porque cambia en respuesta al uso y manejo. Su evaluación requiere de una metodología que valide la capacidad de funcionamiento del mismo. Dicho lo anterior podemos relacionar los parámetros de calidad con una lista de las características físicas, químicas y biológicas del suelo que varían en tiempo, intensidad y espacio. Estos cambios de las características básicas, tendrán una evaluación y un valor específico, con el objeto de comparar los efectos del manejo sobre la función de éste, para mantener o mejorar el recurso suelo.

La edafofauna del suelo es un recurso biológico que contribuye a la producción de plantas y, otorga y mantiene innumerables servicios al ecosistema, pero que ha sido descuidado en la investigación agrícola. Estos organismos participan activamente en el proceso de descomposición y ciclo de los nutrientes, en la dinámica de la materia orgánica y en la formación de la estructura del suelo.

Para que la edafofauna (macro y mesofauna del suelo) sea considerada como un indicador biológico de la calidad del suelo es necesario que éstos estén fuertemente ligados con otros indicadores de calidad, tanto físicos como químicos, que se relacione con la productividad de la plantas (sin dañar el medio ambiente), que sean de amplia distribución; fácilmente reconocida y medida; que pueda ser ligada más directamente al concepto de calidad de suelo; que dé una respuesta numérica en el momento oportuno (mediciones *a priori* de abundancia y biomasa) y contar con valores de referencia.

Uno de los grupos que mayormente se prestan a cumplir este rol, son las lombrices. Primero, por ser consideradas como los organismos más importante y visible, a su vez de cumplir con la función de promover procesos que están relacionados con la calidad del suelo, como son descomposición orgánica, beneficios a la estructura del suelo, ciclo de los nutrientes y control de enfermedades. Y en segunda instancia, porque son medibles y cuantificables; son de amplia distribución; existen valores de referencia en diferentes localidades, los cambios de abundancia ocurren a una escala de tiempo

adecuada (1-3 años), es decir que son afectados por factores como el clima, alimentación, humedad del suelo y prácticas de manejo.

El objetivo de esta investigación fue determinar si las distintas formas de manejos agrícola, basadas en el uso de la labranza (cero y convencional); monocultivo (trigo y maíz) y rotación de éstos; y el manejo de residuos (con y sin), en un experimento de larga duración (15 años), que se ubica en área experiemntal “El Batán” del Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT), municipio de Texcoco, Estado de México, provocan un efecto en la edafofauna. Para ello se medirá cualitativamente la abundancia de diversas clases de organismos y cuantitativamente la densidad de población y biomasa de lombrices, para establecer rangos potenciales que pudiesen indicar calidad del suelo.

II- REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

2.1 Características generales de la macro y mesofauna del suelo

La edafofauna del suelo es un recurso biológico que contribuye a la producción de plantas y otorga y mantiene innumerables servicios al ecosistema, pero que ha sido descuidado en la investigación agrícola (Swift, 1998). Estos organismos participan activamente en el proceso de descomposición y ciclo de los nutrientes, en la dinámica de la materia orgánica y en la formación de la estructura del suelo (Linden *et al.*, 1994).

La fauna del suelo involucra organismos que de acuerdo a su tamaño se dividen en tres grupos: La macrofauna ($>2 \mu\text{m}$), catalogados como los más conspicuos animales del suelo. Este grupo lo integran organismos como las arañas, hormigas, termitas, anfípodos, isópodos, adultos y larvas de insectos, babosas y caracoles, que cumplen la función de cortar y redistribuir los residuos orgánicos en el suelo, aumentando el área y la disponibilidad del sustrato orgánico para la actividad microbiana. En su mayoría son depredadores que se alimentan de nematodos, enquitreidos (lumbricidos), insectos y ácaros. Asimismo son saprófagos (se alimentan de materia muerta), micófagos (se alimentan de hongos) y los coprófagos (se alimentan de deyecciones fecales) (Swift *et al.*, 2004; Coyne, 2000).

Otro grupo importante de la macrofauna lo constituye los miriápodos (Myriapodos) (ejemplo: ciempiés y milpiés), que cumplen un importante papel como depredadores y fraccionadores del material vegetal. Son sensibles a los cambios de humedad y temperatura, sus poblaciones varían de 10 a 25 individuos m^{-2} , se desplazan en el suelo incorporando materia orgánica y en algunos casos producen celulosa o mucoproteína que contribuyen a formar agregados de tierra con características de hidroestables (Karlen, 1998).

El grupo más representativo dentro de la macrofauna lo constituyen las lombrices que son aproximadamente 8000 especies (Lee, 1985). En suelos agrícolas, pueden existir de 100 ó 200 especies, o incluso menos (Fragoso, 2001). Desempeñan un importante

papel en la descomposición del residuo vegetal, fragmentan las hojas en descomposición y la mezclan con la tierra, segregan una mucosidad en el interior de los canales, mejorando la estructura del suelo. La materia mineral que pasa a través del intestino y que es depositada en el suelo, en cierta medida es hidroestable y proporciona al mismo tiempo un ambiente adecuado para los microorganismos. Las lombrices contienen celulasa y quitinasa en su intestino, enzimas que facilitan la degradación de celulosa y los polímeros de la quitina, las cuales continúan trabajando incluso después de haber sido excretados. Las lombrices de tierra sólo actúan en presencia de agua, medio que les permite segregan una mucosidad que facilita su movimiento en la tierra, necesaria para desplazarse, cavar y respirar. Existen dos grupos fundamentales de lombrices de tierra: aquellas que viven en horizontes orgánicos superficiales e ingieren principalmente material vegetal en descomposición y aquellos que comen en suelos minerales. Gran parte de las lombrices se ubican a unos cuantos centímetros del suelo, pero en su mayoría no emerge a la superficie, no obstante algunas especies se alimentan en la superficie del suelo durante la noche (Lee, 1985).

El segundo grupo de acuerdo al tamaño, se denomina mesofauna (100 a 200 μm), lo conforman los ácaros, colémbolos, protura, diplura, simfila, pequeños insectos, arañas y enquitreidos (Swift *et al.*, 2004). Su actividad es fragmentar e ingerir directamente el residuo de las plantas (Linden *et al.*, 1994).

La microfauna, es el tercer grupo que forma la edafofauna del suelo, que son organismos $<100 \mu\text{m}$, incluye protozoarios, bacterias, hongos y rotíferos, su pequeño tamaño le permite actuar directamente en la estructura del suelo. La acción de este grupo convierte a la hojarasca atacada por la macrofauna y mesofauna, en un componente integral del suelo (Linden *et al.* 1994). De este grupo los nematodos son unos de los organismos más abundantes (después de las bacterias), se ha estimado que puede haber más de un millón (10^6) de nematodos por metro cuadrado de suelo. Se caracterizan por carecer de anillos en su cuerpo (ahilados). Se hallan en casi todos los suelos; no participan directamente en la descomposición del residuo vegetal, ellos

se distinguen por ser saprófagos, es decir se alimentan de la materia orgánica, aunque algunas especies son depredadores (alimentándose de organismos parecidos) y parásitos, atacando raíces de las plantas superiores para pasar su ciclo evolutivo, enquistados en sus tejidos (Edwards, 1997).

Como ya se ha mencionado la macro y la mesofauna cumplen funciones esenciales de desintegrar y ablandar la materia orgánica, aumentando su superficie y al mismo tiempo incrementa el nivel de descomposición, aumentando el ataque microbiano. Es evidente que éste, es un proceso de reciprocidad entre los tres grupos, que permite la permanencia y mantención de los niveles de interacción, es decir, si se elimina de manera directa o indirecta parte la macro, meso y micro fauna del suelo, se reduce significativamente, los proceso de descomposición, ciclo de los nutrientes, la dinámica de la materia orgánica y en la formación de la estructura del suelo (Linden *et al.*, 1994; Coyne, 2000). Además de reducir el conocimiento de posibles prácticas agrícolas sustentables (Swift, 1998).

2.2 El hábitat de la edafofauna y el impacto de los seres humanos.

Los problemas ambientales y sociales que padecemos actualmente son el resultado del aumento y mantención de manejos antrópicos. En la actualidad somos cerca de 6.8 mil millones de personas y anualmente se suman 56 millones más. En México bordeamos los 110 millones. Según el Fondo de Población de las Naciones Unidas para el 2050 alcanzaremos a nivel mundial una población estimada en 9.1 mil millones de individuos, lo que implica mayor demanda de recursos que somete a presión a un ambiente agotable (Zlontnik, 2009).

Uno de los problemas que en mayor grado amenazan la sustentabilidad de los sistemas agrícolas es el cambio climático. Fenómeno que se caracteriza por un incremento del promedio mundial de la temperatura, sea de la superficie terrestre, del aire o del océano, que conlleva a situaciones como el deshielo de los glaciales y casquetes polares, crecida del nivel del mar, fluctuaciones erráticas de las precipitaciones y actividad ciclónica tropical anormal. Las causas de este desequilibrio,

se deben en gran parte a las variaciones de las concentraciones de gases efecto invernadero (dióxido de carbono, metano, óxido nitroso y halocarbonos (IPCC, 2007).

La alteración de los ecosistemas por los seres humanos, unida al cambio climático, está provocando una disminución de la biodiversidad de especies (vegetal y animal), que es otro indicador de la degradación ambiental, así como la alteración de los ciclos de producción silvoagropecuarias. Se estima que la diversidad de plantas y animales a nivel mundial, es de 2 a 10 millones de organismos (Raven, 1992). La World Wide Fund for Nature (WWF) (2005) estima que en el planeta está perdiendo cerca de 17.500 especies por año, 100 veces más rápido que lo que ocurriría de manera natural. Lo que limitaría el conocimiento y desarrollo de especies vinculadas a un valor nutricional, económico, científico recreativo, estético, intrínseco y paisajístico (OCDE, 2001).

El suelo es un recurso ambiental altamente modificado mediante procesos como la erosión, compactación, acidificación, salinización, escasez de agua, disminución de la materia orgánica, agotamiento de la fertilidad, pérdida de biodiversidad, interrupción de los ciclos biológicos y contaminación (Lal y Stewart, 1990). En los últimos 25 años, se han degradado cerca de 35 millones de km² de suelo a nivel mundial, de este total una quinta parte corresponden a tierras agrícolas (Bai *et al.*, 2008), situación que influye directamente en los ingresos, productividad, consumo y disponibilidad de alimentos (Sherr, 1999).

2.3 Sistema agrícola convencional

La agricultura convencional ha sido un factor que ha participado en el proceso de degradación de los ambientes naturales, que se intensificó a partir de la segunda Guerra Mundial y hasta nuestros días, utilizando paquetes tecnológicos que produjeron más alimentos y fibra (Doran y Parkin, 1994) y que permitió cubrir las necesidades de una población creciente, pero provocó efectos colaterales, como una severa degradación de la capacidad productiva del recurso suelo, alteración de los ciclos hidrológicos, disminución del contenido de materia orgánica, contaminación por

productos químicos, incapacidad de tenencia e infiltración del agua, incremento de la compactación y el desarrollo de suelos salinos-sódicos (Doran y Parkin, 1994).

En los últimos años, con la intención de amortiguar y disminuir dichos problemas se han propuesto diferentes tipos de manejos agronómicos, denominados sustentables, que se basan en la unidad de tres principios; aumentar o mantener la productividad de los cultivos, ser económicamente viable, y promover, mantener y aumentar la calidad de los recursos aire, suelo, agua, bióticos vegetal y animal, con el objeto de cubrir los requerimientos de las generaciones presentes y futuras (Doran y Parkin, 1994; Karlen *et al.*, 1998; Baustista *et al.*, 2004).

2.4 Concepto de suelo sustentable

A partir del enfoque de la agricultura sustentable, basado en la premisa de percibir y manejar los elementos naturales sin poner en peligro la subsistencia humana, el concepto de suelo toma una nueva definición (Greig-Smith, 1992), concibiéndose como un recurso natural no renovable, un cuerpo natural dinámico y vivo que juega un rol muy significativo en la biosfera terrestre, que no sólo proporciona sustento o fibra, si no que actúa como un protector local, regional y mundial de la calidad ambiental y de toda criatura viviente (Doran y Parkin, 1994; Karlen *et al.*, 1998). Su función en el ambiente es el resultado de la interacción y balance de los componentes físicos (porosidad, capacidad de permanencia del agua, estructura, etc.), químicos (materia orgánica, agua, gases) y biológicos (lombrices, insectos, bacterias, hongos, algas y nematodos). En él, ocurren total o parcialmente los ciclos esenciales del agua, C, N, P, S; reciclaje de materia orgánica o la degradación de contaminantes químicos a través de procesos como la descomposición, inmovilización y mineralización microbiana, hidrólisis química y reacciones de absorción (Doran y Parkin, 1994;).

2.4.1 Calidad de suelo

El suelo es un recurso natural no renovable, que tiene un uso no sólo agrícola, sino industrial, urbano, almacenamiento de agua, reservas ecológicas o los recreacionales (Karlen *et al.*, 1998), lo que dificulta la cuantificación de su calidad, porque cada uso requiere características particulares en cuanto a procesos biogeoquímicos, dependencia a factores externos como uso, prácticas de manejo, ecosistema, interacciones ambientales, prioridades políticas y socioeconómicas, entre otras (Doran y Parkin, 1994; Astier *et al.*, 2002).

Para agrupar todas estas particularidades se validó en los años 90s la definición de calidad de suelo, considerando su vida y dinámica natural, basada en la función, integración y balance de tres grandes componentes: (1) productividad sustentable, replantea los objetivos y las políticas públicas enfocadas a la restauración de tierras o agroecosistema, con el fin de evitar las pérdidas de sus propiedades físicas, químicas y biológicas, (2) calidad ambiental, entendida como la capacidad de un suelo para regular, filtrar y distribuir el flujo del agua en el ambiente, servir como soporte estructural, amortiguador de los cambios en los ciclos de los nutrientes, resistencia a la degradación, atenuador de los contaminantes ambientales, patógenos u otro posible elemento que dañe el ecosistema o los servicios que ofrece (reservorio de carbono, mantenimiento de la biodiversidad, recarga de acuífero, etc.); y, (3) salud de plantas y animales describe la capacidad de un suelo para producir alimentos sanos, diversos y nutritivos para los seres humanos y otros organismos (Karlen *et al.*, 1998; Astier *et al.*, 2006).

Así, la calidad del suelo puede ser conceptualizada como la habilidad o capacidad inherente que tiene un tipo de suelo (series de suelos), para funcionar adecuadamente dentro de un ecosistema natural o manipulado, proporcionando ciertos servicios a las plantas, los animales y el hombre, de acuerdo al uso específico o multifuncional, sin que ocurra degradación ni daños de los recursos naturales (Larson y Pierce, 1994; Karlen *et al.*, 1998; Astier *et al.*, 2006).

2.4.2 Indicadores de calidad de suelos agrícolas

La calidad de un suelo es un componente crítico, porque cambia en respuesta al tipo de suelo (características naturales o adquiridas), y al uso y manejo (Larson y Pierce, 1994). Su evaluación requiere de una metodología que valide la capacidad de funcionamiento del mismo. Por ejemplo el método MESMIS (su siglas en español que significa, Marco para la Evaluación de Sistemas de Manejo) que propone una comprensión de literatura, mediciones de los recurso que conforman un agroecosistema (que en este caso corresponde al recurso suelo), mediciones en campo de agricultores, para luego construir matrices con parámetros técnicos particulares para cada sistema y por último la aplicación de las prácticas de manejo (Maser *et al.*, 1999). Por lo tanto, en general se requiere de pruebas de tipo cuantitativas, correlaciones analíticas, documentación de las propiedades diagnosticadas y el objetivo de rendimiento del sistema (Bezdicek y Harris, 1994).

Larson y Pierce (1994) propusieron que los parámetros de calidad (características físicas, químicas y biológicas del suelo) pueden ser comparados de manera analógica como los exámenes realizados a los seres humanos. Sí los indicadores básicos o pruebas específicas de salud están fuera de los rangos aceptados, podemos identificar las causas del problema, aplicar la solución y con posterioridad monitorear los efectos de las medidas correctivas en beneficio del sistema. Dicho lo anterior podemos relacionar los parámetros de calidad con una lista de las características físicas, químicas y biológicas del suelo que varían en el tiempo, intensidad y espacio. Estos cambios de las características básicas, tendrán una evaluación y un valor específico.

Algunos investigadores proponen parámetros mínimos de medición de la calidad de suelo, con carácter de analíticos y dinámicos que no son iguales en cada caso, pero conjuntan directrices comunes, basados en la características físicas, químicas y biológicas del suelo, que evalúan y comparan los efectos del manejo sobre la función de éste, con el objeto de mantener o mejorar dicho recurso (Doran y Parkin, 1994; Larson y Pierce, 1994; Govaerts *et al.*, 2005; Gugino *et al.*, 2007) (Cuadro 1).

Cuadro 1: Compendio de indicadores para evaluar la calidad de un suelo agrícola, basados en sus características físicas, químicas y biológicas.

Físicos	Biológicos	Químicos
<ul style="list-style-type: none"> • Densidad aparente • Estabilidad de agregados en seco y húmedo • Macro, meso y micro porosidad • Capacidad de almacenamiento de agua • Resistencia a la penetración a 10 KI/Pa • Infiltración • Tiempo de saturación • Profundidad de suelo 	<ul style="list-style-type: none"> • Salud de raíces • Población benéfica de nematodos • Glomalina • Respiración microbiana • Banco de semillas de malezas • Actividad del carbono 	<ul style="list-style-type: none"> • Contenido de materia de orgánica • Nitratos • Fósforo • Potasio • pH • Magnesio • Calcio • Hierro • Aluminio • Manganeso • Zinc • Cobre • Conductividad eléctrica

Fuente: Doran y Parkin (1994); Larson y Pierce (1994); Govaerts *et al.*, (2005); Gugino *et al.*, (2007).

