



BENEMÉRITA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE PUEBLA

ESCUELA DE BIOLOGÍA

**COMUNIDADES DE LOMBRICES DE TIERRA EN LA
REGIÓN NOCHIXTLAN-TILANTONGO, OAXACA.**

Tesis que para obtener el título de

LICENCIATURA EN BIÓLOGIA

PRESENTA:

MARTHA DENICE MENDOZA VALERO

DIRECTOR :DR. DIONICIO JUÁREZ RAMÓN



ENERO 2016

Acta de Autorización

Agradecimiento

Agradezco principalmente a mis abuelos quienes con mucho sacrificio lucharon por mí y mis hermanas; por confiar en mí, por enseñarme a ser lo que hoy soy, por todo su amor, su paciencia y esfuerzo, sin ellos seguramente hoy no estaría donde estoy.

A mi madre Lourdes le agradezco por su amor infinito y su apoyo, mami te amo y las mejores cosas de la vida requieren mayor sacrificio

A mis hermanas por su paciencia, por aguantarme y amarme, a mi hermana Mary por su apoyo por no dejarnos solos, por su noble corazón y por su dedicación, la vida te recompensará; a mi hermana Mayra por soportar mi mal carácter y mis malas rachas.

A mis hermanos que son parte fundamental de mi vida, Jona tú llegarás lejos si te lo propones.

A mi gran familia que siempre en buenas y malas rachas hemos salido adelante y estamos siempre juntos.

Al Doctor Dionicio Juarez Ramón por la confianza que tiene en mí, por sus consejos, su apoyo y sus conocimientos que son el cimiento de esta tesis. A la VIEP por otorgarme la beca que recibí durante la tiempo que hice la tesis.

Agradezco a la Universidad Autónoma de Puebla, a la Escuela de Biología y a mis profesores por infundirme el amor a la vida.

Lore muchas gracias por compartir conmigo tu vida, gracias por tu confianza y tu cariño; gracias a todos mis grandes amigos porque estuvieron cuando más eran necesarios, Paco, Ángel, Gera, Rubí, Vicky, Nora, Edgard, May, Ithan, Viry, Ovidio, George, Sandy y todos aquellos que forman parte de mi vida.

Esta tesis es dedicada a mis sobrinos que son mi mayor tesoro y a mis abuelos que sin duda alguna son mi fuerza para luchar todos los días.

ÍNDICE

	página
INTRODUCCIÓN	1
La biota edáfica	2
Características generales de las lombrices de tierra.	3
ANTECEDENTES	6
Categorías ecológicas	7
Importancia de las lombrices de tierra.	8
Distribución de lombrices de tierra en México	10
Registro de comunidades de lombrices de tierra para el estado de Oaxaca	11
Dinámica de las especies nativas vs exóticas	12
Efectos antropogénicos sobre las comunidades de lombrices de tierra	13
Efectos ecológicos de las lombrices de tierra	15
Potencialidades de las especies de lombrices de tierra	17
Planteamiento del problema	18
OBJETIVOS	20
General	20
Particulares	20
HIPÓTESIS	20
MATERIALES Y MÉTODOS	21
Sitio de estudio y descripción ambiental.	21
Características descriptivas ambientales de la región	22
Fisiografía	22
Suelos	22
Hidrografía	23
Clima	23
Vegetación	23
Diseño de la investigación	24
Muestreo en campo	26
Análisis en Laboratorio	27
Identificación de especies	27
Variables de comparación	28
Análisis estadístico	28
RESULTADOS	30
Caracterización de especies nativas y exóticas	30
Distribución de especies y categorías ecológicas	31
Densidad	32
Abundancia de especies	34

Biomasa	35
Dominancia de especies	36
Preferencia de las lombrices de tierra en cuanto a la cobertura vegetal.	38
Hojarasca	38
Factores ambientales	39
Humedad	39
pH	40
Temperatura	41
Suelo	42
DISCUSIÓN	44
Categorías ecológicas	45
Importancia de las lombrices de tierra	46
Distribución de lombrices de tierra en el estado de Oaxaca	48
Especies	50
Factores ambientales.	50
Comunidad de lombrices de tierra en Bosque natural.	51
Comunidades de lombrices de tierra en Pastizales	52
Comunidad de lombrices de tierra en Cultivos	52
Comunidad de lombrices de tierra en parcelas abandonadas	53
Comunidades de lombrices de tierra de en Parcelas en Rehabilitación	53
Supuestos	53
CONCLUSIONES	56
LITERATURA CITADA	58
APENDICES	65
Apéndice 1.- Caracterización morfológica de las especies nativas y exóticas.	65
Apéndice 2.- Ambientes	68

ÍNDICE DE CUADROS

	página
Cuadro 1.- Especies que se ubicaron en la región de estudio.	32
Cuadro 2.-.- Distribución de lombrices de tierra por cada ambiente, el bosque natural al igual que el pastizal presenta cuatro de las seis especies registradas	
Cuadro3.Densidad de especies de lombrices de tierra; especies por cada tipo de ambiente, y sus relativos valores del análisis de varianza.	33
Cuadro 4. Distribución de la biomasa (g m ⁻²) de las especies de lombrices de tierra, en los diferentes ambientes, donde se muestra el peso en gramos por cada especie encontrada en cada uno de los cinco ambientes diversos.	36
Cuadro 5. Especies de nativas en porcentajes de abundancia y sus valores en cuanto a los factores ambientales que se consideraron para el estudio.	37
	48

ÍNDICE DE FIGURAS

	página
Figura 1.- Ubicación del municipio de Nochixtlan en el estado de Oaxaca, el cual se ubica en el suroeste del nudo Mixteco.	22
Figura 2.- Ubicación de la región de estudio (región Nochixtlan-Tilantongo), dentro del estado de Oaxaca.	25
Figura 3.- Sitios de muestreo, a) Bosque natural, b) Pastizal, c) Cultivo, d) Parcela abandonada y e) Parcela en rehabilitación.	25
Figura 4. Monolitos de los cuales se extrajeron de forma manual las lombrices de tierra. Las dimensiones fueron de 25 x 25 x 30 cm de profundidad, en algunos	27
Figura 5.-Distribución de las especies de lombrices de tierra, en la región Nochixtlan-Tilantongo, Oax., en los diferentes ambientes en estudio. a) Por su origen, b) Por categorías ecológicas.	31
Figura 6.- Densidad de individuos por m ⁻² , se evidencia claramente mayor número de individuos en el ambiente pastizal, seguido por el bosque natural, cultivos, parcelas en rehabilitación y en el último lugar se ubica el ambiente parcelas abandonadas.	33
Figura 7.- Distribución de especies por ambiente, se observa claramente la cantidad de especies que presenta cada ambiente y el número de individuos por cada uno de ellos.	35
Figura 8.- Densidad (individuos por m ⁻²) y biomasa total (g m ⁻²) de lombrices de tierra en los 5 ambientes estudiados.	36
Figura 9.- Abundancia de especies de la región de Nochixtlan, no se considera el ambiente en el que esta si no cuál es su abundancia con respecto al número de individuos.	38
Figura 10.- Representación gráfica de la cantidad de materia seca en gramos (Hojarasca) obtenida en cada ambiente, se nota claramente las diferencias entre cada ambiente; cabe destacar que en las parcelas en rehabilitación se están formando nuevos bosques.	39
Figura 11.- Humedad por ambientes representada en los meses con mayores niveles de humedad y estiaje, las líneas marcadas con color azul cada una respectivamente de acuerdo al ambiente disgregándose BN y P del resto.	40
Figura 12. Factor de pH en cada uno de los ambientes, donde se muestra más neutro en el ambiente de cultivos	41
Figura 13.- Temperatura de cada tipo de ambiente indicando el mes donde se llevó a cabo el muestreo, el ambiente PA muestra claramente un disparo en la temperatura en los meses de agosto.	42
Figura 14.- Texturas de suelo representadas por cada ambiente; en la gráfica se logra apreciar que el porcentaje de arcilla en todo los ambientes está muy por debajo del de arena y limo.	43