2.5 Características biológicas del suelo

Casi ningún proceso en el suelo se efectúa sin ser influenciado por algún fenómeno biológico. Los organismos vivos (plantas, animales y microbios que varían en tamaño y función) ejercen modificaciones físico-químicas en el suelo y establecen una relación en los ciclos de la materia orgánica, carbono y nitrógeno total, biomasa microbiana, carbono y nitrógeno mineralizable, actividad enzimática, desintoxicación de sustancias tóxicas, biota del suelo y supresión de organismos nocivos, todo ello relacionado con la productividad y salud de plantas y animales (Mischis, 1991, Gregorich, *et al.*, 1994, Brussaard *et al.*, 2007). Es así, como los componentes biológicos interfieren en la funcionalidad del suelo, lo que los convierte en potenciales parámetros de medición de

calidad del mismo (Mirsal, 2008), los organismos del suelo responden sensiblemente a los cambios ambientales y a las prácticas de manejo (Doran y Zeiss, 2000).

2.6 Macro y mesofauna como indicador de calidad de suelos

Para que la macro y mesofauna del suelo sean considerados como indicadores biológicos de la calidad del suelo es necesario que estos estén fuertemente ligados con otros índices de calidad, tanto físicos como químicos (Edwards y Bohlen, 1996). La utilidad de la fauna como indicadores, inicia al explorar su función en el sistema y como sus cambios afectan la calidad del suelo, así la fauna del suelo participa de manera directa en los procesos de fragmentación y redistribución de los residuos orgánicos, facilitando la descomposición de la materia orgánica y la disponibilidad de nutrientes en la zona radicular y mejorando la estructura del mismo (Linden *et al.*, 1994). Pero estos mismos autores refieren a que los cambios en la calidad del suelo producto de la función de la actividad de la fauna del suelo, no son suficientes para ser considerados como indicadores, que es necesario incluir un conjunto de factores biológicamente relacionados, como son: medidas de excavaciones, mediciones en depositaciones fecales y mediciones relacionadas con descomposición de materia orgánica y liberación de nutrientes.

Doube y Schmidt (1997) mencionan que el elemento básico para ser considerado como indicador a largo plazo de calidad de suelo, es que la medida se relacione con la productividad de la plantas (sin dañar el medio ambiente), que sean de amplia distribución; fácilmente reconocidos y medidos; que puedan ser ligados más directamente al concepto de calidad de suelo; que den una respuesta numérica en el momento oportuno (mediciones *a priori* de abundancia y biomasa) y contar con valores de referencia.

Tomando en cuenta lo antes descrito, las lombrices cumplen con los requisitos antes mencionados. Primero, por ser consideradas como los organismos más importante y visible, a su vez de cumplir con la función de promover procesos que están

relacionados con la calidad del suelo, como son descomposición orgánica, beneficios a la estructura del suelo, ciclo de los nutrientes y control de enfermedades. Y en segunda instancia son fácilmente medibles, cuantificadas y determinadas; son de amplia distribución; existen valores de referencia en diferentes localidades, los cambios de abundancia ocurren a una escala de tiempo adecuada (1-3 años), es decir que son afectados por factores como el clima, alimentación, humedad del suelo y prácticas de manejo (Doube y Schmidt, 1997). Un ejemplo, Birkás *et al.* (2004) observaron que dentro de un suelo limoso y limo-arenoso el número de lombrices creció en suelos sin disturbio y no compactado, además donde el residuo permanece en la superficie del suelo, y por el contrario las poblaciones son bajas en suelos deteriorados por la labranza directa y la ausencia del rastrojo.

De esta manera las lombrices son usadas para monitorear y comparar diferentes prácticas de manejo; por ejemplo, las lombrices tienden a recuperan más rápidamente en respuesta a las prácticas de bajo entradas de insumos comparada con sistemas convencionales de alto gasto de insumos (Paoletti, 1999).

En una investigación realizada en Nicaragua y Colombia con base en la medición de 54 propiedades del suelo, se determinó cinco subindicadores de calidad que permitirían monitorear la calidad del suelo en el tiempo, sin la necesidad de medir las mismas 54 características cada año, uno de estos subindicadores fue la macrofauna del suelo (Velázquez *et al.* ,2007) lo que indica la importancia que juegan las lombrices en la medición de la calidad del suelo conforme al deterioro ambiental y cambio en las características físicas, químicas y biológicas por los diferentes manejos agronómicos.

2.6.1 Características y funciones de las lombrices en el suelo

El Phylum Annelida (lat. *annelus*, pequeño anillo) ha colonizado variados habitat como los marinos, de agua-dulce y terrestres (Lee, 1985). De la Subclase Oligochaeta (gr. *oligos*, poco; *chaeta*, espina) Clitellata, las lombrices de tierra son los organismos más conocidos; se conocen aproximadamente 3500 especies, que moran en bosques

(especialmente en el clima subtropical), en pastizales, la sabana y áreas dedicada a la agricultura (Feijoo, 2001).

En general, las lombrices son de cuerpo elongada, cilíndrica, subdividida en numerosos segmentos, el tamaño va de 1 a 40 cm. En su interior se halla órganos que conforman el aparato nervioso, respiratorio y excretor. En casi todos los segmentos de su cuerpo cuenta con setas, que le permiten moverse. Una característica muy particular de las lombrices es la protuberancia o cinturón (clitelo) que rodea una parte de su cuerpo, la cual indica el estado de madurez y reproducción y por lo tanto es donde se forma los cocones que contiene de uno o más huevos (Lee, 1985; Makeschin, 1999).

Su frágil cuerpo y su limitada movilidad, hacen de las lombrices altamente susceptibles a factores bióticos y abióticos que afectan su condición y actividad en el suelo. Los más importantes factores son, la falta de alimento (energía y nutrientes), regímenes de humedad y temperatura, textura y estado químico del suelo (pH, concentración de electrolitos y potencial redox) (Makeschin, 1999).

Del punto de vista fenológico las lombrices en general son hermafroditas con testículos y ovarios por separado, pero con funcionalidad simultánea (Lee, 1985). El ciclo de vida para la mayoría de las lombrices, se estima entre 1 y 10 años. La producción de cocones, se produce durante la época de calor (Cuadro 2), incubando aproximadamente en un año (Coleman *et al.*, 1996). La eclosión de los cocones depende de la temperatura y humedad; ocurre a temperaturas $\geq 20^{\circ}\text{C}$ y a una humedad del suelo $\geq 7\%$. No obstante, Lee (1985) también relaciona la producción de cocones con el contenido de residuos.

Cuadro 2: Ciclo biológico de la lombriz, (hemisferio norte) especie *Amyntas sieloloci*. Término del período de hibernación e inicio de eclosión de cocones.

Invierno			Primavera			Verano			Otoño		
D	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N

	Periodo de "diapausa" o hibernación de las lombrices
	Termino de etapa de diapausa e inicio de la eclosión de cocones (huevos)
	Plena actividad de las lombrices

Nota: Es importante mencionar que en tiempos de lluvia al final de abril, las lombrices emergen de la hibernación y salen de las pendientes del suelo o debajo de las piedras (Lee, 1985).

En este apartado daremos más atención a dos familias los Lumbricidae y Ocnerodrilidae. La primera, representa el grupo más extensamente estudiado por su alta distribución y densidad en el hemisferio norte, en especial en regiones paleoárticas (Paoletti, 1999), la comprenden cerca de 80 especies, muchas de ellas son hemerofílicas, es decir pueden tolerar disturbios por prácticas de cultivo (Mekeschin, 1997). En tanto que las Ocnerodrilidae, es una familia con amplia ubicación en la República Mexicana (Fragoso, 2001).

1.- Familia Lumbricidae.

(a) Género *Aporrectodea*. Especie *Aporrectodea longa* (Eisen, 1874).

Esta especie es de origen europeo, viven entre 4.5, 6 y 10 años. Su color es usualmente gris o café, algunas veces rojizo, largo de 90-160 mm, diámetro 6-8 mm, número de segmentos 150-220. Son hermafroditas producen de 3-13 cocones por año. Son geófagas (comen tierra) y detritívora (obtienen su alimento de materia orgánica en descomposición) de plantas y estiércol de mamíferos, aunque parte de su dieta también la componen hongos principalmente del tipo Lignolíticos. Se desarrollan en temperaturas entre 10 y 25°C (Mischis, 1991).

Es una especie sinantrópica (viven próximas a los hábitos humanos) común en pastizales, jardines y bosques; aunque se hallan también en regiones no-boscosas, debajo de las piedras y troncos (Ude, 1995).

Su distribución a nivel mundial es amplia en el Norte de Europa, América del Norte, Suramérica, África Asia y Australia. El acta zoológica de México las reporta en el área del Distrito Federal y Estado de México (Fragoso, 2001).

(b) Género Biomastos. Especie *Bimastos parvus* (Eisen, 1874).

Esta especie tiene el cuerpo cilíndrico, de diámetro 1.5-3 mm y largo 17-65 mm dorsalmente de color rojizo, ventralmente amarillento. Posee segmentos de 65-110 (Mischis, 1991). Su presencia se reporta en la parte norte de Canadá. El acta zoológica de México, menciona que *Bimastos parvus* también es conocida en México como *Allolophora parva* (Fragoso, 2001). Este mismo reporte la localiza dentro de la República Mexicana en los Estados de Sinaloa, Tamaulipas y Distrito Federal. Se desarrollan en un ambiente regularmente boscosos de pino-encino, pino, tiraderos de pulpa de café, en el suelo, troncos en descomposición y desechos orgánicos (Fragoso, 2001). Pigmentado púrpura rojizo, amarillento. Prefieren humedad, madera y hojas en descomposición, también conocido como composta (Sims y Gerard, 1985).

2.- Familia Ocnerodrilidae.

a) Género Ocnerodrilus. Especie *Phoenicodrilus taste* (Eisen, 1874).

El acta zoológica de México lo reporta en este país bajo otros dos nombres *Phoenicodrilus tepicensis* (Eisen, 1896) o como *Ocnerodrilus santixavieri* (Eisen, 1900). Se encuentra distribuida geográficamente en los Estados de Baja California Sur, Campeche, Chiapas, Distrito Federal, Guerrero, Guanajuato, Jalisco, Morelia, Nayarit, Quintana Roo, Sonora, Tabasco, Tamaulipas y Veracruz. Principalmente en ambientes como selvas alta, mediana, bosques mesófilo, pino-encino, pino, acahuales, pastizales, maizales, cocotales, jardines, vegetación ruderal (terrenos donde se vierte desperdicios o escombros). La categoría ecológica es principalmente en el suelo (Fragoso, 2001).

La importancia ecológica de las lombrices se debe a que todo su ciclo de vida lo realizan en el suelo, haciendo excavaciones, alimentándose e influenciando directa o indirectamente las propiedades físicas y químicas del suelo o estableciendo las bases para otros organismos (macro, meso y micro fauna) y en especial para las plantas (Makeschin, 1999).

Una de estas aportaciones es la transformación de la materia orgánica del suelo (MOS), la cual desempeña un papel crucial en la calidad y funcionalidad de los agroecosistemas (Swift *et al.*, 2004), al intervenir y mejorar en la agregación y estructuración del suelo que trae como consecuencia beneficios en el flujo, infiltración y retención de agua, penetración de las raíces, aireación, a su vez estimula la reserva y liberación de nutrientes para las plantas (Doube y Brown, 1998). Se ha demostrado plenamente que la MOS es un factor clave en el ciclo de los nutrientes y un indicador de la calidad del suelo (Balesdent *et al.*, 2005; Six *et al.*, 2002).

La MOS funge como un recurso energético para mantener las actividades de la fauna del suelo incluyendo los microorganismos (biomasa y diversidad), y como un componente físico que permite la estabilización de las estructuras biogénicas producidas por estos organismos (Doube y Brown, 1998; Lavelle *et al.*, 2001) por lo que la reducción de la MOS o el detrimento en su calidad afectará la dinámica poblacional de los oligoquetos. Makeschin (1997) afirmó que la fecundidad, entendida como el potencial reproductivo de un organismo, medido por el número de huevos producido, de algunas especies de lombrices, depende del contenido de MOS que tenga el suelo. De esa manera, la variación en la densidad poblacional de dichos organismos se convierte en un indicador de la calidad del suelo íntimamente relacionada con la dinámica de la MOS (Linden *et al.*, 1994).

Las lombrices están asociadas con el mejoramiento de las características físicas del suelo, al construir vías que mejoran la conducción de las raíces, aire y agua, al mezclar materiales orgánicos y minerales dentro del suelo disminuyendo la diferencia entre los

perfiles y contribuyen en la formación de agregados que aminoran el escurrimiento superficial y por lo tanto reducen la erosión (Linden *et al.*, 1994; Kladivko, 2001).

Algunas prácticas, como la labranza, afectan la estructura del suelo, por lo tanto provocan una disminución en la población de lombrices que tiene una relación directa con la pérdida de calidad física del suelo (Tomlin *et al.*, 1995). Es así, como los diferentes manejos agrícolas condicionan la actividad de la macrofauna en especial la población de las lombrices. Lavelle *et al.* (2001) plantean un modelo conceptual indicando las posibles respuestas de la macrofauna acorde con el sistema de labranza (Figura1).

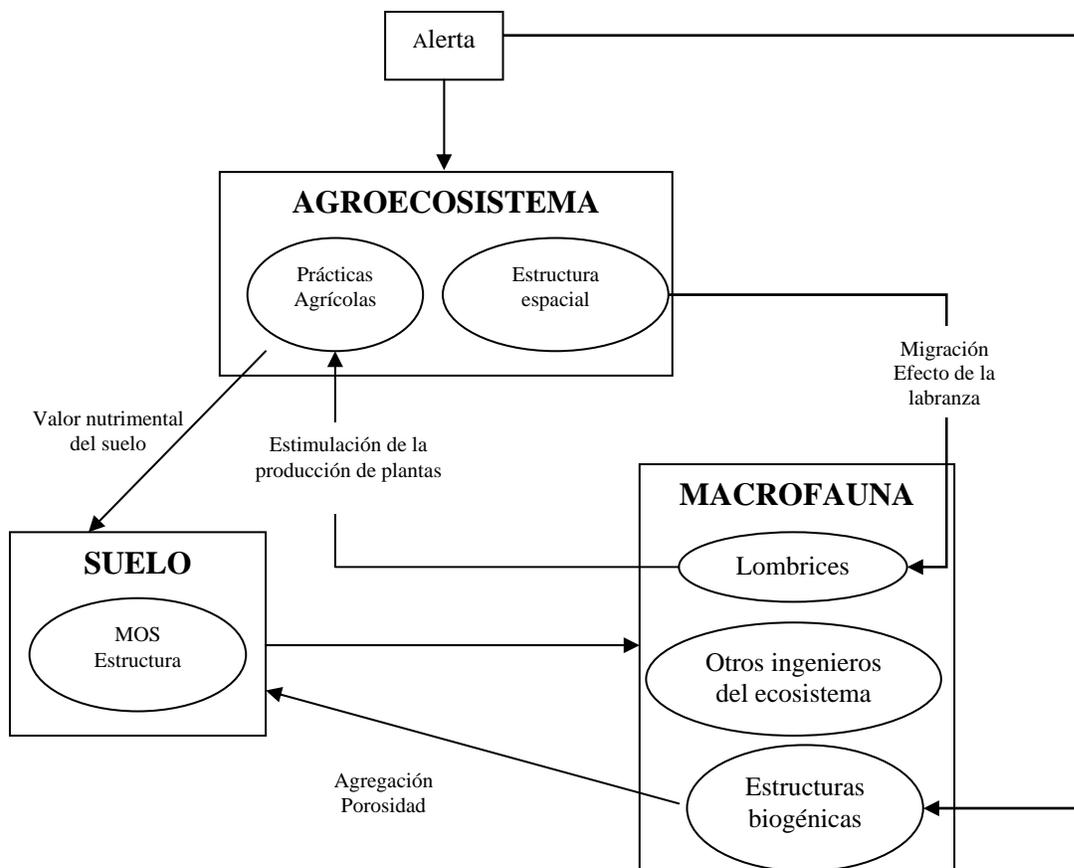


Figura 1: Modelo conceptual para macroinvertebrados en respuesta al manejo en un agroecosistemas (Lavelle *et al.*, 2001).

Estudios han demostrado que estos organismos pueden ser potenciales indicadores de la calidad del suelo, lo que implica un buen manejo de dichos organismos como un

recurso para mejorar los servicios del ecosistema y agroecosistemas (Lavelle *et al.*, 2006).

2.6.2. Dinámica de las lombrices en diferentes sistemas de manejo

La dinámica y hábitat de las lombrices están íntimamente ligados con la estructura y agregación del suelo. Al labrarlo se genera una ruptura de la estructura, así como la destrucción del hábitat, reduciendo las poblaciones de dichos organismos (Kladivko, 2001). Este fenómeno se reduce al manejar un suelo con cero labranzas y retención de residuos, aumentando la abundancia, diversidad y actividad de las lombrices (Kladivko *et al.*, 1997; Chan, 2001; Kladivko, 2001).

En un agroecosistema de zona templada en parcelas sometidas a agricultura de conservación se detectó 70% más de densidad y biomasa de lombrices en comparación a una parcela con agricultura convencional (Parmelee *et al.*, 1990) lo que demuestra la sensibilidad de las lombrices ante los diferentes tipos de manejo.

Birkás *et al.* (2004) mostraron que en un suelo limoso y franco arenoso existió una estrecha correlación entre la actividad de las lombrices y la calidad del suelo, el número de individuos creció en suelos no disturbados, no compactados y donde se retienen residuos en la superficie, por el contrario en suelos deteriorados por la labranza y sin residuos no existe incremento de lombrices.

La labranza mínima, la no labranza y el sistema de camas permanentes más la retención de residuos (formas de reducir el movimiento del suelo) tienden a reducir la pérdida de biomasa de las lombrices que viven en la superficie del suelo, porque estas técnicas agrícolas son menos invasivas, además de que dejan los residuos de la cosecha anterior favoreciendo la fuente de alimento de las lombrices en los primeros 15 cm del suelo, en comparación con la agricultura convencional, que disturba el suelo y retira el rastrojo (Stinner y House, 1990; Clapperton *et al.*, 1997).

La agricultura de conservación incluye tres prácticas, reducción de la labranza, retención de residuos y rotación de cultivos. En el párrafo anterior nos referimos a las consecuencias de labrar o no el suelo, a continuación nos avocamos a la influencia sobre la calidad del suelo y la dinámica de las lombrices ante la retención o retiro de los residuos de la cosecha anterior, lo cual influirá en los contenidos de carbono orgánico que se incorporen al suelo. Existe una estrecha relación entre la dinámica del C orgánico del suelo (COS) y las lombrices, sin embargo hay resultados encontrados al respecto. Hay quienes afirman que la adición de lombrices al suelo produce un efecto negativo en el COS al fomentar la pérdida de C de éste (Burtelow *et al.*, 1998; Desjardins *et al.*, 2003) mientras que Gilot (1997) mostró resultados opuestos.