RESUMEN

Se presenta una evaluación de las comunidades de lombrices de tierra en la región de Nochixtlan-Tilantongo, Oaxaca, perteneciente a la Mixteca alta oaxaqueña, comunidad que en la actualidad enfrenta severos problemas de degradación y erosión de suelo y pérdida acelerada de vegetación a pesar de la baja precipitación media anual presente en la región. La presente investigación se realizó en cinco diferentes ambientes dentro de la misma región nombradas como: Bosque natural, Pastizal, Cultivo, Parcelas abandonadas y Parcelas en rehabilitación; con el objetivo de diagnosticar y reconocer el estado en el que se encuentran las comunidades de lombrices de tierra, que debido a la importancia que tienen en los ecosistemas y a que son consideradas ingenieras edáficas, por sus intervenciones en los procesos de descomposición de los materiales orgánicos y a los efectos en la física del suelo, pueden ser potenciales en la rehabilitación de suelos, para ser integrados al programa de rehabilitación que lleva a cabo el CEDICAM (Centro de Desarrollo Integral Campesino de la Mixteca). La investigación comprende la identificación de las especies presentes, sus poblaciones (diversidad y abundancia), la relación con las variables ambientales y la adaptación que presentan a las fuertes restricciones de humedad y el alto grado de erosión de la región. Dentro de los muestreos se aplicó el método de Tropical Soil Biology and Fertility Program (TSBF), el cual consistió en excavar monolitos de 25x25x30 cm, separados a cada cinco metros, hasta contar 36 en la región de estudio. Como resultados se registraron siete especies de lombrices de tierra, 5 nativas y dos exóticas (*Octolasion cyaneum* y *Eisenia rosea*), de la familia Lumbricidae, encontradas en el Pastizal, principalmente. Las cinco especies nativas presentan características morfológicas de la familia Acanthodrilidae donde la morfoespecie nativa 1 domina todos los ambientes y con una mayor densidad, dicha especie podría ser la potencial para la aceleración de la rehabilitación del ecosistema nativo de la región. De acuerdo a las categorías ecológicas, se registró una sola especie nativa epigea, encontrada en el Bosque Natural. En relación a la abundancia, el Pastizal tuvo la mayor cantidad de

individuos y la mayor biomasa; y junto con el bosque natural se registró la mayor diversidad de especies. Se sugiere realizar la identificación taxonómica de las especies nativas de lombrices de tierra, las cuales muestran una notable adaptación a las condiciones restrictivas ambientales, asimismo iniciar la búsqueda de métodos de rehabilitación de las condiciones degradadas de los suelos en la Mixteca Alta oaxaqueña.

INTRODUCCIÓN

La diversidad biológica presente en México se debe principalmente a la intersección de dos regiones biogeográficas, la neártica y la neo-tropical que junto con la compleja orografía del territorio nacional genera una variedad de climas y hábitats, lo cual da una diversidad distribuida de forma heterogénea (Sarukhan *et al.*, 1996).

Por otro lado el estado de Oaxaca, es distinguido por sus características particulares fisiográficas, hidrológicas, geológicas y por ser el Estado dentro de la República Mexicana con mayor diversidad biológica y cultural, puesto que comprende una compleja heterogeneidad ambiental, de ahí su alta biodiversidad, la cual alberga una gran riqueza de ecosistemas y cuenta con más de 12 500 especies de flora y fauna, alojando un número importante de endemismos de flora y fauna, tanto a nivel del suelo como debajo de él (Ordoñez *et al.* 2008). La Mixteca oaxaqueña es una zona de gran importancia a nivel mundial, biológica y culturalmente, comprende 1,709, 484 hectáreas dividida en siete distritos Coixtlahuaca Tlaxiaco. Nochixtlan Teposcolula, Huajuapam, Silacayoapam y Juxtlahuaca (Sarukhan *et al.*,1996).

La degradación de tierras en esta región ha alcanzado niveles muy serios después de años de deforestación, sobrepastoreo y expansión agrícola, lo que se suma a su topografía accidentada y suelos someros. Por lo que la importancia de abordar los graves problemas de degradación de suelos puede tener una alta prioridad para conservar la biodiversidad, puesto que ella tiene un papel importante en la estructura del ambiente.

El presente estudio tuvo como finalidad aportar un poco al valioso conocimiento sobre el estudio de la oligoquetofauna, mediante la determinación de comunidades de especies de lombrices de tierra en un ecosistema con condiciones climáticas contrarias a los ecosistemas comunes donde se realizan estudios de estos organismos siendo que estos tienen alta potencialidad en la recuperación de suelos erosionados gracias a que presentan características

biológicas y ecológicas adaptadas a los factores ambientales. Se hace énfasis en las lombrices de tierra por cuanto son un grupo de organismos ampliamente reconocidos por sus efectos benéficos sobre la estructura y propiedades del suelo y por su influencia en los procesos de descomposición de la materia orgánica, el ciclo de nutrientes y en el crecimiento de las plantas, motivo por el cual se han empleado en la restauración de suelos, como indicadores del grado de perturbación en áreas naturales y para incrementar la fertilidad del suelo en agroecosistemas (Juárez *et al.*, 2009).

Por otro lado el manejo biológico del suelo (Swift 1999), incluye la inoculación de lombrices de tierra para restaurar las condiciones de suelos dañados o degradados y estimular la productividad agrícola (Butt *et al.*, 1997; Brown *et al.*, 1998; Lavelle *et al.*, 1998), por lo cual se intenta inducir con esta investigación a proyectos que puedan aplicarse a la mixteca oaxaqueña junto con el CEDICAM, aplicando conocimientos que se aportaran para la mejora de los suelos, los cuales presentan grandes problemas de erosión.

La biota edáfica

Los organismos del suelo forman parte de la gran biodiversidad de México, conformando así también una biodiversidad en el suelo, la cual se clasifica en tres apartados: la microfauna, que integra a los organismos menores de 0.2 mm; la mesofauna, de 0.2 a 2 mm; y la macrofauna, organismos mayores de 2 mm (Swift *et al.*, 1979). Dentro de la macrofauna se incluyen a las lombrices de tierra, las cuales constituyen una biomasa generalmente dominante e influyente en los ciclos biogeoquímicos, que le permiten a los ecosistemas mantener ciclos que favorecen los niveles de productividad, gracias a su capacidad transformadora del suelo.

El mundo microbiológico constituye el 80% de la biomasa viva del suelo; el de la mesofauna, el 2%; y el de la macrofauna, el 14%. Se sabe que los microorganismos son los que mineralizan los materiales orgánicos depositados en el suelo, principalmente y por lo tanto, los que contribuyen a que el suelo sea capaz de sostener una de biomasa vegetal abundante. Actualmente se conoce

que la macrofauna tiene efectos benéficos en los suelos, manteniendo las características físicas aceptables, los ciclos químicos y los biológicos, haciendo que el suelo cumpla funciones de hábitat, aporte nutrientes a las plantas para su crecimiento y desarrollo y existan las interrelaciones entre organismos del suelo a diferentes escalas y de cadenas tróficas, los cuales en conjunto, benefician a todos seres vivos mayores, incluyendo al hombre.

Características generales de las lombrices de tierra.

Los anélidos constituyen un grupo de animales celomados segmentados muy antiguo. Probablemente aparecieron hace más de 600 millones de años y se considera que para el Cámbrico se establecieron por completo en los mares de la Tierra (Bouché, 1983; Blakemore, 2006). La antigua clasificación del phylum Annelida es en 3 grandes clases (Polychaeta, Oligochaeta e Hirudinea) la cual ha sido modificada por análisis filogenéticos y moleculares recientes (Struck *et al.*, 2007; Zrzavý *et al.*, 2009). En el más reciente análisis filogenético realizado con caracteres moleculares y somáticos (Zrzavý *et al.*, 2009) los oligoquetos, los hirudíneos y algunos poliquetos clitelados se recuperaron como un grupo monofilético, denominado Clitellatomorpha, estas clasificaciones actualmente agrupan a los anélidos clitelados (solamente los oligoquetos y los hirudíneos) en el grupo de los euclitelados, aunque la categoría taxonómica varía de acuerdo al autor (Fragoso y Rojas, 2014).

Las lombrices de tierra son invertebrados con una segmentación bien definida, son organismos hermafroditas, con simetría bilateral, quetas en todos los segmentos a excepción de los dos primeros, clitelo que se forma llegando a la madurez del organismo donde se presentan las estructuras reproductoras y algunas otras modificaciones asociadas con los aparatos digestivo, circulatorio y nervioso, sistema vascular cerrado y respiración cuticular con la boca o prostomio el cual suele ser un lóbulo redondeado con o sin apéndices sensoriales (Edwards y Bohlen 1996; Ruppert y Barnes, 1996).

La estructura del prostomio es retráctil, ya que se usa para excavar y consumir el suelo, también es de ayuda taxonómica ya que varía su forma de acuerdo a cada especie, a partir de esta estructura se comienza a contar los segmentos para la determinación de las morfoespecies, cada segmento se enumera con números romanos conforme su cuerpo se angosta hacia el extremo anterior. (Doube y Brown, 1998).

Cuando las lombrices de tierra están sexualmente maduras, desarrollan una estructura sobre la epidermis denominada “clitelo” asociada con la reproducción y de igual forma ha sido tradicionalmente utilizada en la clasificación tanto de familias (ubicación de los poros masculinos, femeninos y prostáticos; tipo de ovarios; presencia/ausencia y tipo de próstatas), como de géneros (número de testículos) y de especies (tipo de espermateca, número y ubicación de vesículas seminales) Edwards y Bohlen (1996) y Blakemore (2006). En esta región se desarrollan los cocones o cápsulas en las cuales uno o varios huevos son depositados. Posteriormente los cocones pasan hacia los segmentos anteriores y son colocados en el suelo.