Parmelee *et al.* (1998) afirmaron que las lombrices tienen un efecto directo sobre el COS en cuanto a respiración y descomposición de los tejidos, lo que representaría pérdidas de COS. En un experimento donde se midió el efecto de la adición de lombrices en suelos con agricultura de conservación, se mostró que dicha adición no se asoció con una pérdida de COS en forma de CO₂ (Coq *et al.*, 2007). Lavelle *et al.* (1998) sostuvieron que no existe una contradicción en cuanto a pérdida o protección de C en el suelo relacionado con la presencia de lombrices, sino que se refiere a una cuestión de escala, por lo que afirma que al incorporar residuos a corto plazo el proceso de mineralización se acelera, sin embargo a largo plazo aunado a la agregación del suelo se presenta un fenómeno de protección del COS.

La rotación de cultivos es otro factor considerado por la agricultura de conservación como favorecedor de la calidad del suelo, sin embargo, la información respecto a su relación con la actividad de las lombrices no es concluyente. En un estudio comparativo entre un suelo con pasto y otro con rotación pasto-trébol, se encontró que en el segundo caso existía una población y biomasa mayor de lombrices que en el monocultivo de pasto (Clements *et al.*, 1991; Schmidt *et al.*, 2003). Riley *et al.* (2008) compararon diferentes tipos de rotaciones, combinando agricultura orgánica y convencional (seis tratamientos en total), mostrando que los valores más bajos en cuanto a densidad, biomasa y densidad de canales de lombrices se registraron en dos

parcelas manejadas convencionalmente en donde no existía rotación con pastos y se incluyó el cultivo de papa. Schmidt *et al.* (2003) encontraron que la combinación de trébol con cereal, incrementaba la población de lombrices en 50% en comparación con monocultivo de cereal.

2.7 Mediciones comunes para evaluar presencia de lombrices

Las lombrices son un grupo ecológicamente diverso con diferencias en términos de tamaño de cuerpo, estratificación en el perfil del suelo, hábitos alimenticios, preferencia en la comida, potencial reproductivo y estrategias de sobrevivencia, todos estos factores afectan la elección y el tiempo de la toma de muestra (Doube y Schimidt, 1997).

Para evaluar la calidad de un suelo, utilizando las lombrices se considera la abundancia, biomasa, diversidad y estructura trófica de estos organismos. En tanto que para medir las características de comunidad se realiza una identificación taxonómica (Linden ,1994). Al considerar biomasa y densidad de lombrices como un indicador de la calidad de suelo existe la ventaja de utilizar dicha técnica sin la necesidad de ser un experto en taxonomía y aún así obtener información (Paoletti, 1999).

2.7.1 Densidad

La densidad, mide el cambio poblacional de las lombrices en tiempo y espacio que frecuentemente llegan hacer irregulares, variando grandemente a pequeñas distancias y cambiando de acuerdo a las estaciones del año (Lee, 1985; Curry, 1998).

Por otra parte la densidad poblacional de las lombrices está regida por la humedad y por las condiciones de oxigenación que afectan su crecimiento que a su vez está regida por la estructura y textura del suelo, íntimamente ligado con la calidad física del mismo (Lee, 1985).

2.7.2 Biomasa

La biomasa es un índice que relaciona el peso de los organismos que lo habitan (virus, bacterias, actinomicetos, hongos, protozoarios, nematodos, hormigas y lombrices) con el volumen total del suelo, en conjunto pueden producir una biomasa de 0.5 a 20 t ha⁻¹ (Killham, 1994). Sin duda las lombrices, por peso y tamaño constituyen los individuos más importantes para obtener este índice de calidad, Feijoo (2001) refiere distintas biomasa dependiendo del tipo de vegetación, por ejemplo para zonas de cultivo la biomasa es de 14 gr m⁻², en contraste en pasturas introducidas llega a 948 gr m⁻². Los organismos con poco peso ocupan una pequeña fracción del volumen total del suelo (< 0.5%) (Killham, 1994). Brown *et al.*, (2001) menciona que a partir de una biomasa 30 gr m⁻², las lombrices pueden tener importantes consecuencias sobre el suelo y la productividad vegetal.

La biomasa también es considerada como un indicador de mayor correlación con la calidad del suelo ya que dicha condición cambia en el tiempo dependiendo del tipo de alimentación y acorde con la estación climática (Hillel, 1998). Además, muestra el nivel de hidratación de la lombriz, lo que da elementos para inferir la disponibilidad de humedad en el ambiente edafológico (Lee, 1985).

2.7.3 Características de las mediciones biológicas

El muestreo de los organismos del suelo, en especial de lombrices, cualquiera de los métodos usados (manual, químico), es notoriamente una labor intensiva y llena de inexactitudes, porque están distribuidas irregularmente en el campo (Baker *et al.*, 1992). Estos experimentos biológicos muestran una variación en la densidad y la biomasa de los organismos dentro de diferentes ecosistemas, es grande, con coeficientes de variabilidad frecuentemente mayores que 100%. Lo que se traduce en una alta varianza que se refleja en pocas diferencias significativas entre densidad o biomasa total, a pesar de que se observaron marcadas diferencias visuales entre los valores de biomasa o abundancia de algunos ecosistemas (Brown *et al.*, 2001).

III.- OBJETIVO

3.1 Objetivo general

Determinar sí las distintas formas de manejos agrícola, basadas en el uso de la labranza; monocultivo (trigo y maíz) y rotación de éstos; y manejo de residuos, durante un periodo de 15 años, provocan un efecto en la edafofauna del suelo, medida en tres períodos durante el ciclo 2007.

3.2 Objetivos particulares

- Describir cuantitativamente la densidad de la población y la diversidad de la edafofauna (macro y meso fauna), en diferentes manejos agronómicos en tres períodos de medición, en parcelas cultivadas con maíz, trigo y con la rotación de ambos.
- Determinar la influencia en el uso de diferentes prácticas agronómicas sobre la densidad de población y biomasa de lombrices, en los tres períodos de medición en parcelas cultivadas con maíz, trigo y con la rotación de ambos.
- Con base en las mediciones de las lombrices establecer potenciales rangos que indiquen la calidad en suelos donde se practican labores como labranza cero y labranza convencional, con o sin residuo, aplicando rotaciones o monocultivo.

IV.-HIPÓTESIS

4.1 Hipótesis general

- La mayor presencia de la edafofauna en el cultivo de trigo y maíz, después de 15 años se produce, en la época de floración de ambos cereales y en los manejos donde se emplea labranza cero, rotaciones de cultivo y se deja el residuo, respecto a los manejos usando labranza convencional, monocultivo y sin rastrojo.

4.2 Hipótesis particulares

- El número y diversidad de organismos de suelo (macro y meso fauna) después de 15 años son diferentes en los tres períodos y entre los manejos.
- La densidad y biomasa de lombrices, difiere en los tres períodos de medición, al igual que en los distintos manejos agronómicos.
- Los distintos manejos basados en labranza cero o convencional, uso o no de residuos y aplicación de mono o rotación de cultivo, presentan diferentes respuestas que pueden conducir a establecer parámetros de calidad mediante del uso de lombrices.

V.- MATERIALES Y MÉTODOS

El área de estudio se encuentra ubicada en el Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo, CIMMYT, 'El Batán', municipio de Texcoco, Estado de México (Figura 2), entre 19° 31' de latitud Norte y 98° 20' de longitud Oeste, a una altitud aproximada de 2259 msnm.



Figura 2. Ubicación de la zona experimental, “El Batán”, CIMMYT.

El clima es semiárido subtropical. La precipitación anual es cercana a los 600 mm, con 520 mm durante mayo y octubre. Las temperaturas medias en el mes más frío varían de -1°C a 22°C y la del mes más cálidos entre 9°C y 30°C. Los datos corresponden a los reportados por el módulo meteorológico de “El Batán”.

La unidad experimental tiene un suelo que según la clasificación de WRB (World Referente Base for Soil Resources) corresponde a un Cumulic Phaeozem o su equivalente en la Soil Taxonomy, Fine, mixed, thermic Cumulic Haplustoll (Govaerts *et al.*, 2005).

La superficie del ensayo cubre 1.3 hectáreas, con 64 parcelas (7 x 22 m) constituidas por 32 tratamientos con su repetición, que se subdividen en 16 tratamientos estáticos y 16 dinámicos. La principal característica de los primeros es que no han sido modificados desde el inicio del experimento, en 1991. En contraste los tratamientos dinámicos se forman experimentalmente a partir de la información y resultados generados por los métodos estáticos. Las dos fases de esta investigación (la descriptiva y la cuantitativa) cubrieron la totalidad de los tratamientos estáticos (Cuadro 3) y 3 de los ensayos dinámicos (Cuadro 4).

Cuadro 3: Tratamientos estáticos basados en el tipo de labranza, manejo de residuo y rotación de cultivo.

Labranza	Labranza Cero (Lz)		Labranza Convencional (Lc)	
	Con residuo (+r)	Sin residuo (-r)	Con residuo (+r)	Sin residuo (-r)
Manejo de Residuo				
Rotación	Maíz-Maíz	Maíz-Maíz	Maíz-Maíz	Maíz-Maíz
	Trigo-Trigo	Trigo-Trigo	Trigo-Trigo	Trigo-Trigo
	Maíz-Trigo	Maíz-Trigo	Maíz-Trigo	Maíz-Trigo
	Trigo-Maíz	Trigo-Maíz	Trigo-Maíz	Trigo-Maíz

Fuentes, 2005; Govaerts *et al.*, 2005;

Cuadro 4: Tratamientos dinámicos basados en el tipo de labranza, manejo del residuo y rotación de cultivo.

Labranza	Labranza cero (Lz)
Manejo de residuo	Con residuo (+r) para trigo y maíz, pero removiendo el residuo (-r) de frijol.
Rotación	Trigo-Frijol-Maíz Maíz-Trigo-Frijol Maíz-Frijol-Trigo

La preparación del suelo en labranza convencional (Lc) tanto para maíz como para trigo: consistió en pasar 1 vez el disco de arado, dos veces la rastra a 20 cm de profundidad (para mullir el suelo) y se pasó la niveladora para que el suelo quedara en condiciones de ser sembrada. Para la labranza cero (Lz) se utilizó la sembradora multiuso-multicultivo que tiene la particularidad de sembrar directamente al suelo, por encima del rastrojo, sea grano grande o pequeño, fertilizar y aplicar insecticida al suelo, todo en una pasada de tractor. Para ambos tipos de labranza, la densidad de siembra para maíz fue de 60000 plantas por ha, en hileras 75 cm aparte, la variedad usada fue (CML 457XCML459) x Pob.85 C4F57-2-1-1-1-1-B-1-B-B-B-B-B TL2007A1809 1x2. En trigo la densidad de siembra fue de 100 kg ha⁻¹, la variedad usada fue BABAX/LR42/BABAX (CGSS96B00222S-99B-16Y-6B-0Y).

El manejo con residuo (+r), consistió en dejar la totalidad del rastrojo de la cosecha del cultivo anterior en la superficie del suelo. Al contrario, en el manejo sin residuo (-r), removió íntegramente el rastrojo del cultivo, dejando desnudo la superficie del suelo.

Para el ciclo 2007, los monocultivos ensayados fueron trigo y maíz, empleados a lo largo de los 15 años previos, al igual que las rotaciones de cultivo fueron maíz-trigo y trigo-maíz, siendo el objetivo principal de ésta interrumpir los ciclos de vida de plagas, enfermedades y malezas.

Todos los manejos, tanto para maíz como para trigo, tuvieron la misma fertilización que fue de 120 kg de N ha⁻¹ (urea), distribuida 1/3 a la siembra y el resto cuando en la planta trigo alcanzó la emisión del primer nodo y, en maíz, cuando apareció la 5 o 6 hoja.

El control de malezas se aplicó de acuerdo a las necesidades de la temporada, con un producto de nombre comercial de Faena[®] (Glifosato). No hubo control para enfermedades ni plagas se excepto en los tratamientos donde la semilla es tratada con producto químico de nombre comercial Poncho[®] (Clothianidin).

5.1 Mediciones descriptivas y cuantitativas de la edafofauna

Esta fase del estudio se llevó a cabo entre abril de 2007 hasta febrero del 2008, en tres etapas: (1) pre-siembra (abril 2007); (2) durante el desarrollo de los cultivos (septiembre 2007) y (3) dos meses después de cosecha (enero 2008).

La metodología aplicada es una adaptación de la técnica recomendada por TSBF (Tropical Soil Biology and Fertility) desarrollado por Anderson e Ingram (1993), que se basa en la captura y recolección de organismos del suelo, (visibles al ojo humano), para determinar presencia y densidad de población en un volumen de suelo. Consiste en hacer un “monolito”, -con ayuda de una pala recta- que no es otra cosa que un hoyo de 25 cm de ancho por 25 cm de largo, a una profundidad de 30 cm (Fig. 3).

Se tomó dos “monolito” por cada manejo, en cada una de las tres fechas mencionadas (Anexo 1). El monolito se dividió en los estratos 0 a 10 cm (incluido el rastreo); 10 a 20 y 20 a 30 cm (Fig. 3). Una vez obtenidas las muestras éstas se colocaron en bolsas plásticas y fueron trasladadas al laboratorio, donde de manera individual, ordenada y consecutiva, se extendieron en bandejas (1 m de largo por 50 cm de ancho), para proceder a la captura de los individuos de forma manual (con ayuda de pinzas entomológicas).

Para el caso de las lombrices una vez colectadas se limpiaron sumergiéndolas en agua, para quitar todo los vestigios de suelo, posteriormente se pesaron (peso vivo en gramos) y se colocaron en frascos con una solución de formaldehído al 4% para su preservación y subsiguiente determinación taxonómica, que se basó en la determinación en conjunto realizada por un especialista en taxonomía de lombrices, Dr. Carlos Rodríguez Aragonés (comunicación personal), con apoyo del acta zoológica mexicana (Fragoso, 2001) y Mischis (1991). La identificación se basa en tres aspectos estructurales muy específicos que son los orificios respiratorios dorsales, forma del extremo anterior (primer segmento) y tamaño (largo en cm) (Anexo 2).

Para la captura del resto de organismos, se realizó exactamente el mismo procedimiento, la diferencia reside en que una vez capturados (ej. Arañas, colémbolos, insectos, etc.) ellos son puestos en una solución de alcohol al 70% para su conservación y posterior identificación, que se basó en La guía de insectos de América del Norte a México (Borrer y White, 1976).

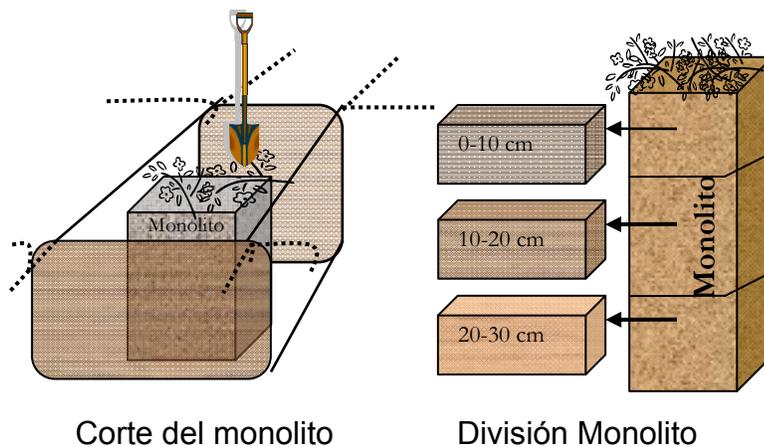


Figura 3. Representación del procedimiento de la toma de muestras. Un monolito de 25 x 25 cm, a tres profundidades 0-10, 10-20 y 20-30 cm.

La metodología (TSBF) se basa en la cuantificación de densidad de población, (individuos m^{-2}), biomasa (gramos m^{-2}) y la distribución vertical de las poblaciones por estratos, además de agrupar a los invertebrados en unidades taxonómicas (binomio), a nivel de clase, orden, familia y especie.

5.2. Mediciones adicionales

Temperatura de suelo. La temperatura del suelo es un factor importante que determina la tasa metabólica, la distribución y la propia sobrevivencia de las lombrices (Lee, 1985; Curry, 1998). Ésta se midió utilizando un sensor-registrador automático de temperatura de la serie Data Logger HOBO[®] H8-4V, (Onset Computer Corporation, Bourne, Massachusetts, USA) que posee cuatro canales de registro (termómetros), con

capacidad para 7900 lecturas, intervalos de medición entre 0.5 segundos a 9 horas, memoria de 8 K, además de una memoria interna EEPROM no volátil que permite el mantenimiento de los datos en caso de agotarse la batería del sensor mide rangos de temperatura entre -20°C y +70°C con una precisión de $\pm 0.7^\circ\text{C}$ (a 21°C). La instalación de los sensores (HOBO) en el campo, fue en los tratamientos basados en el manejo residuo y la labranza, a profundidades de 5, 15 y 25 cm. Las mediciones se programaron a intervalos de tiempo de 1 hora, que corresponde al momento justo de extracción de las muestras de suelo, para cada fecha de evaluación. La descarga de información se realizó directamente en una PC mediante un software previamente instalado (BOXCAR versión 3.7). Los datos de temperatura obtenidos por el sensor se expresaron en grados Celsius.

Humedad de suelo. La humedad de suelo es un parámetro que determina la población, distribución y la actividad de las lombrices (Lee, 1985). Para su obtención se recurrió al método de porcentaje de humedad con base en el peso seco del suelo. De cada una de las muestras se extrajo, una porción de suelo (5 a 10 g), que fueron depositados en contenedores de aluminio (previo conocimiento de su peso) para ser llevadas a la balanza y obtener el peso del suelo húmedo. Luego, se secaron con aire forzado en un horno a 105°C, por un periodo de 24 horas. Cumplido el tiempo, se retiraron las muestras del horno, dejando transcurrir entre 10 a 20 minutos para enfriar a temperatura ambiente, posteriormente los contenedores se pesaron y para obtener el peso seco de la muestra. El porcentaje de contenido de humedad al momento de la remoción de la muestra se calculo con la siguiente fórmula (Kalra y Maynard, 1991):

$$\%H_{\text{bps}} = \frac{P_{\text{sh}} - P_{\text{ss}}}{P_{\text{ss}}} \times 100$$

$\%H_{\text{bps}}$ = Porcentaje de humedad con base peso seco
 P_{sh} = Peso suelo húmedo gr
 P_{ss} = Peso suelo seco gr

5.3 Análisis de datos

El diseño experimental fue bloques al azar con dos repeticiones y el diseño del tratamiento correspondió a un factorial. Para el análisis de datos para lombrices se utilizó el programa estadístico de SAS (Statistical Analysis System, 1987). Se obtuvieron los resultados de densidad de lombrices (número de individuos m^{-2}) y biomasa (gramos de peso vivo m^{-2}), los cuales se sometieron a un análisis de varianza con base en la prueba de Fisher (F). La diferencia entre medias de los manejos (tratamiento) fue examinado por un procedimiento de prueba LSD a nivel de 95% de significancia.

VI- RESULTADOS Y DISCUSIÓN

6.1. Descripción de la diversidad de los organismos del suelo (macro y mesofauna)

La fauna del suelo involucra organismos que de acuerdo a su tamaño se dividen en tres grupos: la macrofauna ($>2 \mu\text{m}$), representada en este experimento por las clases Crustacea, Clitellata, Aracnida, Insecta, Chilopoda y Diplopoda (Cuadro 5). El segundo grupo de acuerdo al tamaño, se denomina mesofauna (100 a 200 μm), representado por algunos grupos de nematodos (visibles al ojo humano), colémbolos (clase insecta), Symphyla y Arachnida (orden Acarina) (Cuadro 5). La microfauna, es el tercer grupo que forma la edafofauna del suelo, que son organismos $<100 \mu\text{m}$, pero que no fueron objeto de estudio de esta investigación.

Dentro de la clase Insecta se detectaron 27 órdenes, lo que la convierte en el más diverso grupo en un ecosistema agrícola de larga duración, continua la clase Arachnida, con dos órdenes y el resto de los grupos (Nematoda, Crustacea, Clitellata, Symphyla, Chilopoda, Diplopoda) solo está representado por una clase (Anexo 3).

De acuerdo a la guía del Home Grown Cereals Authority (HGCA, 2008) del Reino Unido, la clase Chilopoda (cienpiés), Diplopoda (milpiés), el orden Colémbola (que pertenece a la clase Insecta), Isopodos (cochinillas) y algunos acaros y arañas son considerada como organismos benéficos para el sistema. Por cumplir funciones relacionadas con la destrucción física de los residuos vegetales. Son parte del ciclo de la materia orgánica, mantienen la fertilidad y la estructura del suelo. De los demás organismos su categorización no es muy clara, por que dependerá del número y función.

Cuadro 5: Lista de las unidades taxonómica colectadas en un suelo Cumulic Phaozem una profundidad de 0-30 cm, en un experimento de larga duración.

Nombre común	Clase	Orden	Super-familia	Familia
Nematodos	Nematoda			
Cochinillas	Crustacea	Malacostraca		Isopoda
Enquitreido	Clitellata	Haploraxida	Enchytraeioidea	Enchytraeidae
Pescaditos de plata	Insecta	Thysanura	Diplura	Japigidae
Simfílidos	Symphyla			
Colémbolos	Insecta	Collembola		
Acáro	Arachnida	Acarina		
Moscas (larva)	Insecta	Diptera		
Escarabajo (larva)	Insecta	Coleoptera		
Araña	Arachnida	Araneida		
Escarabajo hocicon	Insecta	Coleoptera	Curculionoidea	Curculionidae
Hormigas	Insecta	Hymenoptera	Scolioidea	Formicidae
Falso escarabajo payaso	Insecta	Coleoptera	Staphylinoidea	Staphylinidae
Cienpies	Chilopoda			
Moscas (pupa)	Insecta	Diptera		
Milpiés	Diplopoda			
Tijerillas	Insecta	Dermaptera		
Escarabajo de suelo	Insecta	Coleoptera	Caraboidea	Carabidae
Escarabajo (indeterminada)	Insecta	Coleoptera		
Escarabajo	Insecta	Coleoptera	Scarabaeoidea	Scarabeidae
Nematodo parásito	Nematoda	Mermithida		Mermithidae
Falso mosquito	Insecta	Hemiptera		Enicocephalidae
Cicadas	Insecta	Homoptera	Cicadoidea	Cicadidae
Escarabajo reticulado	Insecta	Coleoptera		Cupedidae
Piojo de corteza	Insecta	Pscoptero		
Escarabajo de savia	Insecta	Coleoptera	Cucujoidea	Nitidulidae
Garras de peine	Insecta	Coleoptera	Tenebrionoidea	Alleculidae
Chinche (indeterminada)	Insecta	Hemiptera		
Escarabajo (pupa)	Insecta	Coleoptera		
Escarabajo Flor	Insecta	Coleoptera	Cucujoidea	Anthicidae
Barrenador de ramas	Insecta	Coleoptera	Bostrichoidea	Bostrichidae
Falso mosquito	Insecta	Hemiptera		Enicocephalidae
Chinche (indeterminado)	Insecta	Hemiptera		Indeterminada
Moscas Jorobadas	Insecta	Diptera		Phoridae
Escarabajo de antenas largas	Insecta	Coleoptera	Cerambycoidea	Cerambycidae
Escarabajos oscuros	Insecta	Coleoptera	Tenebrionoidea	Tenebrionidae

6.2 Densidad y diversidad de la macro y mesofauna en diferentes sistemas de manejo

6.2.1 Cultivo de trigo

En general la macro- y mesofauna en un cultivo de trigo incluye 30 grupos de organismos diferentes los que fueron colectados en tres periodos de muestreo. Los resultados arrojaron que en la etapa de desarrollo de cultivo (floración) se encontró una población aproximada de 8784 individuos m⁻² en 26 diferentes grupos (Cuadro 6).

Cuadro 6: Densidad (n° de individuos m⁻²) de macro y mesofauna en 8 diferentes manejos en un cultivo de trigo, de 0 a 30 cm, en tres períodos de medición.

Fauna	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	W	X	Y	Z	a	b	c	Total	
LzR +r		8					8								16	24															56
LcR +r	24			8				8	8	8				32	8	8					8										112
LzM +r		104		8			32			8				8		8	16														184
LcM +r				8																							8			16	
LcR -r									16									8												24	
LzR -r	64										32								32											128	
LzM -r				8			24	8	8																16					64	
LcM -r	8		16	8					8							8	8													56	
LzR +r	1200	200	304	192	48	56	152	40	8	16	64	40	24	48	24						8									2424	
LcR +r	72		848	40	144	16	64	136	8	8		24	24						8	8	16	16						8		1440	
LzM +r	208	80	8	48	72	144	16	8		64		16	8	8	16					8			48							752	
LcM +r	568	16	288	8	192	136		8		8		8	24	8	16															1280	
LcR -r	264		336	8	88	80	16	16	16	16		32	8	8					48		16	8					16			976	
LzR -r	8			8		8				8			16																	48	
LzM -r	56	16	96		40	40	8	40	24	8		56	32	16	40			32		8		32								544	
LcM -r	384		648	24	32		16	56	96		8	8	16								32									1320	
LzR +r	448	128	56	88				48	8	16					8			8			40				16					864	
LcR +r	80	24	16	56					8		24	8			8															224	
LzM +r	720	40	24	24		16			8	32			16	8					8											896	
LcM +r	600	24	24	16	88	8	8	8	8						8	16														808	
LcR -r	40			16	24			8					8	8	32						16									152	
LzR -r	8		16	16	32					8					64	64				40	8									256	
LzM -r	392	8		48	80	8			8				16	40							72									672	
LcM -r	184	40		24	8				24	8	8		8								8	8								320	

Lz= labranza Cero; Lc=Labranza convencional; R=Rotación; M=Monocultivo; +r= Con residuo; -r= Sin residuo. A:Nematodos; B:Cochinillas (Isópoda); C:Enquitreidos; D:Pescadito de plata (Thysanura); E: Symphyla; F: Colémbolos (insecto); G: Ácaro; H: Larva Díptera; I: Coleóptera (larva); J: Araña; K: Coleóptera (Curculionidae); L:

Hormiga (Himenóptera); M: Coleóptera (Staphylinidae); N: Cienpés (Chilopoda); O: Pupa Díptera; P: Milpiés (Diplopoda); Q: Tijerillas (Dermáptera); R: Coleóptero (Carabidae); S: indeterminado (Coleóptero); T: Coleóptero (Scarabeidae); U: Nematoda (Mermithidae); V: Hemíptera (Enicocephalidae); W: Homóptera (Cicadidae); X: Coleóptero (Cupedidae); Y: Psocóptero; Z: Coleóptero (Nitidulidae); a: Coleóptera (Alleculidae); b: Indeterminada Hemíptera; c: Pupa Coleóptera.

Mientras que en la etapa de descanso (sin cultivo y durante el invierno) las poblaciones descendieron a 4200 individuos m^{-2} , mientras el número de grupos que descendió a 23. En tanto que en la fase de pre-siembra sólo se registraron 640 individuos m^{-2} y los grupos funcionales llegaron a un total de 17 (Cuadro 6).

La densidad y la presencia de diferentes grupos funcionales de organismos del suelo, en tres períodos de muestreo, puede verse modificada por diferentes prácticas agrícolas en trigo. Así, los manejos con LzR+r son los que presentaron la población de 3344 individuos m^{-2} (Figura 4), involucrando a en 21 grupos. Los más importantes fueron de la clase Nematoda, Clitellata (enquitreidos), Crustacea (Isopodos), Insecta (thysanura) y Arachnida (acaros). Por el contrario los manejos con menor cantidad de organismos fueron LzR-r con 440 individuos m^{-2} (Figura 4), distribuidos en 13 grupos funcionales.

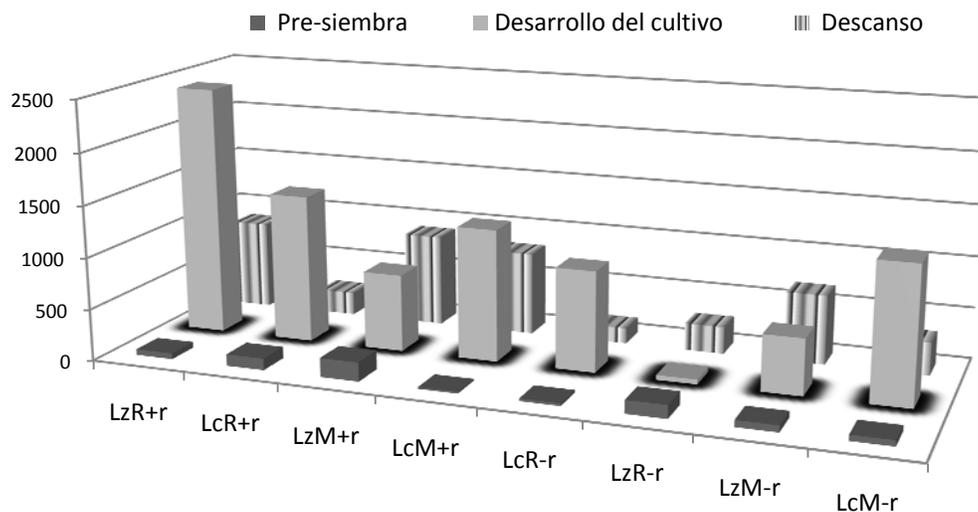


Figura 4: Densidad de macro- y mesofauna en trigo en parcelas de larga duración de 0 a 30 cm, en tres fechas de muestreo (pre-siembra; desarrollo de cultivo; descanso), en un cultivo de trigo. Lz= labranza Cero; Lc= Labranza convencional; R=Rotación; M=Monocultivo; +r= Con residuo; -r= Sin residuo.

6.2.2 Cultivo de maíz

Cuadro 7: Densidad de macro y mesofauna en 8 diferentes manejos en un cultivo de maíz, de 0 a 30 cm., en tres períodos de medición

Fauna	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	W	X	Y	Z	a	b	c	d	e	Total
LzR +r			64				16								32	8																120
LcR +r	16			56			8		8						8																	96
LzM +r	8	32	104	16		128	64	16	32	8			16		32	8										8			8	8		488
LcM +r	16			32			8	24	8	8					8			8	16						8		8	8				120
LcR -r	8	48		8		8											16															96
LzR -r	48	80		32																	8											488
LzM -r		24	16	8	8			24	16	8	8	88		8			8															152
LcM -r				24				24	24																							88
LzR +r	96	80	64	64	24	48	8		8	24	24	8	72	16	8	32		8			8	8										168
LcR +r	48	240		16	120	8			8	8	24			32	8				8													216
LzM +r	128	656	200	80	32	8	8	8	24	56	32	8						8	8													72
LcM +r	16	32		48	56				24	8				8				8														600
LcR -r	32	248	8	16	48	32					16				8					8												520
LzR -r	72	56				8			16	24		8																				1256
LzM -r	8	16		8	16		8		16			8																				200
LcM -r	16	440		16	72	88			32	8	24	8	8				8															416
LzR +r	936	64	16	72		8	32		8	16	48	8	16			48	32							48								184
LcR +r	32	24		24	40		8					8																				80
LzM +r	56	24	24	80	64	16	32		8	8	8	24			8			8			8		8	24								720
LcM +r	96	48		64	152		8		8	8	16	8	128				32						32									1352
LcR -r	32			16	16		56				16	16	96										8	8								136
LzR -r	120	8		48	8		56		8			8			8		8				8											392
LzM -r	0		16	8	16		48	24		24					8									8								600
LcM -r	80	48		64	80	8	40		8			48				8	16	8	8	8												264

Lz= labranza Cero; Lc=Labranza convencional; R=Rotación; M=Monocultivo; +r= Con residuo; -r= Sin residuo. A: Nematodos; B: Enquitreidos; C: Cochinillas (Isópoda); D: Pescadito de plata (Thysanura); E: Symphyla; F: Ácaro; G: Coleóptera (larva); H: Coleóptera (Curculionidae); I: Coleóptera (Staphylinidae); J: Cienpiés (Chilopoda); K: Colémbolos; L: Larva Díptera; M: Pupa Díptera; N: Hormiga (Himenóptera); O: Coleóptero (Carabidae); P: Araña; Q: indeterminado (Coleóptero); R: Nematoda (Mermithidae); S: Pupa Coleóptera; T: Coleoptero (Elateridae) ; U: Tijerillas (Dermáptera); V: Milpiés (Diplopoda); W: Coleóptero (Scarabeidae); X: Psocóptero; Y: Homóptera (Cicadidae); Z: Coleoptera (Anthicidae); a: Coleóptero (Bostrichidae); b: Coleóptero (Cupedidae); c: Hemíptera (Enicocephalidae); d: Indeterminada Hemíptera; e: Díptera (Phoridae).

En total se identificaron 31 grupos de la macro- y mesofauna del suelo en un cultivo de maíz con diferentes manejos agronómicos, durante tres periodos de muestreo. En la etapa de pre-siembra la densidad de organismos m⁻² fue de 1400 pertenecientes a 26 grupos, siendo los de más importancia la clase Nematoda, Clitellata (enquitreido), Crutacea (Isopoda), Insecta (Thysanura) y Arachnida (Acarina).

En la etapa de desarrollo del cultivo específicamente en la floración, las densidades se incrementaron a 3976 individuos m^{-2} , en 22 grupos funcionales. En tanto que en la fase de descanso se registraron 640 individuos m^{-2} y los grupos funcionales llegaron a un total de 23 (Cuadro 7).

En cuanto a los manejos, la mayor población de macro- y mesofauna de suelo (Figura 5) en las tres fechas de muestreo fue con el uso de LzM+r (2136 individuos m^{-2}) y LzR+r (2072). Ambas poblaciones abarcan 21 grupos funcionales, siendo los más importantes la clase Nematoda, Clitellata, Crustacea (cochinillas), Thysanura y Arachnida (Acarina). En tanto que el uso de LzM-r, disminuyó la población a 448 individuos m^{-2} (Figura 7), donde los principales grupos de artrópodos corresponden a la Clase Insecta (larvas de Dípteros, larva de Coleóptera y Curculionidae), con poblaciones promedio de sólo 67 organismos m^{-2} .

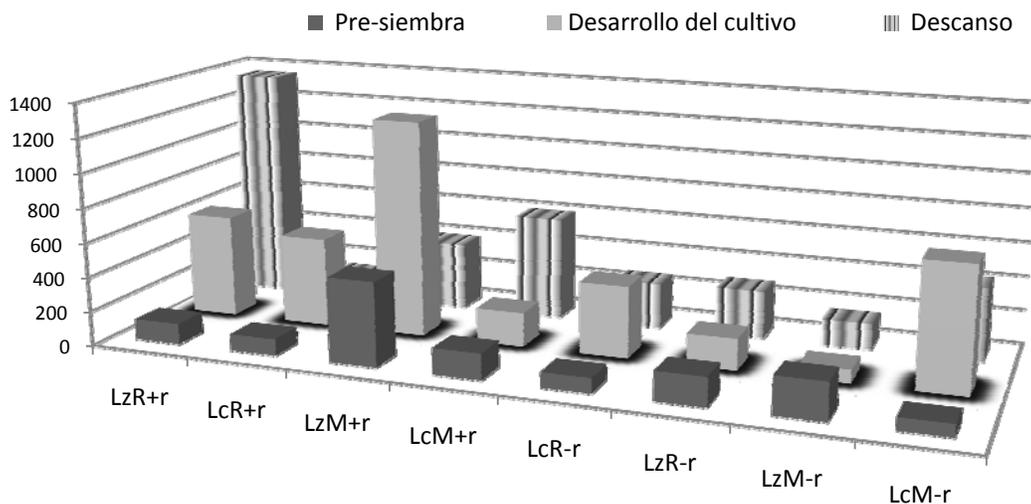


Figura 5: Densidad de macro- y mesofauna en maíz en parcelas de larga duración de 0 a 30 cm, en tres fechas de muestreo (pre-siembra; desarrollo de cultivo; descanso), Lz= labranza Cero; Lc= Labranza convencional; R=Rotación; M=Monocultivo; +r= Con residuo; -r= Sin residuo.