Las lombrices en estadio juvenil se desarrollan dentro de la cápsula para después emerger. El tiempo que transcurre entre la eclosión de las cápsulas y la madurez reproductiva varía de acuerdo a la especie y a la influencia de los factores ambientales (González, 2013).

En general la morfología de la lombriz de tierra es sencilla y rudimentaria con órganos primitivos pero eficientes que le han permitido sobrevivir en suelos con diferentes niveles de materia orgánica y bajos niveles mínimos de humedad (García, 2006).

Se distribuyen en casi todos los tipos de ecosistemas el principal factor limitante de este grupo es la humedad del suelo, es poco probable encontrarlas de modo natural en zonas desérticas o ambientes con precipitaciones anuales menores de 500 mm; tampoco se encuentran en los sitios muy fríos en donde el suelo está congelado o cubierto de nieve durante todo el año. En México se presentan en casi todos los ambientes naturales como selvas tropicales (altas,

medianas y bajas), sabanas, bosques mesófilos y bosques de pino, encino y oyamel. También se les encuentra en los ambientes perturbados y manejados por el hombre como acahuals, pastizales, plantaciones de árboles, cultivos anuales, jardines, huertos, etc. (Fragoso y Rojas, 2014).

Las poblaciones de lombrices de tierra son el resultado de interacciones entre las variables ambientales y los procesos biológicos durante un lapso considerable. Las reuniones de especies particulares que se observan en todas las poblaciones reflejan un sistema que ha sido moldeado por fuerzas selectivas, estocásticas e históricas.

Por su forma y modo de alimentación (comen tierra y hojarasca). Los adultos miden desde 1 cm hasta cerca de 1 m de longitud en ambientes donde la humedad es alta, aunque su diámetro nunca llega a superar los 3 cm.

Las lombrices de tierra también se consideran transformadores de la hojarasca por acelerar la descomposición, proceso mediante el cual los desechos orgánicos son fragmentados y modificados químicamente. Esta acción la realizan con otros organismos, mediante la fragmentación, la transformación enzimática (catabolismo) y el lavado por agua (lixiviación). Este proceso es una pieza clave en el funcionamiento de los ecosistemas. Sin este la vida no habría podido diversificarse ni aumentar en las proporciones que lo ha hecho simple (Edwards y Bohlen, 1996; Lavelle y Spain, 2001; Domínguez *et al.*, 2004).

ANTECEDENTES

Gracias por sus efectos benéficos sobre la estructura y propiedades del suelo y por su influencia en los procesos de descomposición de la materia orgánica, el ciclo de nutrientes y en el crecimiento de las plantas, las lombrices de tierra se han empleado en la restauración de suelos y se han utilizado como indicadores que miden grado de perturbación en áreas naturales, asimismo se utilizan para incrementar la fertilidad del suelo en agroecosistemas (Bohlen, 2002; Fragoso y Reynolds, 1997; Pashanasi *et al.*, 1994; Edwards y Bohlen, 1996).

Dichos organismos constituyen el grupo más importante de la macrofauna edáfica en términos de porcentaje de biomasa (Fragoso 2001). Por lo que, desde que han sido estudiadas las lombrices de tierra se han propuesto diversas investigaciones para el mejoramiento de agroecosistemas los cuales han sido modificados a través del tiempo.

Conforme a la anterior clasificación de Jamieson (1988), las lombrices de tierra se ubican en 11 familias (excluyendo 4 familias de hábitos semiacuáticos), las cuales presentan una distribución particular, dicha propuesta, dividió a los oligoquetos cuyo clitelo estuviera compuesto por más de dos capas celulares y con la habilidad de secretar cantidades considerables de reservas de proteínas dentro del capullo (grupo llamado Crassiclitellata), en dos categorías:

1) Aquamegadrili (antes Micodrilos), que son oligoquetos acuáticos o limnícolas. Se caracterizan por ser nadadores o de fondo, pequeños, incoloros o con gránulos de pigmento, provistos de largas setas.

2) Terramegadrili (antes Megadrilos), que son las verdaderas lombrices de tierra. De hábitos terrestres, de mayor tamaño y con setas pequeñas (Jamieson *et al.*, 2002).

Categorías ecológicas

Para facilitar el estudio de la diversidad de las lombrices de tierra, estas se separaron desde dos puntos de vista: taxonómica y funcional. En el primer caso el número de especies varía en función de la escala (regional vs. local) y del origen geográfico (nativas vs. exóticas). En el segundo caso, las especies se separan por categorías ecológicas o gremio funcional. Las categorías ecológicas propuestas por Bouché (1972, 1977), aceptadas casi en su totalidad por la mayoría de los investigadores, incluyen tres grandes grupos funcionales de lombrices: las epigeas (habitantes de la hojarasca y pigmentadas), las endógeas (habitantes del suelo, no pigmentadas y consumidoras de tierra, subdivididas en poli, meso y oligohúmicas, Lavelle 1983) y las anecicas (habitantes del suelo y consumidoras de hojas).

En cuanto a la escala regional vs local, las especies nativas son todas aquellas que se encuentran de manera natural en un área determinada con una distribución restringida a su presumible área de origen, son las que se consideran como endémicas (Fragoso, 2001). Las exóticas son especies que han invadido varias áreas a través de la dispersión intencional o accidental del hombre (Fragoso, *et. al.*, 1995); algunas lombrices de este último grupo también se conocen como peregrinas, cuyas características principales son: poliploidía, asociación con el hombre y gran tolerancia a la variabilidad ambiental (Lee, 1985), el flujo de especies de lombrices no ha cesado, de tal modo que prácticamente no existe un continente, país o región en que no se haya establecido una especie llevada por el hombre (Fragoso y Rojas, 2009). Estas especies generalmente tienen un efecto positivo en la fertilidad y productividad de los suelos en los que se encuentran, pues incrementan las tasas de infiltración de agua y la liberación de N y P (Fragoso, 1989).

Por otro lado Bouché (1972) separó de forma igual a las lombrices de tierra basándose en características morfológicas, etológicas, en la distribución espacial y por la presencia de humedad en el suelo, las clasificó en: i) epigeas: lombrices pequeñas, monocromáticas, pigmentadas, habitan en la superficie del suelo y dentro de la capa de hojarasca, tienen una estrategia demográfica de tipo “r”, es

decir, presentan altas tasas de fertilidad y de mortalidad con una reproducción precoz; ii) anecicas: pigmentación oscura en la parte antero-dorsal, habitan en galerías subterráneas verticales, saliendo de éstas a la superficie para alimentarse, presentan una estrategia demográfica de tipo “k”, ya que sus tasas de fertilidad y mortalidad son bajas y se reproducen en etapas más avanzadas de su ciclo de vida. Generalmente son de tamaño grande; iii) endogeas: sin pigmentación y habitan exclusivamente dentro del suelo, se clasifican a su vez en tres grupos, polihúmicas, mesohúmicas y oligohúmicas de acuerdo a la cantidad de materia orgánica que ingieren y su localización en los estratos del suelo (Lavelle *et al.*, 1989).

Las lombrices polihúmicas, tienen una ingestión selectiva de materia orgánica, por lo general son de tamaño pequeño, habitan en la interfaz de la hojarasca y el suelo y en términos demográficos son estrategias “r”; las mesohúmicas son lombrices de talla mediana, que ingieren el suelo de los primeros 10 a 15 cm de profundidad, que no seleccionan las partículas orgánicas de las que se alimentan y que pueden tener una estrategia demográfica tanto del tipo “r”, como “k”. Las oligohúmicas, son lombrices de talla grande y lenta mientras se desplazan, habitan los estratos más profundos del suelo bajo condiciones ambientales más estables pero con un pobre recurso alimenticio y tienen una estrategia demográfica tipo “k”. (Lavelle y Spain, 2001).

Importancia de las lombrices de tierra.

Hasta 1994 las estimaciones sobre la diversidad global, señalaban alrededor 3627 especies de oligoquetos, consideradas como lombrices de tierra, con características como: invertebrados de tamaño mayor a dos cm adultos y de hábitos generalmente terrestres (Reynolds 1994). Con una tasa de descripción anual de 68 especies de lombrices de tierra (Reynolds 1994, Fragoso y Reynolds, 1997), actualmente existen 4000 especies descritas (Fragoso 2001).

Como se ha venido mencionado las lombrices de tierra impactan con sus actividades el crecimiento microbiano, dispersan microorganismos, influyen en el

transporte de gases y agua, son esenciales en el mantenimiento de la estructura del suelo y crean o modifican el micro hábitat de otros organismos (micro y mesofauna) (Lavelle y Spain 2001). En los últimos años los estudios sobre la diversidad edáfica han cobrado mayor importancia en México, sin embargo, se han publicado pocos trabajos enfocados a este tema y casi siempre descontextualizados del entorno edáfico (Fragoso *et al*, 2001).

En los últimos años se ha demostrado que la pérdida acelerada del contenido de materia orgánica y la degradación del suelo se debe en gran parte a la destrucción de la fauna del suelo que regula los procesos del suelo (Lavelle y Barois, 1988), afectando a las lombrices de tierra que son uno de los organismos más importantes del suelo, especialmente en ecosistemas productivos y en restauración, debido a la influencia en la descomposición de la materia orgánica, desarrollo de la estructura del suelo y el ciclo de nutrientes, así como grandes regeneradores de suelos erosionados.

La alimentación y las actividades en las madrigueras son factores importantes de las lombrices en el suelo, ya que para alimentarse ingieren partículas del suelo y materia orgánica. La mezcla de los desechos de estas dos fracciones constituye las excretas, turrículos o lo que se llama coprolitos. Una vez expulsado el suelo en forma de turrículos puede ser erosionado debido al impacto de la lluvia o pueden formar agregados sólidos estables a través de una variedad de mecanismos de estabilización del suelo (González, 2013).

La mayoría de los autores coinciden en que el régimen de humedad y la temperatura son los principales factores ambientales que determinan la distribución y abundancia de las lombrices de tierra. Otros factores relevantes en dicha distribución son el contenido de materia orgánica del suelo (Falco *et al*. 1995)

Römbke (1987) marca la importancia de la vegetación, tanto la hojarasca y raíces, como alimento, al igual que Lavelle *et al*. (1989) que opinan que la vegetación es importante para las lombrices por su valor energético que modifica la tasa de crecimiento de estos animales y su posibilidad de dejar descendencia.

Por otro lado Andersen (1987) midió la velocidad de crecimiento de lombrices con hojarasca de distintos árboles como sustrato. Por lo tanto la importancia de las lombrices no radica en un solo factor biológico sino en la estabilidad biológica de todo un ecosistema.

Distribución de lombrices de tierra en México

En México coexisten lombrices de tierra exóticas y nativas; las primeras son especies que se originaron en otra región del mundo y cuya presencia en México se debe a su introducción (intencional o accidental) por el hombre. Las especies nativas se consideran originarias de alguna región de nuestro país y tienen una distribución en México que puede haber ocurrido de modo natural. Estas últimas incluyen a las lombrices endémicas, que son aquellas cuya distribución actual se restringe al ambiente o región en donde probablemente se originaron (Fragoso y Rojas, 2014).

De acuerdo con los datos proporcionados por Fragoso 2007, desde el punto de vista funcional, en el conteo actual de lombrices de tierra se contemplan para el país 97 especies descritas: 47 nativas y 50 exóticas, además de 37 especies nuevas nativas que se encuentran en proceso de descripción, dando así un número total de 134 especies. Conforme a las categorías ecológicas, el 72% de las lombrices de tierra en México son nativas (Fragoso, 2001), y el 36.5% exóticas, consideradas dentro de las familias Lumbricidae y Megascolecidae (Megascolecinae, de origen asiático). Dichos datos se han venido actualizando de acuerdo a los trabajos de taxonomía que se han realizado principalmente por los trabajos de Fragoso curador de especies de lombrices de tierra en México.

El estudio de Lavelle *et al.*, en 1981, fue el primer trabajo sobre comunidades de lombrices de tierra en México mismo que se llevó a cabo en las selvas tropicales y los pastizales derivados en la región de Laguna Verde, Veracruz, aunque su principal enfoque fue sobre la macro y mesofauna de invertebrados del suelo. Posteriormente Lavelle & Kohlmann (1984), al caracterizar la macrofauna en la selva alta de los alrededores de Bonampak,

Chiapas, proporcionaron valiosa información sobre la abundancia y biomasa de la comunidad de lombrices de dicha región.

Paulatinamente los estudios han continuado después de estos, en ambientes en su mayoría húmedos y tropicales, siendo estos percusores a las investigaciones en el país, en la búsqueda de comunidades de lombrices de tierra y aplicación de técnicas basadas en lombrices para el mejoramiento de la producción de suelos y rehabilitación.

Haciendo referencia a cómo se encuentra la riqueza específica por estados, Veracruz es el estado predominante con 64 especies considerando tanto especies nativas como exóticas, le sigue de Chiapas, con 34 especies, y Tamaulipas con 27. Para Veracruz el índice en ambos grupos es de (35 especies nativas y 29 nativas), el estado de Chiapas (26 sp) y Tamaulipas (10 sp); haciendo alusión solo a las especies nativas, el Distrito Federal (21 sp), el estado de México (18 especies) y en el caso de las exóticas, en términos relativos estos estados contribuyen con el 70% del total de especies nativas y con el 85% del total de especies exóticas del país.

No obstante, la cantidad real de especies en todo el país debe ser casi el doble de la estimación actual (Fragoso 2001; Fragoso 2007). Lo anterior refleja la escasa investigación taxonómica de este grupo en el país y la necesidad de completar los inventarios de las especies de este grupo de animales (Fragoso 2001, Fragoso *et al.*, 1995).

Registro de comunidades de lombrices de tierra para el estado de Oaxaca

Para el caso de Oaxaca los registros de lombrices de tierra han sido muy escasos, en comparación con otros estados ubicados al sur del país. Para este estado se registraron las especies; *Diploptrema zilchi* Graff 1957 en bosques de pino- encino, *Dichogaster* sp en bosque de pino encino, *Ramiellona mexicana* Gates 1962 ubicada en selva alta y bosque mesófilo, *Ramiellona* spnov81 ubicada en selva alta bosque mesófilo y acahual , *Ramiellona* spnov19 que se encuentra dentro de bosques de pino-encino y platanales, *Ramiellona wilsoni* Righi 1972

encontrada en bosques de pino, pino-encino, mesofilo, pastizal de altura; todas ellas nativas pertenecientes a la familia Megascolecidae, subfamilia Acanthodrilinae Tribu Dichogastrin; en cuanto a especies exóticas la especie : *Pontoscolex corethrurus* fue registrada en la cañaverales, cacaotales perteneciente a la familia Glossoscolecidae; de la familia Lumbricidae especie con mayor apogeo poblacional dentro del país, así mismo la especie *Allolobophora prófuga* registrada en frutales, cuevas y cultivos de maíz (Fragoso 2001).

Uno de los estudios más recientes realizado en la región de la Mazateca en San Jerónimo Tecoaatl, Oaxaca, dentro de parcelas con MIAF (milpa intercalada con árboles frutales); se registraron cinco especies dentro de los seis sitios de estudio: tres Endogeas (*Ocnerodrilus occidentalis*, *Pontoscolex corethrurus* y *Octolasion tyrtaeum*) y dos epigeas (*Amyntas sp.* y *Dendrodrilus rubidus*) (Juarez *et.al.*, 2012) en un clima templado característico de la región. En este clima se determinó que estos sistemas pueden ser potencialmente propicios para la conservación de la biodiversidad del suelo y en particular para las poblaciones de lombrices de tierra, debido a que en estas áreas hay una menor remoción del suelo al ser cultivados.

Dinámica de las especies nativas vs exóticas

Las lombrices de tierra, debido a su reducida vagilidad, presentan numerosos endemismos que permiten delimitar claramente razones geográficas. Al ser perturbado el hábitat la mayoría de estas especies nativas desaparecen y a menudo son sustituidas por otras especies exóticas. De este modo la relación nativa/exótica constituye un buen índice para evaluar el grado de conservación de un sistema así como para monitorear sus cambios (Fragoso, 1999). Las lombrices de tierra se distribuyen en el área del suelo denominada drilosfera, que es el micro sitio en donde convergen con otros microorganismos (Lavelle *et al.*, 1989).

La relación que existe entre especies exóticas y nativas penden de líneas muy delegadas, puesto que las especies exóticas presentan una gran plasticidad adaptativa a diferentes ambientes, por lo que rápidamente desplazan a las

especies nativas locales lo cual produce una importante pérdida de fauna endémica.

Los géneros más comunes en cuanto a especies nativas en México son: *Ramiellona*, *Diplostrema*, *Dichogaster*, *Zapatadrilus* y *Diplocardia*. La especie nativa más común y de amplia distribución es *Balanteodrilus pearsei*, que se extiende por toda la península de Yucatán y la planicie costera del golfo hasta el norte del estado de Veracruz (Fragoso 2001).

Las especies más comunes en los ambientes tropicales son las especies exóticas *Pontoscolex corethrurus*, *Polypheretima elongata* y *Dichogaster bolau*; en las partes altas predominan las exóticas de la familia Lumbricidae (de origen euroasiático) *Aporrectodea trapezoides*, *Lumbricus rubellus* y *Octolasion tyrtaeum*).

El número de especies por comunidad para los diferentes ecosistemas naturales y perturbados se encuentra en un rango de una a once especies, ocurriendo los mayores valores en las selvas altas (7 spp) y los menores en los cultivos anuales (2 spp) las especies exóticas dominan en los climas fríos y en ambientes perturbados, en la mayoría de los países tropicales las comunidades de lombrices presentan un fuerte componente exótico que es más obvio cuando se trata de ambientes perturbados. En los bosques de niebla, en los bosques de pinos y encinos las exóticas son también frecuentes y abundantes. Mientras que los pastizales presentan la mayor abundancia de lombrices y una mayor cantidad de especies nativas (Fragoso *et al.*, 1999).