6.2.3 Rotación de cultivo de trigo, maíz y frijol

La presencia de macro- y mesofauna, a una profundidad de 0-30 cm, en un manejo con uso de labranza cero (Lz), dejando el residuo en el campo (+r), pero cambiando el tipo de cultivo (maíz, trigo o frijol), presento durante el período de pre-siembra poblaciones cercanas a los 620 individuos m⁻², con 14 grupos funcionales (Cuadro 8). En tanto que para el periodo de desarrollo de los cultivos (90 días después de la siembra), las poblaciones y grupos funcionales aumentaron a 1552 organismos por m² y 16 grupos, respectivamente (Cuadro 8). Durante la etapa de descanso cuando el terreno no tiene cultivo, las poblaciones tendieron a aumentar a 2240 organismos, pero se mantuvieron los grupos funcionales (16) (Cuadro 8).

Cuadro 8: Densidad de macro y mesofauna en 3 diferentes manejos, de 0 a 30 cm, en tres períodos de medición.

Fauna	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	W	Total	
Lz+rRt			24				8	64	24		8				16			8					8	160	
Lz+rRm			192																	24					216
Lz+rRf			40		88	8			40		40	16				8						8			248
Lz+rRt	144	64		8	8		40	8		8	8	8	8	32	8				8						352
Lz+rRm	152	72		120		112	16	48	8	40			40				40								648
Lz+rRf	200	64		16	16	8	64	16	16	56	24	16		48	8										552
Lz+rRt	432	32			8				32	80		16	32			16		8			8				664
Lz+rRm	904	24		64		128	8	8		40		24	80		8	8	16				8				1320
Lz+rRf	192	8				32				24															256

Nota: Lz= labranza cero; +r= Con residuo; Rt= Rotación con trigo; Rm: Rotación con maíz; Rf: Rotación frijol; A: Nematodos; B: Enquitreido; C: Hormiga (Hymenoptera); D: Colémbolos; E: Cochinillas (Isópoda); F: Milpiés (Diplopoda); G: Ácaro; H: Cienpíes (Chilopoda); I: Araña; J: Symphyla; K: Tijerillas (Dermáptera); L: Coleóptera (larva); M: Pescadito de plata (Thysanura); N: Larva Díptera; O: Coleóptera (Staphylinidae); P: Coleóptero (Carabidae); Q: Nematoda (Mermithidae); R: Psocóptero; S: Coleoptero (Elateridae); T: Coleoptero Cerambycidae; V: Larva Díptera; U: Hemíptera (Enicocephalidae); W: Coleoptero (Tenebrionidae).

Los órdenes más comunes durante los tres períodos de evaluación se concentraron en la clase Nematoda, Symphyla, Insecta (Hymenoptera) y Diplopoda (Cuadro 8).

Los manejos con mayor densidad de macro- y mesofauna de suelo se hallaron con el uso de la rotación con maíz (Rm), que lograron cifras cercanas a los 2200 individuos por m² e involucrados 19 grupos funcionales (Cuadro 6). En tanto que las rotaciones

con trigo y frijol, las poblaciones son similares (1176 y 1056), pero los grupos funcionales fue mayor en trigo con 19 y disminuyo a 16 en un rotación de frijol (Figura 6).

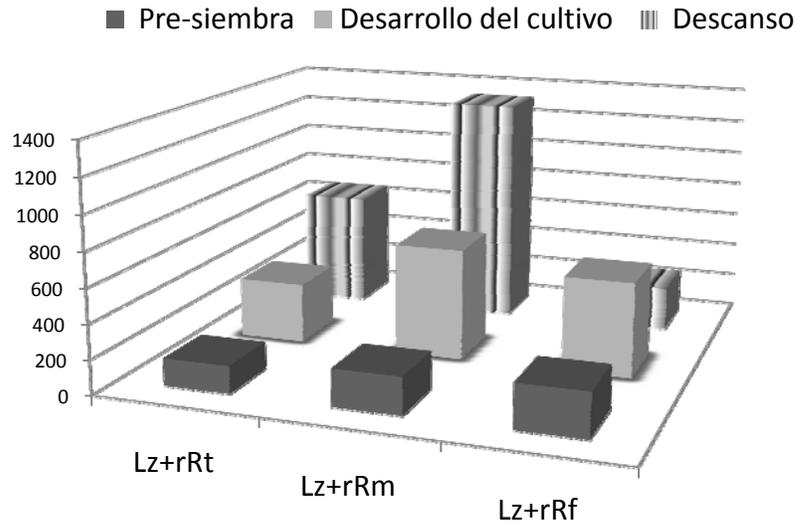


Figura 6: Densidad de macro- y mesofauna en suelo donde se practico labranza cero (Lz), se dejo el residuo (+r) y cambia el tipo de rotación Rt (trigo), Rm (maíz), Rf (fríjol), a una profundidad de 0 a 30 cm, en tres fechas de muestreo (pre-siembra; desarrollo de cultivo; descanso)

6.3. Densidad, biomasa y diversidad de lombrices en diferentes sistemas de manejo

6.3.1 Cultivo de trigo

Densidad de lombrices

En la etapa de pre-siembra la densidad de lombrices en el suelo de 0 a 30 cm con diferentes manejos agronómicos no hubo diferencias entre ellas (Fig. 1), situación atribuida al estado de hibernación de los oligoquetos, que coincide con la etapa de pre-siembra (Lee, 1985), por lo que probablemente el número de individuos fue menor o no sé encontraban en los primeros 30 cm del perfil. Posteriormente ante las lluvias y el

aumento de la humedad del suelo (>21%), se inicia la etapa de estacionalidad o “diapausa”- que es la habilidad que tienen las lombrices de terminar un estado de hibernación como respuesta al aumento de la humedad en el suelo- y continúa con la fase de eclosión de los cocones o huevos (Lee, 1985).

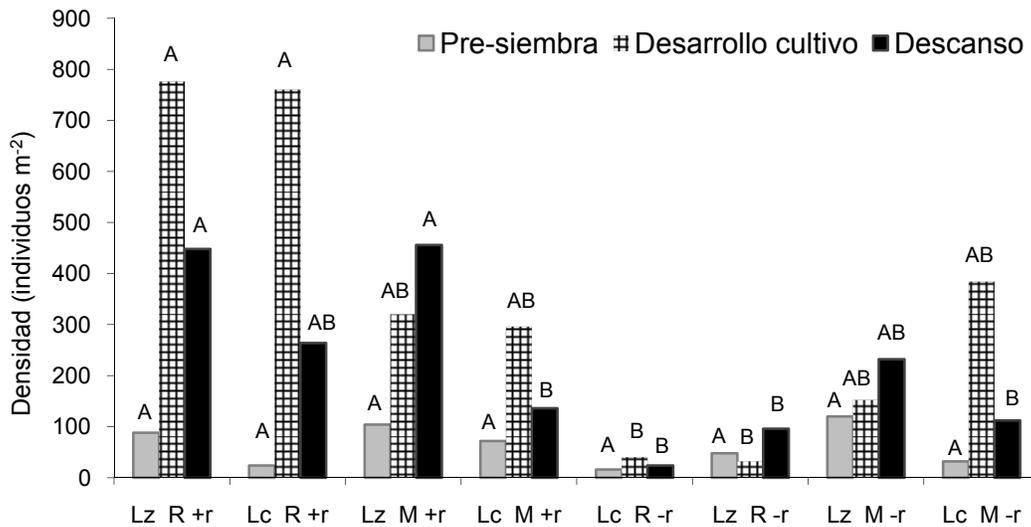


Figura 7: Densidad de lombrices en trigo en parcelas de larga duración de 0 a 30 cm. Lz= labranza Cero; Lc=Labranza convencional; R=Rotación; M=Monocultivo; +r= Con residuo; -r= Sin residuo. Letras distintas indican diferencias significativas ($p \leq 0.05$), que se analiza por separado para cada una de las fechas de muestreo (pre-siembra; desarrollo de cultivo; descanso).

En la mayoría de los manejos, exceptuando las parcela con LzR-r, entre la etapa de pre-siembra y desarrollo del cultivo la población aumento, en promedio unas 5 veces más, lo que se atribuye a las condiciones climáticas favorables para el desarrollo de las lombrices. Temperaturas cercanas a los 17°C, aumento de la humedad del suelo, de 21% a 28% (promedio). Estas condiciones benefician de manera directa, la distribución y actividad de las lombrices, que se desarrollan a temperaturas entre 10-20°C (Curry, 1998) y a una humedad de 19 a 23% (Makeschin, 1999), y de forma indirecta, al influir en su habitat y suministro de alimento, porque la descomposición de la materia orgánica depende de las temperaturas (Lavelle, 1983).

Los manejos con mayor densidad de lombrices durante el desarrollo del cultivo (760 m^{-2}) fueron donde se utilizó LzR+r y LcR+r (Fig. 1). En la misma etapa las parcelas con

monocultivo de trigo, con labranza convencional o cero, con o sin retención de residuos, presentaron densidades medias respecto al resto de las parcelas, en un rango de 152 a 456 lombrices m^{-2} (Fig. 1). Las parcelas con menor densidad poblacional (36 individuos m^{-2}) fueron aquellas con LcR-r y LzR-r (Fig. 1). El aumento de la población no se atribuye a factores como la temperatura o la humedad, que para el caso de los manejos con LzR+r y LcR+r, alcanzó 17.2 °C y una humedad de 24%. Y en tanto que los manejos con menos lombrices (LcR-r y LzR-r), la humedad fue de 24% y la temperatura de 17.4°C. Por lo tanto la diferencia poblacional la atribuimos a la retención de residuo en el suelo al ser una fuente abundante de alimento para los individuos (Doube y Brown, 1998). Paoletti (1999) indica que dejar residuo de cultivo en el suelo mejora la actividad de las lombrices en especial las especies que viven cerca de la superficie del suelo (horizonte orgánico).

En la fase de descanso, las parcelas con mayor densidad de lombrices, 452 por m^2 , fueron las manejadas con LzR+r y LcR+r (Fig. 1). Las poblaciones con un notable detrimento (92 lombrices m^{-2}) corresponden a los manejos, con LcM-r y LcR-r (Fig. 1). Similar respuesta obtuvo Birkás *et al.*,(2004), que señala que el número de lombrices creció en suelos no disturbados, no compactados y donde se retienen residuos en la superficie, por el contrario en suelos deteriorados por la labranza y sin residuos no existe incremento de lombrices.

Integrando la densidad poblacional de las tres etapas de muestreo, la parcela con mayor densidad de lombrices fueron las manejadas LzR+r y LcR+r. Mientras que las parcelas LcR-r y LzR-r, presentaron las poblaciones más reducidas. Los resultados muestran que dejar el residuo en el suelo (+r), es un factor diferencial en las poblaciones de lombrices, porque los residuos aumentan el contenido de humedad independiente del empleo de rotaciones de cultivo y del uso de labranza convencional o cero (Lc y Lz), situación reportada por Figueroa *et al.*, en 1999. El residuo aumenta el contenido de MOS, que es un recurso energético fundamental para mantener las actividades de las lombrices (Doube y Brown, 1998). En cuanto a la rotación de cultivo

Makeschin (1999) reporta que el uso de cereales dos o tres veces tiende a aumentar la abundancia de lombrices.

Fuentes (2009) señala que en las mismas parcelas de CIMMYT, con un cultivo de trigo tuvieron, un porcentaje de MO de 3.7%, en los manejos con Lz+r y Lc+r, lo que coincide con los datos de un mayor número de lombrices, con un promedio de 756 individuos m^{-2} . Esta misma autora, refiere que en estas mismas parcelas sin residuos, el contenido de la MOS disminuye a 1.4% (promedio) de MOS, lo que es consecuente con el número de lombrices que llegó a 27 y 59 individuos m^{-2} , respectivamente.

Biomasa de lombrices

En la etapa de pre-siembra la biomasa de las lombrices en el suelo de 0 a 30 cm fue igual entre las parcelas con diferentes manejos agrícolas (Fig. 2), esto debido a que las lombrices están iniciando sus actividades después de un periodo de hibernación (Lee, 1985). Durante la etapa de desarrollo del cultivo, la mayor biomasa (130 gr m^{-2}) se reportó en la parcela con LzR+r (Fig. 2). El segundo manejo con mayor biomasa fue con LzM+r. El resto de los manejos se caracterizaron por biomasa menor a 30 gr m^{-2} (de 19 a 0.3 gramos m^{-2}). Existe abundante bibliografía (Paoletti, 1999; Makeschin, 1999, Chan, 2001) que señalan que la labranza convencional puede disminuir significativamente la biomasa y la abundancia de las lombrices, principalmente porque la labranza puede perjudicar directamente, e indirectamente al destruir el su ambiente, en especial sus madrigueras, al redistribuir el rastrojo y al cambiar las condiciones físicas del suelo en especial el contenido de agua y temperatura.

En el período de descanso el manejo con la biomasa más alta (58 gramos m^{-2}) fue con LzR+r en comparación con el manejo que implica LcR-r que fue el más bajo con 2 gramos m^{-2} (Fig. 2). Se ha mencionado que el residuo es un recurso fundamental de alimento para las lombrices, que sin él, prácticamente su presencia sería muy baja y también se ha indicado en el párrafo anterior como la reducción de la labranza también tiene un efecto positivo en la biomasa de las lombrices.

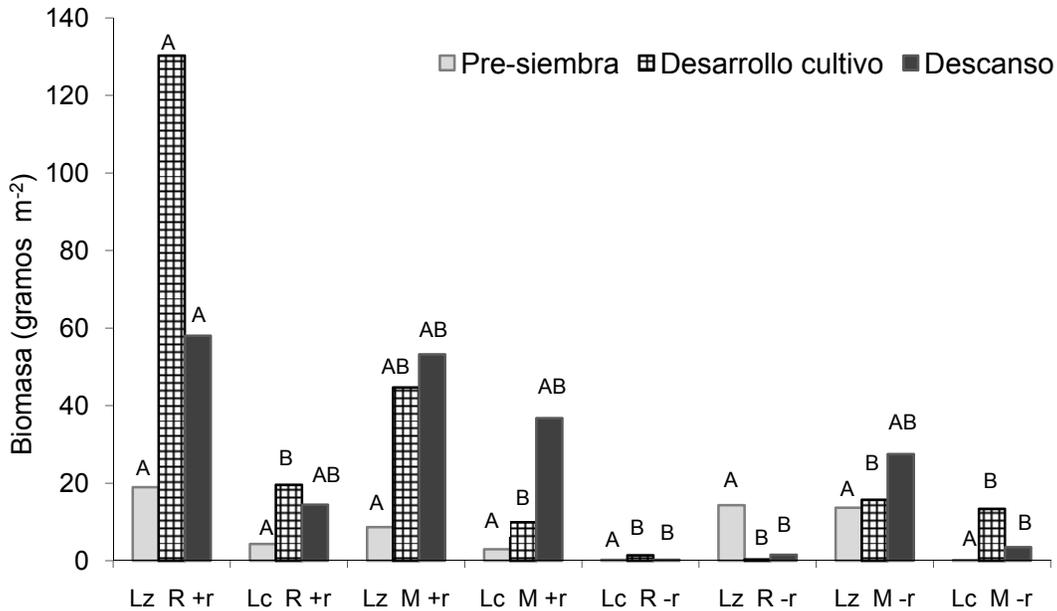


Figura 8: Biomasa de lombrices en trigo en parcelas de larga duración de 0 a 30 cm. Lz= Labranza cero; Lc=Labranza convencional, R=Rotación; M=Monocultivo; +r= Con residuo; -r= Sin residuo. Letras distintas indican diferencias significativas ($p \leq 0.05$), que se analiza por separado para cada una de las fechas de muestreo (pre-siembra; desarrollo de cultivo; descanso).

Integrando los resultados de todas las etapas, las parcelas con LzR+r y LzM+r, presentaron la mayor biomasa (107 y 207 gr m⁻² respectivamente) con respecto a los manejos de LcR-r y LzR-r con menor biomasa, (16 y 2 gr m⁻² respectivamente). Chan (2001) afirmar, que le uso de labranza cero ejerce un efecto positivo sobre las poblaciones de lombrices, principalmente porque promueve la producción de cocones (Jhonson-Maynard *et al.*, 2006) al haber menos disturbios, mejoran las condiciones de temperatura y hay menos pérdida de humedad, que también se atribuyen a la retención del residuo (Govaerts, 2004). Respecto a la rotación de cultivo no hay nada que afirme que el monocultivo es perjudicial para las lombrices, lo importante es mantener una fuente de alimento constante y disponible (residuos del cultivo anterior, residuos de raíces) (Makeschin, 1999).

6.3.2 Cultivo de maíz

En el período de pre-siembra las parcelas con mayor población de lombrices en el suelo de 0 a 30 cm, fueron con LzM+r (336 individuos m^{-2}), respecto a los demás manejos (en promedio 101 lombrices m^{-2}) (Figura3). Esta situación se debería a la reducción de la labranza y la presencia de residuo, que como hemos mencionado trae ventajas físicas a las poblaciones de lombrices (Chan, 2001). En tanto que Makeschin (1999), observó que la abundancia de lombrices aumenta con el uso de cereales año tras año. Lo que queda en duda, es porque esta diferencia poblacional se da en la etapa de pre-siembra, cuando las poblaciones aún no finalizan su estado de hibernación (Lee, 1985).

En el período de desarrollo del cultivo, las parcelas con mayor densidad de lombrices fueron LcR+r, LzR+r, LzM+r (Fig. 3), con un promedio de 1003 individuos m^{-2} . Surge la duda de porque el manejo con Lc tiene una densidad similar en los manejos donde se emplea Lz. Sin embargo los tres comparten la característica de disponer de residuos, este fenómeno lo explica Doube *et al.* (1994, citado por Makeschin, 1999) que menciona que si las lombrices cuenta con residuo suficiente no importa algunas prácticas de cultivo, esto debido a que la mayoría de ellas tolera el impacto negativo del arado cuando se mejora el suministro de comida.

Las densidades menores (302 lombrices m^{-2}) se registraron en todas las parcelas sin residuos y con el uso de LcM+r (Fig 3). Aquí hay un aspecto interesante. Ya hemos comentado que no dejar el residuo, reduce los índices poblaciones de las lombrices. Pero cuando el manejo tiene residuos, la disminución de lombrices se atribuye al factor labranza.