Efectos antropogénicos sobre las comunidades de lombrices de tierra

El suelo es un sistema fascinante, extraordinariamente rico en diversidad de especies, tanto de las que lo habitan permanentemente como las que lo usan esporádicamente como refugio, como lugar de alimentación o como el ambiente idóneo para el desarrollo de sus larvas. Por lo que la alarmante tendencia mundial de pérdida de biodiversidad también se refleja en el suelo.

En varios países tropicales casi siempre hay una disminución de especies nativas de lombrices en los ambientes perturbados o en los agroecosistemas, comparación con los bosques o las sabanas naturales (Fragoso *et al.*, 1999). Esto gracias a l manejo irracional de los recursos naturales y la expansión de territorio dedicado para la siembra; actividades que evidentemente afectan de manera directa a la biodiversidad del suelo, perdiendo así parte importante de la biota del suelo y afectando a las lombrices de tierra, perdiendo los endemismos de cada región.

Ya que las lombrices de tierra poseen la particularidad de ocupar la mayoría de los ambientes terrestres, los cambios en el suelo y en su cobertura vegetal producen modificaciones en la diversidad específica, número, biomasa, niveles de actividad y patrones de migración de las lombrices de tierra (Mather y Christensen 1988).

La abundancia relativa, diversidad y composición de especies de una comunidad dependen principalmente de la riqueza de nutrientes en el suelo y del componente filogenético, además de otras variables importantes como la estacionalidad de las lluvias, temperatura, topografía, vegetación e historia de uso del suelo (Bohlen, 2002; Fragoso, 1992; Fragoso y Lavelle, 1992, Fragoso *et al.*, 2001).

Las actividades humanas tienen repercusiones tanto directas como indirectas con respecto a la degradación del medio ambiente y todas estas acciones se encuentran relacionadas a procesos negativos en cadena en contra de la fauna del suelo. Al aumentar la población humana, se requiere mayor productividad agrícola y ganadera y, por consecuencia los niveles de consumo aumentan significativamente, dando como resultado al satisfacer dichos requerimientos la destrucción y degradación de hábitats.

Los patrones ecológicos de las comunidades indican que en el grupo de ecosistemas naturales las selvas altas tienen la mayor cantidad de especies y los bosques de pino el menor número de especies, mientras que en ambientes perturbados la mayor riqueza corresponde a los pastizales y la menor a los

cultivos; en selvas y ambientes perturbados se observa un dominio de las Endogeas, mientras que en los bosques templados predominan las exóticas y las epigeas representan el 35-58% de la abundancia total (Fragoso, 2007).

Para el caso de Oaxaca otra de las causas que ha llegado a destruir un gran número de hectáreas de áreas verdes ha sido la deforestación para agricultura y su sobreexplotación, y el sobrepastoreo el cual dentro esta ha tenido un impacto ambiental negativo, forzando a diferentes poblaciones de organismos a reducirse o en su defecto a desaparecer. Dichos deterioros han afectado gravemente a la región de Nochixtlan- Tilantongo y sus alrededores, donde claramente se puede observar en sus paisajes el alto grado de detrimento (Apéndice 3).

Efectos ecológicos de las lombrices de tierra

El suelo es un recurso crítico no solo para la producción agrícola y la soberanía alimentaria, sino para el mantenimiento de la mayoría de los procesos de la vida y de la calidad ambiental local, regional y global (Doran y Zeiss, 2000).

Las lombrices de tierra participan y promueven diversas funciones del suelo modificando su entorno y promoviendo la aeración e infiltración del suelo con sus galerías e intervienen en la estructura al producir pequeños o grandes agregados, dando lugar a que la materia orgánica se estabilice en sus excretas (turrículos) y que se promueva la disponibilidad de materia orgánica y nutrientes para otros organismos del suelo (Jouquet *et al.*, 2006, Edwards & Bohlen 1996).

La presencia de oligoquetos en los ecosistemas pueden indicar fertilidad del suelo, ya que estos organismos transportan, mezclan y entierran los residuos vegetales de la superficie al interior del suelo (Lavelle & Spain 2001; Huerta *et al.*, 2007).

Al mismo tiempo que las lombrices de tierra producen estructuras físicas pueden modificar la disponibilidad o accesibilidad de un recurso para otros organismos (Lavelle *et al.*, 1994). Ya que su importancia estriba no solo en el

efecto directo sobre el suelo sino también en ser importantes reguladores de la actividad microbiana (Coleman *et al.*, 2004)

Las lombrices de tierra han constituido uno de los grupos más apropiados para evaluar la calidad del suelo, conjuntamente con su alta sensibilidad a los cambios del entorno edáfico (Edwards y Bohlen, 1996).

De acuerdo con Barro (1999), Hendrix y Bohlen (2002), a pesar de los efectos beneficiosos de las lombrices para los ecosistemas, la actividad de las lombrices también puede tener efectos potencialmente negativos al suelo o al ecosistema. Dentro de estos aspectos se mencionan: 1) Remoción y entierro de residuos superficiales que de alguna manera podrían proteger la superficie del suelo de la erosión, 2) la producción de excretas frescas (turrículos) que incrementan la erosión y el sellado de la superficie, 3) deposición de excretas sobre la superficie del césped o en las zanjas de riego causando molestias, o en los pastizales donde interfieren con las operaciones de ensilaje, 4) dispersión de semillas de malezas en jardines y campos agrícolas, 5) transmisión de patógenos de plantas y animales, 6) incremento de la pérdida de nitrógeno del suelo a través de la lixiviación y la desnitrificación, 7) incremento de las pérdidas del carbono del suelo, al incrementar la respiración microbiana.

Los resultados netos de los efectos positivos y negativos son los que determinan que las lombrices sean consideradas benéficas o perjudiciales en una determinada situación, pero por lo general son consideradas de gran ayuda para las propiedades y fertilidad del suelo (Brown *et al.* 2000).

La acelerada pérdida del suelo dentro del territorio mexicano, es hoy en día uno de los mayores problemas, ya que no solo el suelo es un recurso alimenticio, si no también es uno de los eslabones más importantes dentro del medio ambiente debido a las interacciones dentro de las cadenas tróficas y el equilibrio del ecosistema. Las lombrices de tierra como es sabido, forman parte importante en la estabilidad del suelo, así como también forma parte del buen funcionamiento de este.

Potencialidades de las especies de lombrices de tierra

El suelo es el sistema clave en el funcionamiento de los ecosistemas terrestres. En él se llevan a cabo dos procesos vitales: la descomposición y el flujo de nutrientes. Estos procesos son controlados principalmente por la actividad biológica, la cual depende en última instancia de la temperatura y la humedad. El modelo general de la descomposición (Swift *et al.*, 1979) propone que los recursos que entran al suelo pasan por tres procesos durante su degradación: la fragmentación, la transformación enzimática (catabolismo) y el lavado por agua (lixiviación). Los dos primeros son modulados por la actividad biológica, mientras que el tercero depende enteramente de la precipitación. En este modelo, el recurso entra al sistema y es fragmentado, transformado enzimáticamente y lavado en repetidas ocasiones. Por ejemplo, una hoja al ser fragmentada se transforma en un recurso diferente, el cual puede después ser atacado por bacterias y hongos y transformarse en otro recurso diferente, y así sucesivamente. Durante la transformación de esta hoja, se producen cuatro productos: I) un nuevo recurso, II) CO₂, III) nutrientes en solución y IV) nutrientes inmovilizados en los organismos o en nuevos compuestos orgánicos complejos (humus). La formación de los productos III y IV es lo que llamamos mineralización y humificación, respectivamente.

Con el paso del tiempo, y dependiendo de las condiciones ambientales y de la biota presente, el recurso se descompone totalmente y su carbono y nutrientes pasan a la atmósfera (CO₂ y Metano), a la poza de materia orgánica y nutrientes del suelo o al tejido de la biota edáfica (Fragoso *et al.*, 2001)

En estos procesos las lombrices juegan cruciales puntos a favor del suelo, si bien como se ha venido mencionado constituyen una parte muy importante en la biota del suelo y gracias a sus actividades son capaces de mantener ciclos importantes para diferentes ambientes.

Junto con las bacterias las lombrices de tierra, son los organismos más estudiados de la fauna edáfica y se les han atribuido una gran cantidad de publicaciones en revistas especializadas, donde se tratan diversos aspectos de

taxonomía, morfología, fisiología, ecología, etcétera; e incluso aspectos en otros niveles como lombricultura, comercialización, industrialización, etcétera.

Aristóteles fue el primero que hizo referencias de ellas, llamándolas los intestinos de la tierra. En el antiguo Egipto ya se concia la importancia de su participación en la fertilidad del Valle del Nilo. El tema es retomado hasta 1770, cuando G. White reconoce la importancia de las lombrices como organismos indispensables para el buen crecimiento de las plantas. Posteriormente, en 1826, Savigny realizó trabajos en ellas de tipo taxonómico. Se puede considerar a Darwin como el investigador que realizó el estudio más completo acerca de las lombrices de tierra cuando en 1881 publicó la acción de estas sobre el mantillo vegetal. (Satchell, 1983).