En el período de descanso el número de lombrices fue significativamente mayor en los suelos con LzR+r y LcM+r (504 y 520 individuos m^{-2} respectivamente) en comparación de la parcela con LzM-r con la menor población de lombrices (32 individuos m^{-2}) (Fig. 3).

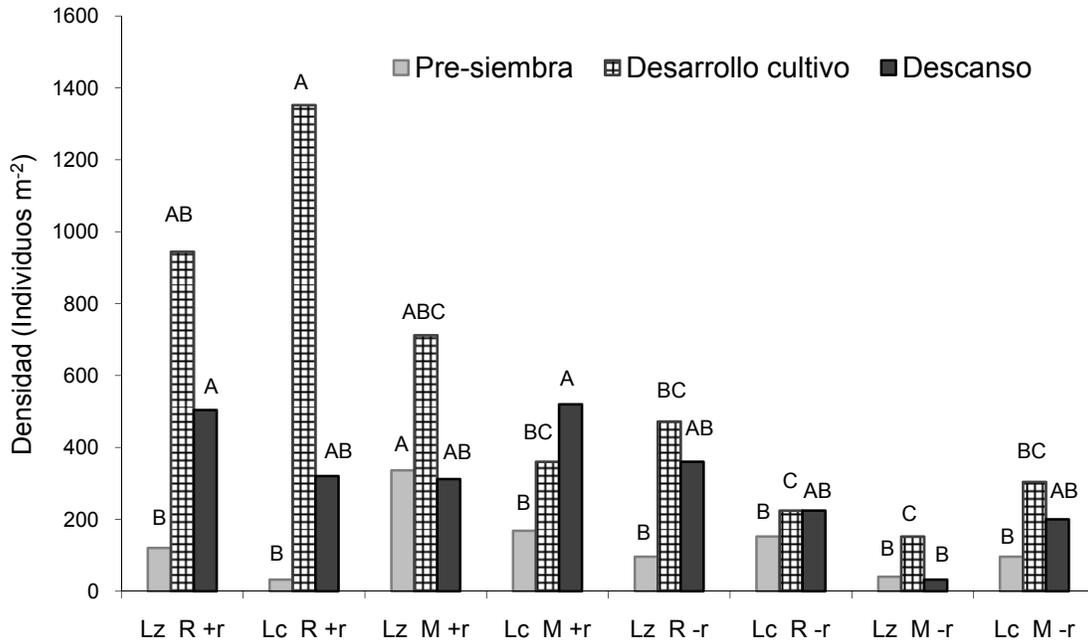


Figura 9: Densidad de lombrices de 0 a 30 cm en maíz en parcelas de larga duración. C=Cero labranza; T=Labranza tradicional, RO=Rotación; MO=Monocultivo; (+)R= Con residuo; (-)R= Sin residuo. Letras distintas indican diferencias significativas ($p \leq 0.05$), que se analiza por separado para cada una de las fechas de muestreo (pre-siembra; desarrollo de cultivo; descanso)

Considerando la población de lombrices de las tres etapas, las parcelas con LzR+r y LcR+r, presentaron el mayor número de individuos, (en promedio 1636 m^{-2}) Los resultados anteriores indican que la mayor cantidad de lombrices en un cultivo de maíz, se da en los manejos donde se mantiene el residuo (+r) y se realiza la rotación de cultivos (R). Los manejos con la menor densidad de lombrices en un cultivo de maíz, utiliza LzM-r (224 lombrices m^{-2}). Hemos mencionado la importancia de mantener el residuo en la superficie del campo, porque esta contribuye de manera directa en la dieta de las lombrices (Stinner y House, 1990), además de brindarles protección y un ambiente adecuado de humedad y temperatura (Lee, 1985). Paoletti (1999) afirma que mantener una cubierta de residuo en el suelo mejora la actividad de las lombrices. También se ha descrito que disminuir la labranza puede llegar a aumentar de 2 a 9 veces la población de lombrices en comparación a un ambiente donde se emplea labranza convencional (Chan, 2001). Pero al parecer estos dos manejos son complementarios,

no considerar a uno de ellos, puede provocar un efecto negativo o disminuir la densidad de población de las lombrices, como ocurre con el uso de LzM-r.

Biomasa de lombrices

En el período de pre-siembra en maíz, la mayor biomasa de lombrices (57 gramos m^{-2}), se registró con LzM+r (Fig. 4) al contrario, las biomásas más reducidas se obtiene con el uso de Lz o Lc, R y -r, con un promedio de 5,3 gramos m^{-2} .

La mayor biomasa durante la temporada de desarrollo del cultivo, corresponde a los manejos con LzR+r y LzM+r con un promedio de 70 gramos m^{-2} . Con el uso de LcR+r, se obtiene una biomasa intermedias de 48 gramos m^{-2} . La biomasa más baja durante esta etapa, con 4.7 gramos por m^2 , se obtiene del uso de LcM-r.

En la etapa de descansó la biomasa más elevada, con un promedio de 45 gramos m^{-2} , es con el uso de LzR+r. En contraste, los manejos que disminuyen la biomasa de lombrices a 7 gr m^{-2} (promedio) corresponden aquellos que emplean LcR-r y LcM-r, disminuyendo la biomasa de lombrices en un 84%.

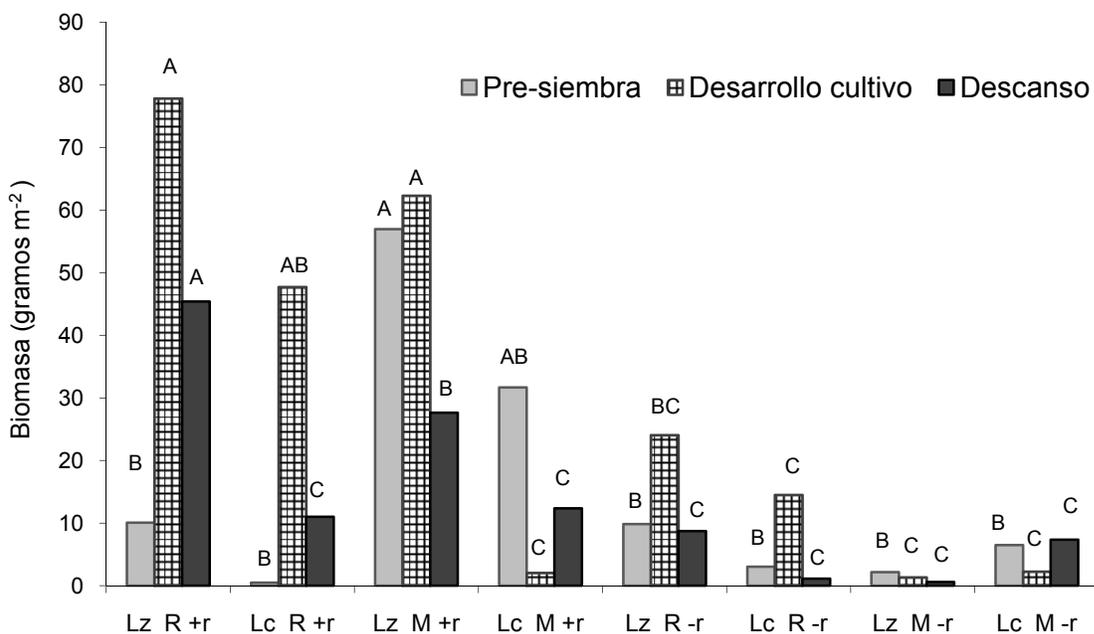


Figura 10: Biomasa de lombrices en maíz en parcelas de larga duración. C=Cero labranza; T=Labranza tradicional, RO=Rotación; MO=Monocultivo; (+)R= Con residuo; (-)R= Sin residuo. Letras distintas indican diferencias significativas ($p \leq 0.05$), que se analiza por separado para cada una de las fechas de muestreo (pre-siembra; desarrollo de cultivo; descanso).

En resumen, los manejo que presentaron, la mayor biomasa de lombrices en el cultivo de maíz (promedio 139 gramos m^{-2}), durante las tres fechas coinciden en aplicar Lz y mantener el residuo (+r). En tanto que el manejo LZM-r presentó la biomasa baja (promedio logra 4 gramos por m^{-2}) (tabla 2).

Cuadro 9: Biomasa de lombrices en maíz bajo diferentes sistemas de manejo comparando el manejo de residuos y la labranza, con el uso de la rotación o del mono cultivo, en parcelas de larga duración en el experimento a largo plazo de CIMMYT en el Altiplano de México

	M	R
Lz (+)R	147 ^A	134 ^A
Lz (-)R	17 ^B	19 ^B

Nota: Lz= Labranza Cero; T=Labranza tradicional, R=Rotación; M=Monocultivo; (+)R= Con residuo;(-)R= Sin residuo. Letras distintas indican diferencias significativas ($p \leq 0.05$).

Lo que muestran que el disminuir la labranza es una práctica que beneficia la obtención de altos niveles de biomasa, pero que aumentaría su potencial si esta se complementa

al dejar en la superficie el residuo por los múltiples beneficios que brinda: a) al mantener la humedad del suelo, requerimiento importante en el suelo porque sus mecanismos de hidratación están pobremente desarrollados, es decir, para que una lombriz cumpla con sus actividades es necesario que su cuerpo se mantenga húmedo, pero a la par su respiración depende de la difusión de gases que se realiza a través de las paredes de su cuerpo, por lo que constantemente pierde agua, Lee, (1985) b) Protección de la luz solar. Las lombrices se lesionan y pueden llegar a morir por exposición a la luz y son particularmente afectadas por la longitud de onda ultravioleta. c) El residuo es una fuente constante de alimento. Pero al hacer la labranza ese residuo se pierde más rápidamente en la mineralización. Debido a que las lombrices tienen una limitada capacidad para moverse, éstas se ven obligados a vivir muy cerca de uno de las fuentes de energía y nutrientes, y d) El rastrojo proporciona estabilidad en la temperatura. La sobrevivencia de las lombrices, está limitada por este elemento atmosférico, aunque la tolerancia depende de las especies, pero en general ellos pueden sobrevivir a exposiciones largas en un rango de 0°C-35°C. Altas temperaturas están asociadas con desecación y estrés por humedad (Lee, 1985; Makeschin, 2002).

6.3.3 Rotación de trigo, maíz y frijol

El resultado de esta prueba se reporta con la justificación de conocer que rotación es más beneficiosa (trigo, maíz y frijol) para las lombrices, utilizando la misma labranza (Lz) y manteniendo el residuo de los cereales.

Así, la densidad de lombrices en los tres periodos de medición (pre-siembra, durante el desarrollo del cultivo y en la etapa de descanso), a una profundidad de 0 a 30 cm, no mostraron diferencias (Tabla 3).

Cuadro 10: Densidad de lombrices bajo un sistema de Labranza cero, retención de residuos y rotación de tres diferentes cultivo en las parcelas de larga duración en el experimento a largo plazo de CIMMYT en el Altiplano de México.

Manejo	Rotación de cultivo	Pre-siembra	Desarrollo de cultivo	Descanso
Lz R +r	Trigo	176 ^A	360 ^A	232 ^A
Lz R +r	Maíz	336 ^A	944 ^A	312 ^A
Lz R +r	Fríjol	264 ^A	1040 ^A	416 ^A

Nota: Lz= Labranza cero; R=Rotación; +r= Con residuo. Letras distintas indican diferencias significativas ($p \leq 0.05$), en tres fechas de muestreo (pre-siembra; desarrollo de cultivo; descanso).

Pero, si promediamos las densidades en los tres períodos de muestreos, obtenemos con el uso de Lz+r y realizando rotación con frijol el número de lombrices es de 1720 m⁻². Con el uso de maíz la población es de 1592 lombrices m⁻² y en trigo disminuye a 768 individuos m⁻².

Los resultados arrojan que las diferencias poblacionales empleando Lz+r pero con el uso de diferentes cultivos se deben a la variada composición química, física, sabor y calidad nutricional de los cultivos (Lee, 1985). Curry (1998), cree que la calidad más que la cantidad real de rastrojo limita las poblaciones de lombrices, porque muchos de los residuos tiene una variación en el contenido N/C hablar de eso en trigo maíz y frijol.

Para las mediciones de biomasa, en la etapa de pre-siembra no hay diferencias entre los diferentes cultivos. Para la época de desarrollo de cultivo el manejo que aplica rotación (R) con frijol, logra tener una biomasa de 127 gramos por m², en comparación con el manejo que aplica maíz donde el promedio es a 57 gramos, ambos son significativamente superiores ($P \geq 0.0051$) a la rotación con trigo que en promedio obtiene una biomasa de 22 gramos por m². Para la etapa de descanso, no hay diferencias significativas entre las biomاسas, pero la tendencia sigue siendo mayor con el uso de frijol, luego maíz y trigo.

Cuadro 11: Biomasa de lombrices bajo un sistema de labranza cero, manejo de residuos y rotación de tres cultivos en parcelas de larga duración del CIMMYT en el Altiplano de México.

Cultivo	Pre-siembra	Desarrollo de cultivo	Descanso
Trigo	50 ^A	22 ^A	25 ^A
Maíz	45 ^A	57 ^B	33 ^A
Fríjol	27 ^A	127 ^B	36 ^A

Nota: C=Cero labranza; RO=Rotación; (+)R= Con residuo. Letras distintas indican diferencias significativas ($p \leq 0.05$), que se analiza por separado para cada una de las fechas de muestreo (pre-siembra; desarrollo de cultivo; descanso).

En general podemos sustraer que con el uso de labranza cero (Lz), dejar el residuo en el campo (+r) y emplear la rotación con un cultivo frijol representa un aumento del 45% más de lombrices, respecto continua el maíz con 32% y finaliza con trigo donde solo es del 23%.

Paoletti (1991), menciona que la diversidad y biomasa de las lombrices depende también del tipo de rastrojo, por ejemplo menciona que los residuos de las coníferas o de los eucaliptos no son atractivos para las lombrices, al contrario de residuos frescos de los bosques y esto se debe principalmente a que el aparato digestivo de la mayoría de las especie de lombrices, no está preparada para digerir lignina u otros productos derivados de la celulosa. Makeschin (1999) también hace alusión que el tipo de residuo influye en selectividad de alimento de las lombrices, este autor ejemplifica que la abundancia de las lombrices es mayor en un cultivo de alfalfa que en pastos *Lespedeza* y estas a su vez sean más digeribles que un cereal de invierno o que un cultivo de soya.

VII CONCLUSIONES

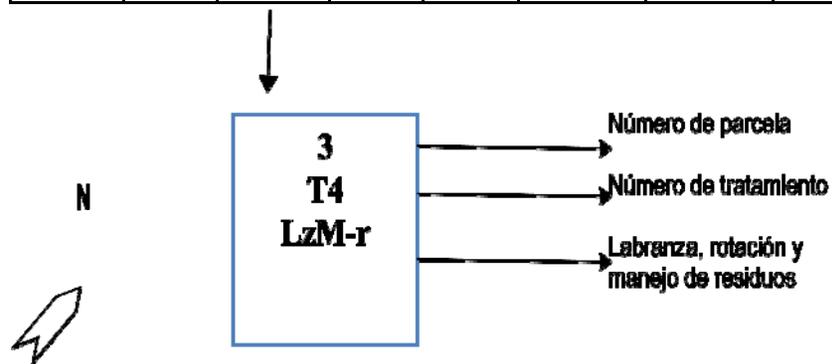
- El número y diversidad de organismos de suelo, en un experimento de larga duración (15 años), fueron diferentes en los ocho manejos aplicados, en los tres periodos de muestreo (pre-siembra, desarrollo del cultivo y en la época de descanso) y con el uso de trigo y maíz. En un cultivo de trigo, el manejo con LzR+r, fue donde hubo mayor densidad de organismos, en tanto que para el caso de maíz fue en los manejos donde se aplicó la LzM+r y LzR+r. Para ambos cultivos la alta densidad se produjo en la época de desarrollo del cultivo (floración) y con una diversidad de 21 grupos. Las poblaciones descendieron para el caso de trigo con el uso de LzR-r y en maíz con LzM-r, la época de menor población se produjo durante el desarrollo del cultivo (floración), disminuyendo además en la misma fecha los grupos funcionales (diversidad).
- La densidad y biomasa de lombrices fueron diferentes en los tres periodos de medición, con el uso de distintos manejos y con el tipo de cultivo. En trigo, los manejos con mayor densidad fueron aquellos manejados con LzR+r y LcR+r. Mientras que los manejos con LcR-r y LzR-r, presentaron las poblaciones más reducidas. En tanto que la biomasa integrando los resultados de todas las etapas, las parcelas con LzR+r y LzM+r, presentaron la mayor biomasa con respecto a los manejos de LcR-r y LzR-r con menor biomasa. Tanto la biomasa como la densidad, fueron mayores en la época de floración del cultivo y descendieron para la etapa de pre-siembra.
- La población de lombrices en un cultivo de maíz, fue mayor en las parcelas con LzR+r y LcR+r. Por el contrario el manejo con el menor número fue con el uso de LzM-r. La biomasa de lombrices fue mejor manejo al aplicar Lz y mantener el residuo (+r). En tanto que el manejo LzM-r presentó la biomasa baja. La biomasa como la densidad, fueron mayores en la época de entrada de la floración y fueron más bajas para la etapa de pre-siembra.
- La edafofauna incluyendo las lombrices, se beneficia con el uso de la Lz más el residuo. Esto se atribuye a que la Lz hay una mínima irrupción y destrucción de la estructura del suelo. En tanto que la retención de residuos, son una fuente abundante y constante de energía. Al contrario usar Lz sin la retención del residuo (-r) provoca un descenso de las poblaciones y de la biodiversidad.