Fragoso (2001) señala que de las 129 especies del país, sólo con diez se han realizado estudios poblacionales o de impacto en el suelo y en las plantas, y que la mayor parte del manejo se ha hecho con dos especies epigeas exóticas composteadoras y la especie endogea *Pontoscolex corethrurus*.

Entre las diferentes especies de lombrices de tierra reportadas, existen varias que tienen un potencial adecuado para utilizarse en biotecnologías de degradación de desechos orgánicos ya que la lombriz de tierra es considerada potencialmente como un factor que influye sobre la formación del suelo, debido principalmente a su hábito alimenticio (García 2006).

Planteamiento del problema

A pesar de que el estado de Oaxaca es el estado con mayor diversidad biológica dentro de la República Mexicana, existen áreas que han sufrido fuertes deterioros, principalmente la erosión del suelo y fragmentación de habitats procesos que han impactado considerablemente sobre el ambiente, disminuyendo considerablemente extensas parcelas de bosques, los cuales resultan esenciales para el mantenimiento tanto de la flora como la fauna.

Uno de los territorios más afectados por la acelerada pérdida de suelo es la mixteca alta oaxaqueña, a la que pertenece la región de Nochixtlan- Tilantongo, en la cual a causa de un deficiente manejo del suelo se han provocado severos problemas en la acelerada pérdida anual de suelo, en la degradación de ambientes así como la baja productividad agrícola lo cual afecta directamente a los asentamientos humanos quienes dependen en su mayoría de los recursos que otorga la naturaleza al ser en su mayoría de bajos recursos. En la Mixteca se pierden en promedio dos centímetros de suelo en cada temporada por efecto de diversos fenómenos ambientales, es decir aproximadamente se calcula que se han destruido 300 años de formación de tierra en la región a través de un reducido tiempo. La Universidad Autónoma Chapingo reporta que para Oaxaca un 13.3% de la superficie total se mantiene con un excesivo grado de erosión, un 46% con un alto grado de erosión y un 2% con una fuerte erosión mientras que el resto del territorio se mantiene en un latente peligro de sufrir erosión (UACH, 1986).

Debido a esto los campesinos motivados por la preocupación de recuperar áreas naturales, promueven en la región actividades que estimulan la rehabilitación de ambientes, por medio de restablecimiento de cubierta vegetal, mediante técnicas de reforestación tradicionales de la mixteca. Por lo que para tener una mayor organización crearon el Centro de Desarrollo Integral Campesino de la Mixteca (CEDICAM), con el principal objetivo de dar posibles soluciones a los problemas que enfrentan.

Tomando en cuenta la premisa de que las lombrices de tierra son potenciales en la rehabilitación de suelos, se busca principalmente la identificación de especies nativas de lombrices que sean potenciales en la recuperación de la cobertura vegetal por medio de sus procesos biológicos, Asimismo contribuir con nuevo conocimiento en cuanto a la diversidad biológica de especies de lombrices de tierra para el inventario taxonómico en México.

OBJETIVOS

General

Diagnosticar las comunidades de lombrices de tierra en la región Nochixtlan-Tilantongo, en la Mixteca Alta de Oaxaca cuyas especies podrían ser integradas al programa de desarrollo integral campesino de la Mixteca (CEDICAM), por ser organismos potenciales para la acelerar el proceso de rehabilitación de suelos en áreas con fuertes problemas de erosión.

Particulares

- Caracterizar las especies nativas y exóticas de lombrices de tierra presentes en la región de Nochixtlan- Tilantongo Oaxaca.
- Determinar las categorías ecológicas a las que pertenecen las especies de lombrices de tierra que sean registradas.
- Diagnosticar los rangos mínimos y máximos de humedad en campo, donde convergen las especies de lombrices de tierra dentro de la región.
- Identificar la prioridad por la cobertura vegetal que muestran las lombrices de tierra.
- Reconocer especies potenciales podrían ser claves para acelerar los procesos de recuperación de suelos, y así poder ser integrados al programa que desarrolla el Centro de Desarrollo Integral Campesino de la Mixteca (CEDICAM).

HIPÓTESIS

De acuerdo a las condiciones de la elevada degradación de los suelos de la región de Nochixtlan-Tilantongo se plantean las siguientes hipótesis:

Hipótesis 1. La distribución de lombrices de tierra se restringe a áreas de mayor conservación de la humedad especialmente en los cauces de los ríos o sitios con resequeidad reducida y con cubierta vegetal permanente.

Hipótesis 2. Las especies de lombrices de tierra presentes en la región muestran altos niveles de adaptación a las deficiencias de humedad de la región especialmente las especies endógenas las cuales podrían integrarse en los procesos de rehabilitación de suelos.

Hipótesis 3. En áreas degradadas, y en áreas sujetas a procesos de recuperación del ecosistema no se desarrollan favorablemente las comunidades de lombrices de tierra, ya que los suelos se encuentran fuertemente erosionados.

Hipótesis 4. Las especies de lombrices de tierra de la región Nochixtlan-Tilantongo presentan actividades biológicas limitadas por las condiciones restrictivas de humedad en gran parte del año.

Hipótesis 5. Debido a la antropización de la región, sólo existen lombrices exóticas; las especies nativas se restringen a vegetación menos perturbada.

MATERIALES Y MÉTODOS

Sitio de estudio y descripción ambiental.

El distrito de Nochixtlan, Oaxaca abarca aproximadamente 820.35 Km² y ocupa el 0.9% de la superficie total del estado. Se alberga dentro de la región de la Mixteca alta Oaxaqueña en las coordenadas 17° 27'26" latitud norte y 97° 13'30" longitud oeste enclavado en una de las zonas más montañosas del estado de Oaxaca (figura 1), haciendo de éste un territorio sumamente accidentado, dicho territorio se mantiene en una altitud media de 2,081 metros sobre el nivel mar.



Figura 1.- Ubicación del municipio de Nochixtlan en el estado de Oaxaca, el cual se ubica en el suroeste del nudo Mixteco.

Se seleccionó la región de Nochixtlan–Tilantongo, Oax., debido a que presenta severos grados de erosión hídrica de los suelos a pesar de las altas restricciones de disponibilidad de humedad, considerando un deterioro de mayor a menor grado.

Características descriptivas ambientales de la región

Fisiografía

La región se localiza dentro del sistema de la Sierra Madre del sur (Sierra Madre de Oaxaca), al suroeste del nudo Mixteco, las geoformas dominantes son las de una región fuertemente afectada por la degradación del suelo, con ríos temporales y perennes que arrastran gran cantidad de sedimentos.

Suelos

Los tipos de suelo que se presentan en el municipio son diversos, encontrándose arenosos, calizos y arcillosos de diferentes colores (colorada y

negro). Se encuentran clasificados (SAGARPA, 2008) como cambisol. El pH tiende a ser alcalino (7.7 a 8.8), y comúnmente son suelos pobres en fertilidad. Presentan severos problemas de erosión a pesar de tener baja precipitación media anual.

En cuanto a la reglamentación para el uso racional de los recursos naturales, no existe un estatuto de bienes comunales ni un ordenamiento territorial, para regular su uso y evitar la sobreexplotación de los recursos existentes.

Hidrografía

El municipio cuenta con diversos recursos hidrológicos, que pertenecen a la región hidrológica Costa Chica - Río Verde, de la cuenca del río Atoyac y de la subcuenca del río Sordo, las corrientes de agua que pasan por el territorio del municipio son perennes, y algunos temporales.

La región de Nochixtlan-Tilantongo cuenta con tres principales ríos “ La Labor” , “Yuzacuizi” , conocido también como el del “Moralito”, y el río “Grande”. La mayoría de los arroyos son de temporal que se forman dentro de la región, los cuales arrastran grandes cantidades de sedimentos lo que asevera el grado de erosión que presenta la región.

Clima

La mayor parte de la región registra un clima semiseco con lluvias durante el verano, con una baja precipitación pluvial de 576 mm al año (CONAGUA, 2014), observando una temperatura media anual de 15.7°C. La restricción de humedad en la zona, aunando a el déficit de los suelos para retener agua, ha desfavorecido a la comunidad tanto en actividad agroecológica como en la actividad de rehabilitación de suelos.

Vegetación

La Mixteca se caracteriza principalmente por el tipo de vegetación que está presente el cual está caracterizado como selva baja caducifolia. Existen zonas con baja cantidad de cubierta vegetal, por efecto antropogénico y una baja eficiencia

de recuperación. Aun cuando la vegetación es todavía boscosa en las partes altas, en donde los encinos son dominantes principalmente dos especies *Q. magnoliifolia* y *Q. castanea*; en las partes bajas la vegetación es de lento crecimiento. La vegetación predominante en la región es: pino ocote, encino (blanco, amarillo y de agua), fresno, jacaranda, tepehuahe, huahal, nopal, biznagas, sabinos, maguey tobala, espadín silvestre, carrizo, otate (carrizo lleno) espinos, huajes, guajales, zapotales, capulincillo, colorin, sauce, enebro, palma datilera, anonal, zapote blanco, nísperos, aguacate, guayaba, ciruela, nogales, anona, lima, limón, naranja, mora, granadales, chayote, zomaque, palo de ramón, timbre, uña de gato, dátil, entre otros (Flores *et al.*, 2012).

Diseño de la investigación

La investigación abarca el estudio del estado actual de las comunidades de lombrices de tierra en la región de Nochixtlan – Tilantongo Oaxaca, en un área aproximada de 18 km² perteneciente a la mixteca alta oaxaqueña, caracterizada como selva baja caducifolia tomando como límite de Asunción Nochixtlan a Santiago Tilantongo (figura. 2), ambas comunidades pertenecientes al distrito de Nochixtlan.

Con el fin de tener un mayor conocimiento sobre las comunidades de lombrices de tierra y una vez ubicada el área, se eligieron diferentes ambientes a estudiar los cuales a pesar de pertenecer a la misma región mostraban características desemejantes uno con respecto a otro, catalogándolos de acuerdo al grado de perturbación que presentaban, (de menor a mayor grado de daño visible), obteniendo el siguiente orden: Bosque natural (BN), Pastizal (P), Cultivo (C), Parcela abandonada (PA), Parcela en rehabilitación de 25 años (PR) (figura 3), considerando las diferentes variables ambientales para su estudio.

El estudio se llevó a cabo durante el mes de mayor precipitación (agosto) del año 2012. La investigación de las comunidades de lombrices de tierra parte de la necesidad de caracterizar las comunidades en regiones donde la humedad es

restringida, con el fin de ofrecer una aportación al conocimiento actual sobre la biología y diversidad de las lombrices de tierra.



Figura 2.- Ubicación de la región de estudio (región Nochixtlan-Tilantongo), dentro del estado de Oaxaca.

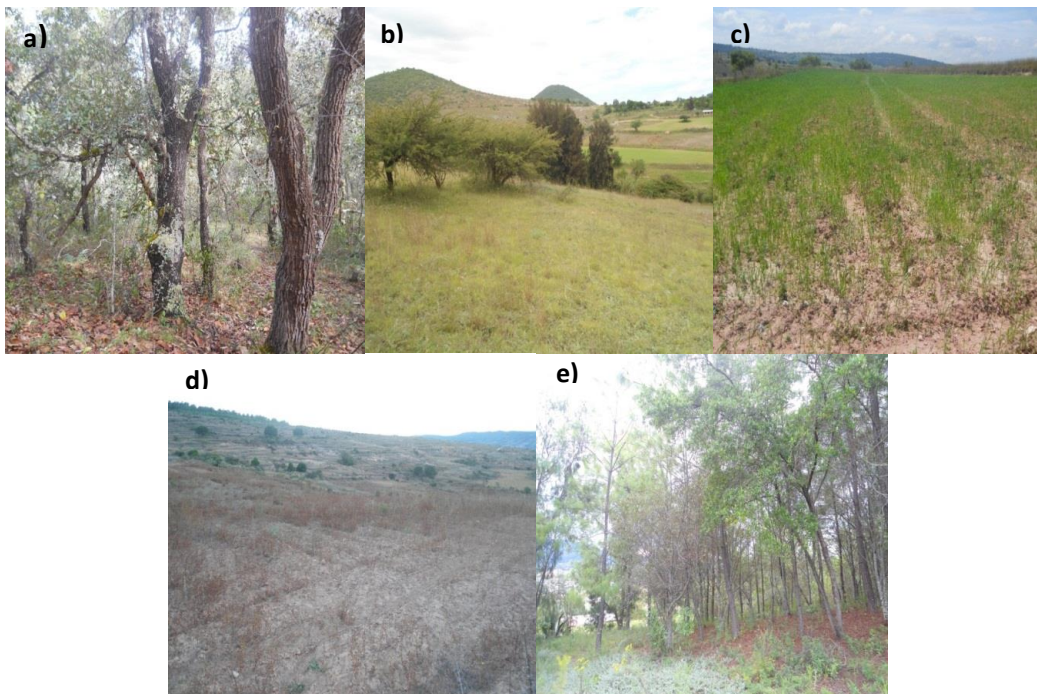


Figura 3.- Sitios de muestreo, a) Bosque natural, b) Pastizal, c) Cultivo, d) Parcela abandonada y e) Parcela en rehabilitación.

Muestreo en campo

Cada uno de los puntos donde se tomaron las muestras fueron georeferenciados, en cuatro de ellos se realizaron cinco monolitos y en uno seis, cada monolito tuvo una separación entre sí de 5 m, haciendo un total de 36 monolitos para toda la región de estudio.

Siguiendo el método TSBF (Anderson e Ingram, 1993), se efectuaron monolitos de 25 x 25 x 30cm de profundidad (figura 4), donde se extrajeron de manera manual las lombrices de tierra, las cuales fueron fijadas en solución de formol al 4% en agua dentro de frascos de plástico de 30 ml.

Precedente a la construcción de los monolitos, se colectó manualmente la cantidad total existente de hojarasca en bolsas de plástico para determinar la cantidad de materia seca en el laboratorio.

Dentro de cada monolito y a una profundidad de 10 cm de la superficie del suelo, se registró por medio de un termómetro de suelo la temperatura de este, así mismo se registró la temperatura del ambiente por cada uno de ellos.

De cada monolito se extrajeron dos muestras de suelo, una para la estimación de la humedad del suelo extrayendo una fracción de este en frascos de plástico de 30 ml obteniendo la humedad mediante del método gravimétrico , y la otra para determinar el tipo de textura y pH, la cual se trasladó al laboratorio dentro de bolsas de plástico. Para conocer el estado de decadencia de la humedad del suelo se tomaron muestras en épocas representativas a lo largo de año.

Todas las muestras obtenidas fueron debidamente etiquetadas con el número de monolito, sitio de muestreo y fecha de recolección.



Figura 4. Monolitos de los cuales se extrajeron de forma manual las lombrices de tierra. Las dimensiones fueron de 25 x 25 x 30 cm de profundidad, en algunos casos hasta donde la roca madre lo permitiera.

Análisis en Laboratorio

Las lombrices de tierra colectadas fueron llevadas al laboratorio del Centro de Agroecología (CENAGRO), todos los organismos en formol al 4% en agua, fueron traspasados en alcohol al 85% para evitar el daño fisiológico.

Para la estimación de la humedad, esta se realizó mediante su desecación a temperatura ambiente, hasta obtener un peso constante. En la determinación de la textura del suelo, se utilizó la técnica de Bouyoucos, en cuanto al pH este se obtuvo mediante un potenciómetro.

La hojarasca obtenida dentro de cada monolito fue traspasada a bolsas de papel para obtener la estimación de la materia seca (MS), mediante su desecación a temperatura ambiente, hasta obtener un peso constante de la muestra.

Identificación de especies

Para obtener las variables de: biomasa y abundancia las lombrices colectadas fueron cuantificadas y pesadas. En cuanto a la determinación de la diversidad de lombrices de tierra esta se llevó a cabo mediante la identificación de cada organismo en categorías ecológicas (nativas o exóticas), dicha identificación

se realizó hasta especie o morfoespecie, tomando en cuenta caracteres externos, siguiendo las claves citadas por Reynolds (1977) y Blakemore (2006), para lombrices exóticas y Cervantes (2010), para especies nativas.

Variables de comparación

Biomasa: Peso de las lombrices de tierra por metro cuadrado de terreno (g m^{-2}).

Densidad: Número de individuos por metro cuadrado de terrenos (individuos m^{-2}).

Categoría ecológica (epigea - endogea): Profundidad en la tierra en la cual habitan las lombrices de tierra y donde realizan sus actividades, ya sea en la superficie de la tierra o dentro del suelo respectivamente.

Lombrices de tierra: nativas y exóticas: De acuerdo a su origen geográfico.

Cantidad de hojarasca: Materia seca disponible en el monolito para su descomposición (MSm^{-2}).

Humedad del suelo: Estimada en porcentaje de humedad del suelo, aplicando la siguiente fórmula: $\% \text{ de humedad} = ((\text{Peso de suelo húmedo} - \text{Peso de suelo seco}) / \text{Peso de suelo seco}) \times 100 = ((\text{PSH} - \text{PSS}) / \text{PSS}) \times 100$.

Análisis estadístico

Una vez obtenidos los datos, se analizaron mediante análisis de varianza de una sola vía, previa prueba de homogeneidad de varianzas en cada variable, haciendo una comparación entre cada uno de los habitats. Para facilitar el estudio de las variables y en las que los supuestos no se cumplían los datos fueron transformados a rangos, por lo que los resultados de estos son más robustos que las pruebas no paramétricas (Conover e Iman, 1981)

Para obtener la comparación entre medias de los habitats, estas se obtuvieron a través de la aplicación de la prueba TuKey, al 0.05 (Zar, 1999). En cuanto a las variables fisicoquímicas, biológicas y ambientales estas se

correlacionaron. Sin embargo no son publicadas debido a que no muestran algún tipo de correlación entre ellas.