Anexos

ANEXO 1

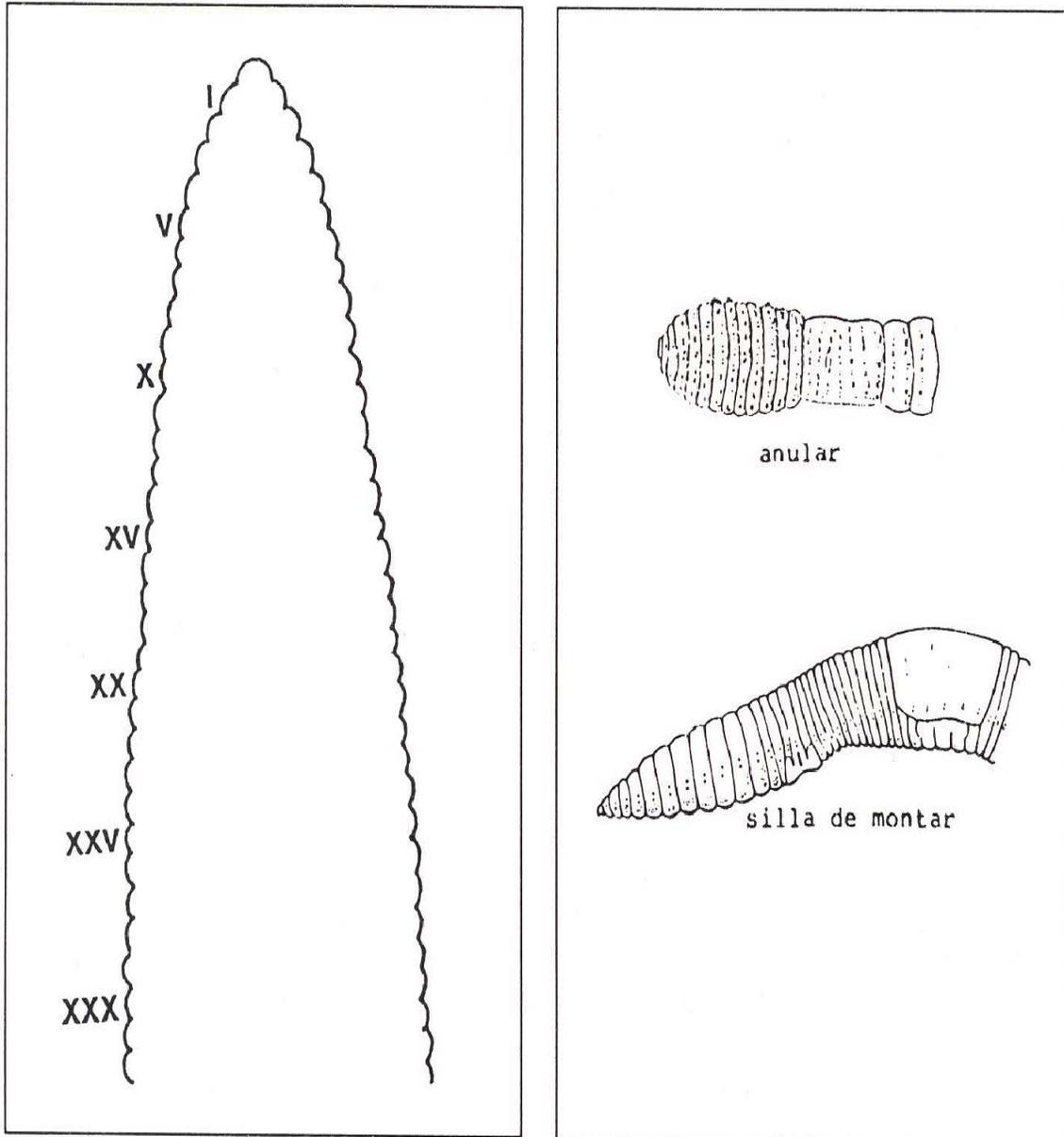
Figura A1: Distribución de los tratamientos en el experimento D-5, Campo experimental “El Batán” (CIMMYT).

49 T13 LzR+r		51 T12 LcM-r		53 T9 LcM+r r	54 T27 LzRKAR B	55 T31 LzRKAR B	56 T32 LzRKAR B		58 T6 LcR-r	59 T7 LzR+r	60 T8 LzR-r				64 T4 LzM-r
Pasillo															
33 T11 LcM+r	34 T16 LcR-r			37 T10 LcM-r r		39 T14 LzR-r	40 T15 LcR+r	41 T5 LcR+r r	42 T3 LzM+r r				46 T2 LzM-r	47 T1 LzM+r r	
Pasillo															
17 T8 LzR-r	18 T7 LzR+r r	19 T2 LzM-r		21 T1 LzM+r r	22 T6 LcR-r	23 T3 LzM+r		25 T11 LcM+r r		27 T27 LzRKAR B	28 T28 LzR+r r	29 T12 LcM-r		31 T9 LcM+r r	32 T31 LzRKAR B
Pasillo															
		3 T4 LzM-r	4 T5 LcR+r r					9 T10 LcM-r r	10 T15 LcR+r r	11 T16 LcR-r		13 T14 LzR-r	14 T32 LzRKAR B		

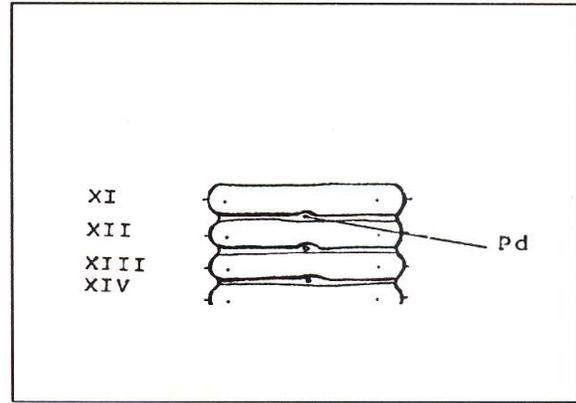
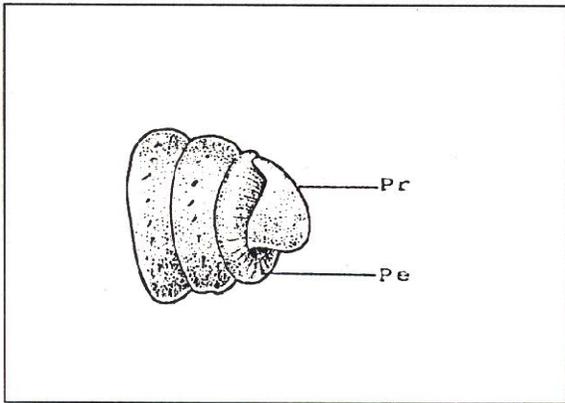


ANEXO 2

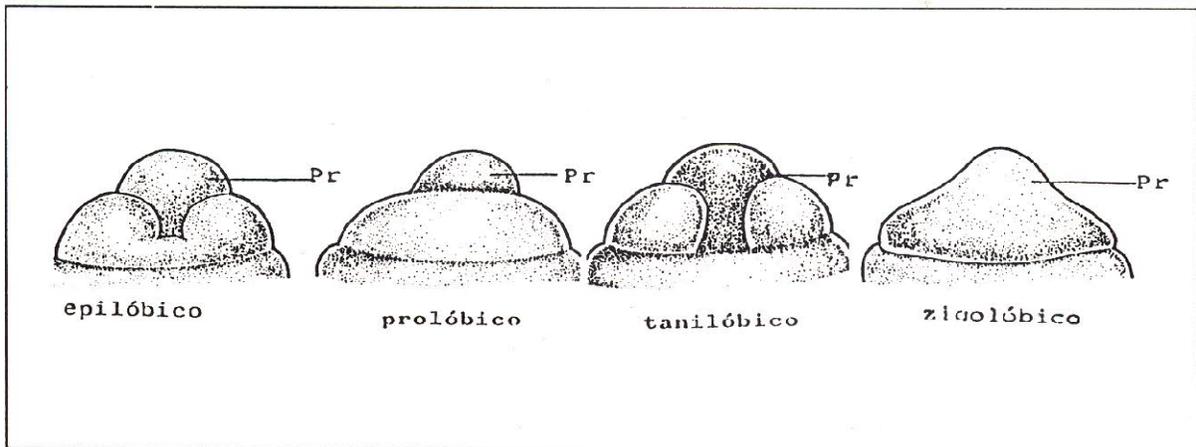
Figura A2: Principales órganos para clasificación taxonómica de lombrices de tierra (*Annelida. Oligochaeta*)



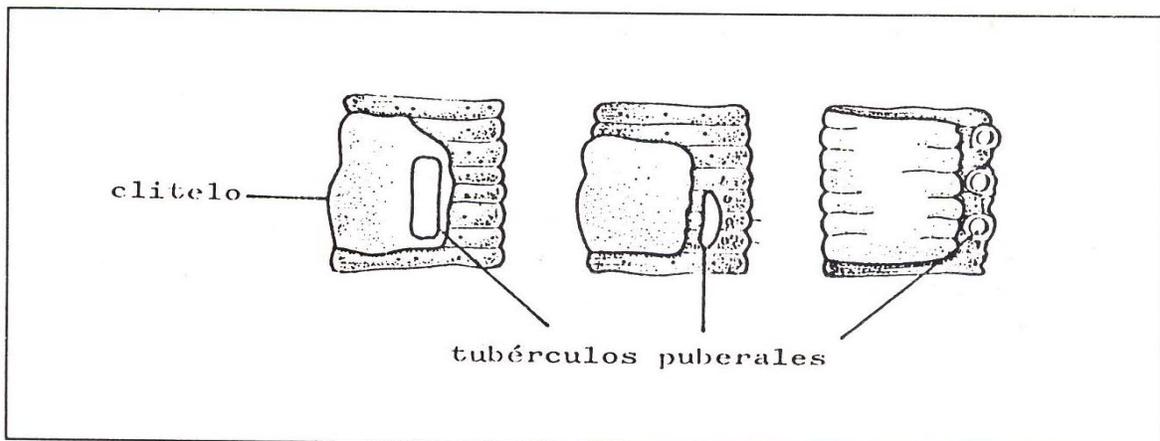
Nota. Los principales partes a observar son: el número de anillos del cuerpo, identificación de la parte anular y reconocimiento del clitelo o silla de montar.



Nota: Forma de parte posterior del cuerpo y los orificios respiratorios de la parte dorsal, son dos características básicas para el reconocimiento taxonómico de lombrices.



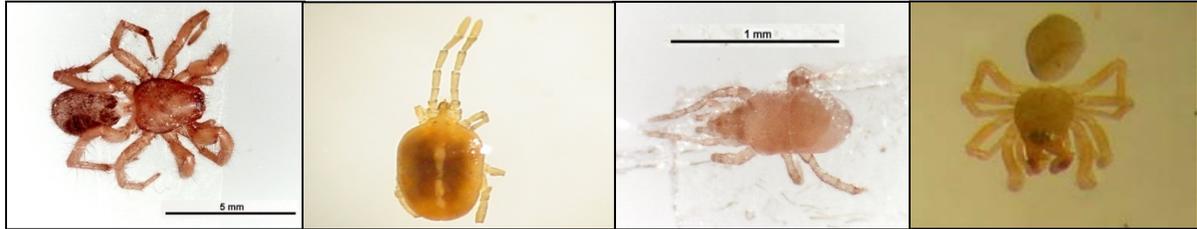
Nota: Distintas formas de la parte posterior del cuerpo, que contribuyen al reconocimiento taxonómico de las lombrices.



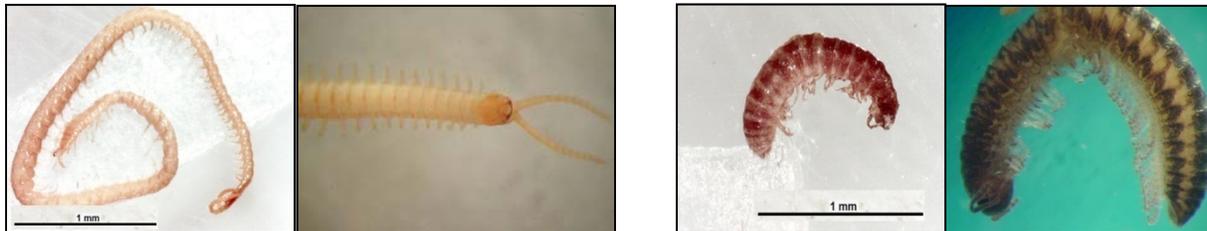
Nota: Distintas formas del clitelo o silla de monta. Permite reconocer el estado de madurez fisiológica y la especie a la que pertenece.

ANEXO 3

Figura A3: Principales organismos de suelo (macro y mesofauna de suelo) encontrados en un experimento de larga duración (CIMMYT).



Nota: Clase Arachnida, Orden Araneae y Acarina



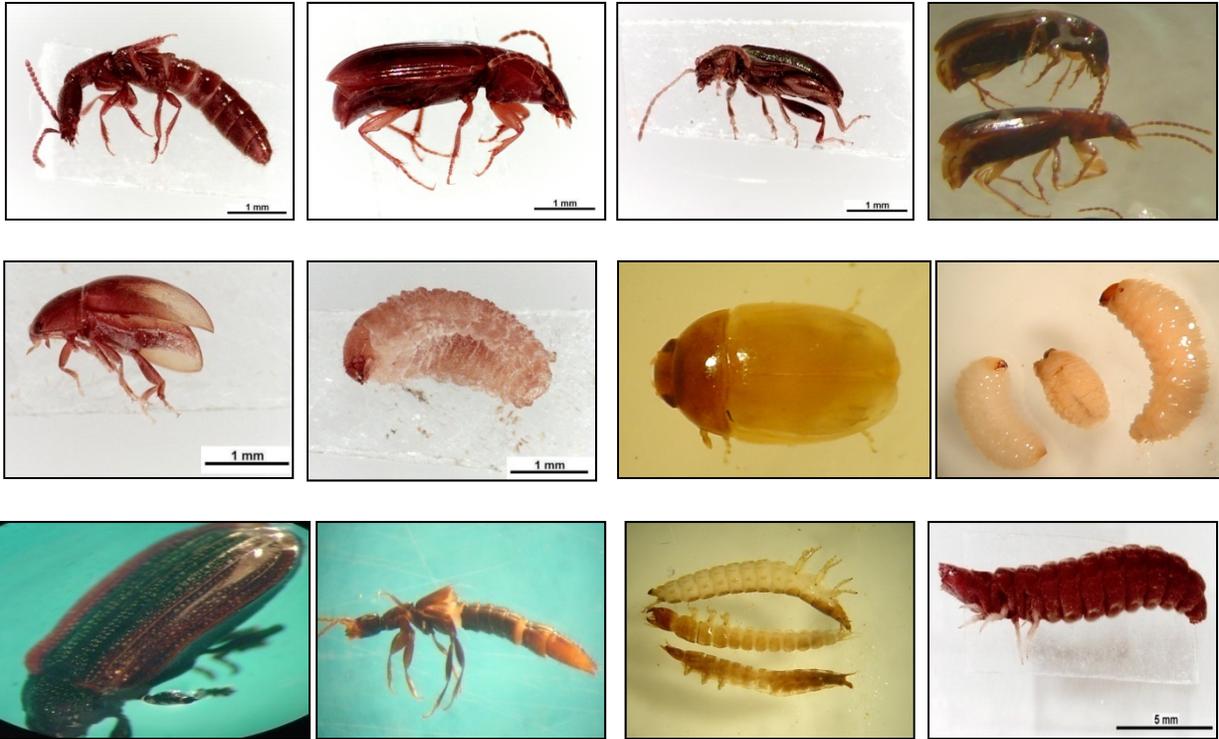
Nota: Clase Diplopoda y Clase Chilopoda



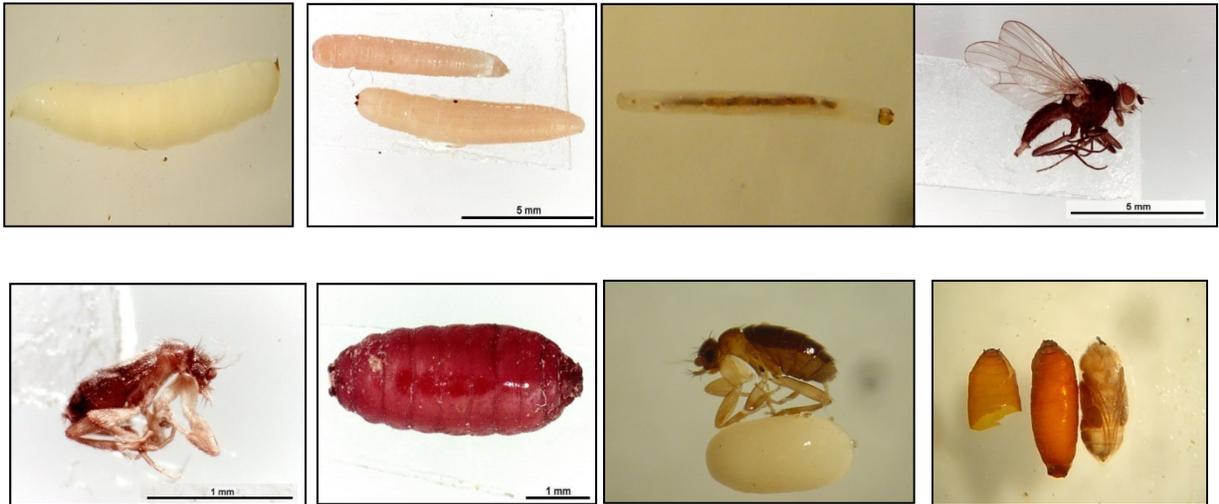
Nota: Clase Malacostraca, Orden Isopoda; Clase Insecta, Orden Collembolla; Clase Insecta Orden Diplura



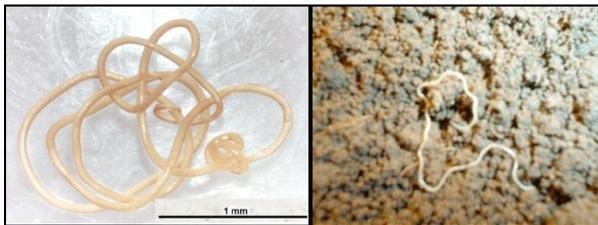
Nota. Clase Insecta, Orden Hemiptera.



Nota: Clase Insecta. Orden Coleoptera



Nota: Clase Insecta. Orden dipetera.



Nota: Clase Nematoda

VIII BIBLIOGRAFÍA

Anderson, J. and Ingram, J., 1993. Tropical soil biology and fertility. A handbook of methods. 2nd. Ed. CAB international, Wallingford. UK., 221.

Astier, M., Maass, J.M., Etchevers J.D., Peña, J. J., De León, F., 2006. Transitional effects of green manure and tillage management on soil quality and productivity in the highlands of Mexico. *Soil and Tillage Research* 88 (1-2), 153-159.

Bai, Z. G., Dent, D. L., Olsson, L. and Schaepman, M. E., 2008. Global assessment of land degradation and improvement. 1. Identification by remote sensing. Report 2008/01, ISRIC – World Soil Information, Wageningen.

Balesdent, J., Arrouays D., Chenu C., Feller, C., 2005. Stockage et recyclage du carbone. In: Girard, M. C., Walter, C., Rémy, J.C., Berthelin, J., Morel, J. I. (Eds.) *Sols et environnement*. Dunod, Paris, 238-261.

Baustista, A., Etchevers, J., del Castillo, R., Gutierrez, C., 2004. La calidad del suelo y sus indicadores. *Ecosistemas*. Vol. XIII, n° 002. Asociación Española de Ecología Terrestre, España.

Baker, G., Buckerfield J., Grey-Gardner R., Merry R., Doube B. 1992. The abundance and diversity of earthworm in pasture soils in the Flourie Peninsula, South Australia. 4th International Symposium on Earthworm Ecology (A. Kretzschmar, ed). *Soil Biology and Biochemistry* 24, 12, 1539-1544.

Bezdicsek, D. and Harris, R. F., 1994. Defining soil quality for a sustainable environment: Descriptive aspects of soil quality/health. Editors J.W. Doran, D. C.

Birkás, M., Jolankai, M. C., Gyuricza, C. and Percze, A., 2004. Tillage effects on compaction, earthworms and other soil quality indicators in Hungary. *Soil and Tillage Research* 78, 185-196.

Boström, U., 1988. Ecology earthworms in Arable Land: Population Dynamics and activity in four Cropping System. Report N° 34. Department of Ecology and Environmental Research, Swedish University of Agricultural Sciences. Uppasala.

Borror, J. D. and White, R. E., 1976. Guide to insects of America North of Mexico. Houghton Mifflin Company Boston. United States, 1200.

Brown, G. G., Fragoso C., Barois I., Rojas P., Patron J. C., Bueno J., Moreno A. G, Lavelle P., Ordaz V. and Rodríguez C., 2001. Diversidad y rol funcional de la macrofauna edáfica en los ecosistemas tropicales Mexicanos. Acta Zoológica Mexicana, número especial 1. Edits. Fragoso C., Reyes Castillo P. Instituto de Ecología A.C. México.

Brussaard, L. 1997. Interrelationships Between soil. Structure, Soil Organisms, and Plants in Sustainable Agriculture. Chapert 1

Brussaard, L., C. de Ruiter P. and Brown G., 2007. Soil biodiversity for agricultural sustainability. Agriculture Ecosystems and environment. 121, 233-244.

Burtelow, A. E., Bohlen P. and Groffman, P., 1998. Influence of exotic earthworm invasion on soil organic matter, microbial biomass and denitrification potential in forest soils of the northeastern United States. Applied Soil Ecology 9, 197-202.

Chan, K. Y., 2001. An overview of some tillage impacts on earthworm population abundance and diversity- implications for functioning in soils. Soil and Tillage Research 57, 159-191.

Coleman, D., Bezdicek, F. and Stewart, B., 1996. Soil Science Society of America, Inc. Wisconsin and American Society of Agronomy, Wisconsin. 23-35

Clapperton, J. M., Miller, J.J. Larney, F.J., 1997. Earthworms populations as affected by long term tillage practices in southern Alberta, Canada. Soil Biology Biochemistry 29 (3, 4), 631-633.

Clements, R. O., Murray, P.J., Sturdy, R. G., 1991. The impact of 20 years absence of earthworms and three levels of N fertilizer on a grassland soil environment. Agriculture Ecosystem. Environment. 36, 75-85.

Coq, S., Bernard, G., Oliver, R., Rabary, B. and Blanchart, E., 2007. Earthworm activity affects soil aggregation and organic matter dynamics according to the quality and localization of crop residues. An experimental study (Madagascar). Soil Biology and Biochemistry 39, 2119-2128.

Crossley, D. A. and Coleman D. C. 1999. Macroarthropods. Soil biology and Biochemistry. Handbook of soil science. Editorial Malcolm. C-65-77.

Csuzdi, C. and Victor V. P., 2007. Redescription of *Allolobophora dugesi getica* Pop, 1947 and its allocation to the genus *Cernosvitovia* Omodeo, 1956 (*Oligochaeta*

Lumbricidae) *European Journal of Soil Biology*, Volume 43, Supplement 1, November, 19-S23

Coyne, M., 2000. *Microbiología de suelo, un enfoque exploratorio*. Editorial Paraninfo, Espana, 416

Curry, J. P., 1998. Earthworms ecology. Factors affecting earthworm abundance in soils. Edited by Clive A. Edwards Soil and water conservation society. Ankeny, Iowa. USA, 37-64

De la Loma, J. L., 1955. *Experimentación agrícola: Operaciones agrícolas en los lotes de experimentales*. Unión tipográfica. Editorial Hispano Americana, México, 388-412.

Desjardins, T., F. Charpentier, B. Pashanasi, A. Pando-Bahuon, P. Lavelle and Mariotti, P., 2003. Effects of earthworm inoculation on soil organic matter dynamics of a cultivated ultisol. *Pedobiologia* 47,835-841.

Doran, J. W. and Parkin T. B., 1994. Defining soil quality for a sustainable environment: Defining and assessing soil quality. Editors J.W. Doran, D. C. Coleman, D. F. Bezdicek, and B. A. Stewart. .Soil Science Society of America, Inc. Wisconsin and American Society of Agronomy, Wisconsin.

Doran, D. C. Coleman, D. F. Bezdicek, and. Stewart. B. A, 1994. .Soil Science Society of America, Inc. Wisconsin and American Society of Agronomy, Wisconsin, 37-51

Doran, W.J and Zeiss, M. R., 2000. Soil health and sustainability: managing the biotic component of soil quality. *Applied Soil Ecology*, volume 15, Issue, 3-11

Doube, B. M. and Brown, G., 1998. Life in a complex community: functional interactions between earthworms, organic matter, microorganisms, and plants. In: Edwards, C. (Ed.), *Earthworm Ecology*. St. Lucie Press, Boca Raton, FL, 179-211.

Doube, B. M. and Shmidt, O., 1997. Can the Abundance or Activity of soil Macrofauna be used to Indicate the Biological Health of soils?. *Biological Indicators of soil Health*. Editors C. Pankhurst, B. Doube and V. Gupta. CAB International, 265-295.

Edwards, C.A., and Bohlen, P.J. 1996. *Biology and Ecology of Earthworms*. Chapman & Hall, London. 426

Edwards, C.A. 1997. The Use of Earthworms in the breakdown and management of organic wastes. *Soil and Water Conservation Society*. Editor Clive A. Edwards. St. Lucie Press.327-355.

Eisen, G., 1896. Pacific Coast Oligochaeta. Memoires of the California Academy of Sciences, 2 (5), 123-198.

Eisen, G., 1900. Researches in American Oligochaeta with especial reference to those of the Pacific Coast and adjacent islads. Proceedings of the Californian. Academy of Sciences, 2, 85-276.

Feijoo, A., Knapp E.B., Lavelle P., Moreno A.G., 2001. Quantifying Soil Macrofauna in a Colombian Watershed. Soil Macroinvertebrate. Communities in the Neotropical Savannas of Colombia. Editors Jimenez J. and Richard T. Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT). Colombia.

Figuroa, B. y Morales F. J., 1999. Manual de producción de cultivos con labranza de conservación. CREZAS. CP. SLP. México, 272.

Fragoso, C., 2001. Las lombrices de tierra de México (Annelida, Oligochaeta): diversidad, ecología y manejo. Acta Zoologica Mexicana: diversidad, function y manejo de la biota edáfica en México. Número especial 1. Editores C. Fragoso y P. Reyes-Castillo. México, 162-171.

Fuentes, M., 2005. Evolución de las propiedades del suelo Cumulic Phaozem sometido a diferentes sistemas de manejo en un experimento de larga duración. Tesis de Maestría. Colegio de Postgraduados. México.

Fuentes, M., Govaerts, B., De León, F., Hidalgo, C., Dendooven, L., Sayre K. D., Etchevers J., 2009. Fourteen years of applying zero and conventional tillage, crop rotation and residue management systems and its effect on physical and chemical soil quality. European journal of Agronomy, Volume 30, Issue 3, 228-237.

Gavande, A. S., 1972. Física de suelos, principios y aplicaciones. Centro Regional de Ayuda Técnica. Agencia para el desarrollo Internacional. México, 351.

Gilot, C., 1997. Effects of a tropical geophagous earthworm, *Millsonia anomala* (Megascolecidae), on soil characteristics and production of a yam crop in Ivory Coast. Soil Biology and Biochemistry 29, 353-359.

Govaerts, B., Sayre, K. and Dekers J., 2005. Stable high yields with zero tillage and permanent bed planting. In press Field Crops Research.

Greig-Smith, P.W. 1992. Risk assessment approaches in the U.K. for the side effects of pesticides on earthworms. In Ecotoxicology of earthworms, P.W. Greig-Smith et al. (eds), pp 159-168. Intercept Ltd., Hants. U.K.

Gregorich, E.G., Carter, M.R., Angers, D.A., Monreal, C.M., Ellert, B.H., 1994. Towards a minimum data set to assess soil organic matter quality in agricultural soils. *Can. J. Soil science*. 74, 367-385.

Gugino, B. K., Idowu, O. J., Schindelbeck, R. R., van Es, H.M., Wolfw, D.W., Thies, J.E. and Abawi, G.S. 2007. *Cornell Soil Health Assessment Training Manua*, Edition 1.2., Cornell University, Geneva, NY.

Hendrix, P., 1999. Earthworms. *Handbook of soil Science*. Editor Malcolm E. Summer. Miller Projection.

HGCA (Home Grown Cereals Authority), 2008. *Beneficials on farmaland: identification and management guidelines*. Editede by Edwards, HGCA and G. Dodgson, Chamnerlain. London.

Hillel, D., 1998. *Environmental Soil Physics*. Academic Press, San Diego

IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change), 2007. *Cambio climático 2007. Informe síntesis. Contribución de los grupos de trabajo I, II y III al cuarto informe de evaluación de grupo intergubernamental de expertos sobre cambio climático*. Eds. Pachuari R. y Reisingir A. IPCC. Ginebra, Suiza, 104.

Johnson-Maynard, J. L., Umiker K.L. and Guy S. O., 2006. Eathworms dynamics and soil physical properties in the first three years of no-till management. *Soil and Tillage Research* 94, 338-345.

Karlen, D.L. Wollwnhaupt, N.C., Erbach, D. C., Berry, E.C., Swan, J.B., Eash, N.S., Jordahl, J.L., 1998. Long term tillage agroecosystems. *Soil Tillage. Res.* 5, 351-360.

Kalra, X. P. and Maynard D. G., 1991. *Methods manual forest soil and plant analysis*. Northwest. Reg. North for Cent. Alberta Canada.

Killham, K., 1994. *Soil Ecology*. Cambridge University Press, UK

Kladivko, E.J., 2001. Tillage Systems and soil ecology. *Soil and Tillage Research*. 61, 61-76.

Kladivko, E.J., Akhouri, N.M., Weesies, G., 1997. Earthworm populations and species distributions under no till and conventional tillage in Indiana and Illinois. *Soil Biology. Biochemistry*. 29, 613-615.

Lal, R., and Stewart, B.A., 1990. Soil degradation. Vol. II -Advances in soil science. New York: Springer-Verlag.

Larson, W. E. and Pierce, F. J., 1994. Defining soil quality for a sustainable environment: The dynamics of soil quality as a measure of sustainable management. Editors J.W.

Lavelle, P. 1983. The soil fauna of tropical savannas. I. The community structure. II. Earthworm communities. p. 477-484 and 485-497. In F. Bourlière (ed) Tropical Savannas. Elsevier, New York.

Lavelle, P., Decaëns, T., Aubert, M., Barot, S., Blouin, M., Bureau, F., Margarie, P., Mora, P., Rossi J.P., 2006. Soil invertebrates and ecosystem services. European Journal of soil Biology, volumen 42, Supplement 1, S3-15.

Lavelle P., E. Barros, E. Blanchart, G. Brown, Thierry Desjardins, L. Mariani and Rossi.J. P., 2001. SOM management in the tropics: Why feeding the soil macrofauna?. Nutrient Cycling in Agroecosystems 6: 53-61.

Lee, K. E., 1985. Earthworms, their ecology and relationships with soil and land use: Earthworms and their environment. CSIRO. Division of soils. Academic Press. Australia. 3-32.

Linden, D., Hendrix, P., Coleman, D. and Van Vliet, P., 1994. Faunal indicators of soil quality. Soil Science Society of America. Special publication. J.35, 91-110.

Masera, O. R. Astier, M., López-Ridaura, S., 1999. Sustentabilidad y Manejo de Recursos Naturales: el marco de evaluación MESMIS. GIRA. Mundi-Prensa e Instituto de Ecología- UNAM, México.

Makeschin F. 1999. Earthworms (Lumbricidae Oligochaeta) Important Promoters of soil Development and soil fertility. Recycling processes nutrient fluxes and Agricultural production. Edited by Gerobenckinser, Marcel Dekker, INC. USA.

Mele, P. M. and Carter, M., 1999. Impact of crop management factors in conservation tillage farming on earthworm density, age structure and species abundance in South-Eastern Australia. Soil Tillage. Res. 50, 1-10.

Miller Tyler, 2007. Sustaining the earth: a integrated approach. International Thomson, 8^a edition. USA. 216.

Mischis C., 1991. Las lombrices de tierra (Annelida, Oligochaeta) de la provincia de Córdoba, Argentina. Boletín de la Academia Nacional de Ciencias. Tomo 59, entregas 3^{era} – 4^{ta}. Córdoba, Argentina.

Nebel, J. y Wright R. T., 2001. Ciencias ambientales. Ecología y desarrollo sostenible. El ecosistema del suelo. Sexta edición. Prentice Hall. México. 211-235.

OCDE (Organisation for Economic Cooperation and Development), 2001. Agro biodiversity indicators. Proceedings from an OECD expert meeting. Zurich, Switzerland.

Paoletti, M., 1999. The role of earthworms for assessment of sustainability and as bioindicators. Agriculture Ecosystems and Environment 74, 137-155.

Paoletti, M. G., Favretto, M. R., Benjamin R., Stinner F.F., Purrington, J.E., Bater L., 1991. Invertebrates as bioindicators of soil use. Agriculture, Ecosystems and Environment, volume 34, Issue 1-4, 15. 341-362

Parmelee, R. W., Bolen, P.J. and Blair J., 1998. Earthworms and nutrient cycling processes: Integrating across the ecological hierarchy. In: Edwards, C. (Ed.), Earthworm Ecology. St. Lucie Press, Boca Raton, FL, 179-211.

Parmelee, R. W., Beare, M. H., Hendrix, W., Rider, P., Crossley, J., and Coleman D., 1990. Earthworms and enchytraeids in conventional and no-tillage agroecosystems: a biocide approach to assess their role in organic matter breakdown. Biology and Fertility of soils 10, 1-10.

Raven, P., 1992. Global biodiversity strategy: The nature and value of Biodiversity. World Resources Institute (WRI), the World Conservation Union (IUCN) and Environment United Nations Programme (UNEP). USA.

Reeleder, R. D., Miller, J., Ball Coelho B., and Roy, R., 2006. Impacts of tillage, cover crop, and nitrogen on populations of earthworms, micro arthropods, and soil fungi in a cultivated fragile soil. Applied Soil ecology 33, 243-257.

Riley H., Pommersche, R., Eltun, R., Hansen S., and Korsæth A., 2008. Soil structure, organic matter and earthworm activity in a comparison of cropping systems with contrasting tillage, rotations, fertilizer levels and manure use. Agriculture, Ecosystems and Environment 124, 275-284.

SAS Institute Inc., 1987. SAS/STAT™ Guide for Personal Computers. SAS Institute INC., Cary, NC.

SP-IPM, 2004. Soil biota and sustainable agriculture: challenges and opportunities. IPM Research Brief No 2. SP-IPM Secretariat, International Institute of Tropical Agriculture (IITA); Cotonou, Benin.

Scherr, S. J., 1999. Soil Degradation. A Threat to Developing-Country Food Security by 2020. International Food Policy Research Institute- IFPRI. Washington. USA.

Six, J., Feller, C., Denef, K., Oglan, S.M., Moraes Sa, J.C., and Albrecht, A., 2002. Soil organic matter, biota and aggregation in temperate and tropical soils-effect of no tillage. *Agronomies* 22, 755-775.

Sims, R. W., and Gerard B. M., 1985. Earthworms. Synopses of the British Fauna. Editors D. M. Kermack y R.S. K. Barnes. The Linnaean Society of London and The estuarine and Brackish-water Sciences Association. U.K., 47-50.

Schmidt, O., Clements, R. O., Donaldson, G., 2003. Why do cereal-legume intercrops support large earthworm populations? *Appl. Soil Ecology* 22, 181-190

Stinner, B.R. and House, G. J., 1990. Arthropods and other invertebrates in conservation-tillage agriculture. *Ann. Rev. Entomology* 35, 299-318.

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

Swift, M. J., 1998. The Biology and Fertility of Tropical Soils. Report 1997-1998. UNESCO, UN complex. Nairobi, Kenya.

Tomlin, A. D., Shiptalo, M.J., Edwards, W.M., Prtz, R., 1995. Earthworms and their influence on soil structure and infiltration. In: Hendrix, P.F. (Ed.), *Earthworm Ecology and Biogeography in North America*. Lewis Publishers, Boca Raton, FL, 159-183.

Ude, H. 1895. Uber zwei neue Lumbriciden-arten aus Norfamerika. *Zool. Anz.* 18: 339

Velasquez, E., Lavelle, P. and Mercedes A., 2007. GISQ, a multifunctional indicator of soil quality. *Soil Biology and Biochemistry*, volume 39, Issue12, 3066-3080.

WWF (World Wide Fund for Nature, 2005. Annual Report. World bank Alliance for forest Conservation and sustainable use.

Wood, S., Sebastian, K., and Scherr, S., 2000. Pilot Analysis of Global Ecosystems: Agroecosystems, A joint study by International Food Policy Research Institute and

World Resources Institute, International Food Policy Research Institute and World Resources Institute, Washington D.C.

Zlontnik, H., 2009. World population to exceed 9 billion by 2050. Estimates and projections. Sections population. Division United Nations Room. New York. USA.