Para todos los análisis obtenidos se utilizó el programa STATISTICA 6.0. En la variable temperatura ambiental, los datos obtenidos no se sometieron a ningún análisis estadístico, debido a que no tiene influencia directa hacia los organismos del suelo.

RESULTADOS

Caracterización de especies nativas y exóticas

En la región de Nochixtlan-Tilantongo, Oax., donde se llevó a cabo la investigación se contabilizó un total de seis especies de lombrices de tierra (Cuadro 1), de las cuales dos son exóticas (*Eisenia rosea* y *Octolasion cyaneum*) y cuatro nativas (posiblemente una especie del género *Dichogaster* y otra del género *Ramiellona*). Todas las especies pertenecientes a la familia Acanthodrilidae mientras que las especies exóticas pertenecen a la familia Lumbricidae ambas categorías de especies se determinaron solo por sus características morfológicas. Se hace mención de que no se logró llegar hasta especie debido a la complejidad de sus estructuras morfológicas y a la falta de claves de identificación (Apéndice 1).

Una séptima especie nativa se ubicó dentro de muestreos exploratorios que se realizaron en la misma región, no se tomó en cuenta en el análisis estadístico ya que dichos muestreos exploratorios no siguieron la misma metodología que se realizó en cada uno de los monolitos estos muestreos exploratorios solo se realizaron con el fin de conocer nichos de comunidades.

De las especies nativas que se encontraron dentro la investigación la morfoespecie Nativa 1 se localizó en los cinco diferentes ambientes siendo está la de mayor predominancia y con mayor densidad con respecto a las demás especies (figura.7).

De igual forma la morfoespecie Nativa 1 obtuvo mayor densidad en cada ambiente en la que se encontró con excepción del ambiente PR, en éste se mostró un mayor número de densidad de la morfoespecie Nativa 3 (posible *Ramiellona sp.*), siendo ésta predominante sólo en este sitio y aunque su densidad y biomasa no es significativa estas presentaban mayor longitud y diámetro en diferencia con la morfoespecie nativa 1.

En cuanto a las dos especies exóticas que se registraron en la región, pertenecen al ambiente Pastizal, donde de igual forma se registraron dos especies más nativas haciendo de este sitio uno de los dos sitios con mayor riqueza de

especies (figura 5) ya que se encontraron cuatro de las cinco especies todas ellas endógeas.

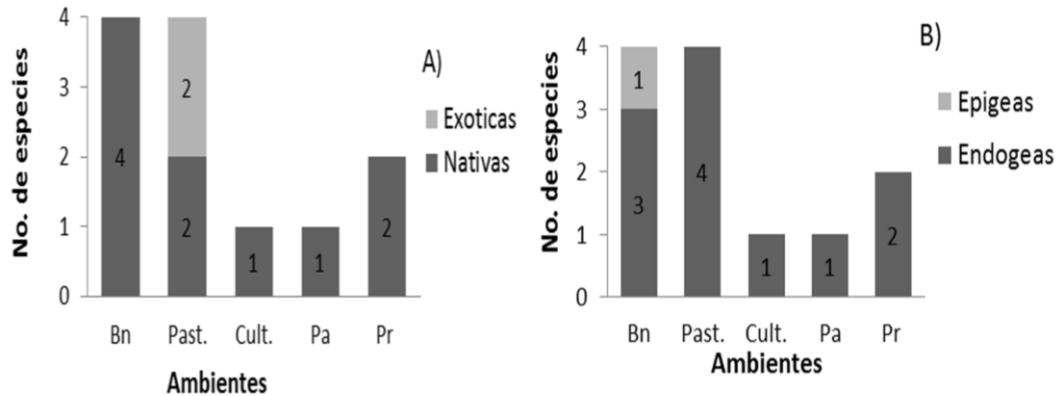


Figura 5.-Distribución de las especies de lombrices de tierra, en la región Nochixtlan-Tilantongo, Oax., en los diferentes ambientes en estudio. A) Por su origen, B) Por categorías ecológicas.

Distribución de especies y categorías ecológicas

De las seis especies encontradas en la región cinco de estas son pertenecientes a la categoría de las endógeas, mientras que la morfo especie Nativa 4 pertenece a la categoría de las epigeas (cuadro 1), dicha categoría se encuentra representada por un solo individuo por lo que podría suponerse que las especies endógeas tanto nativas como endógeas son las que predominan en la región al menos esto sustentado con los datos obtenidos.

La única especie epigea encontrada se localizó dentro del ambiente Bosque Natural, en el cual también se contabilizó un total de cuatro especies, siendo este el sitio con mayores especies solo nativas descritas (figura 5).

Cuadro 1.- Especies que se ubicaron en la región de estudio.

ESPECIE	CATEGORIA ECOLOGICA	ORIGEN	% TOTAL DE REPRESENTACIÓN COMO ESPECIE.
<i>Nativa 1</i>	Endogea	Nativa	82.2
<i>Nativa 2</i>	Endogea	Nativa	2.2
<i>Nativa 3</i>	Endogea	Nativa	10.9
<i>Nativa 4</i>	Epigea	Nativa	0.4
<i>O. cyaneum</i>	Endogea	Exótica	2.4
<i>E. Rosea</i>	Endogea	Exótica	2.0

Dentro de las especies endogreas se encuentran dentro de todos los ambientes estudiados, dominando en la región, a pesar de que en los ambientes BN y PR se encontró una cantidad de hojarasca significativa.

Por otro lado la morfoespecie nativa 1 se localizó en todos los ambientes estudiados, la morfoespecie nativa 2 en solo dos ambientes BN y P, la morfoespecie nativa 3 en BN y PR y la morfoespecie nativa 4 BN; mientras que las especies exóticas fueron registradas únicamente en el ambiente P como se muestra en el cuadro 2.

Cuadro 2.- Distribución de lombrices de tierra por cada ambiente, el bosque natural al igual que el pastizal presenta cuatro de las seis especies registradas.

Especies	Bosque N	Pastizal	Cultivos	Parcelas A	Parcelas R
Nativa 1	x	x	x	x	x
Nativa2	x	x			
Nativa3	x				x
Nativa4	x				
<i>O. Cyaneum</i>		x			
<i>E. Acanrodilidae</i>		x			

Densidad

En el análisis de varianza que se aplicó para los datos de densidad de lombrices de tierra (individuos m^{-2}) mostró diferencias significativas entre los diferentes ambientes ($F(4,31)=4.00$; $p<0.009$), siendo el ambiente Pastizal, el de mayor valor, (figura 6), lugar donde se ubica el mayor número de individuos por metro cuadrado; le sigue el bosque natural mostrando valores cercanos a los que muestra el pastizal sin embargo cabe destacar que son ambientes completamente diferentes con características ambientales desiguales; la densidad de individuos más baja se muestra en el ambiente de parcelas abandonadas, donde es evidente el deterioro causado por la erosión y el proceso antropogénico.

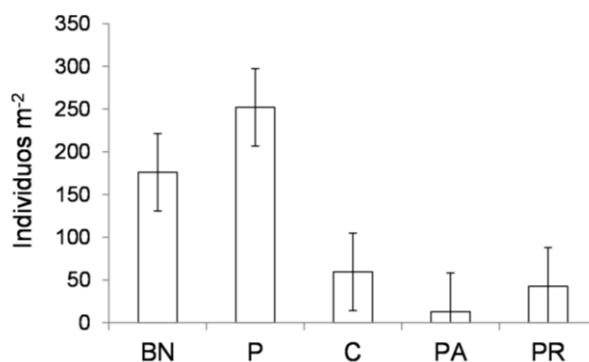


Figura 6.- Densidad de individuos por m^{-2} , se evidencia claramente mayor número de individuos en el ambiente pastizal, seguido por el bosque natural, cultivos, parcelas en rehabilitación y en el último lugar se ubica el ambiente parcelas abandonadas.

En el cuadro 3, se muestra la densidad de lombrices de tierra por tipo de ambiente, cabe destacar que según la literatura el Pastizal es un ambiente preferencial para estos organismos. La morfoespecie nativa 1 se representa en todos los ambientes, siendo la especie con mayor diversidad.

Cuadro 3.- Densidad de especies de lombrices de tierra; especies por cada tipo de ambiente, y sus relativos valores del análisis de varianza.

Especie	Ambiente					F y p
	<i>B. Natural</i>	<i>Pastizal</i>	<i>Cultivos</i>	<i>P. Abandonadas</i>	<i>P. Rehabilitación</i>	
<i>Nativa 1</i>	14.7	26.3	15.9	14.5	13.8	F(4,29)=2.89; p<0.0398
<i>Nativa 2</i>	4.4	12.0	0.0	0.0	0.0	F(4,31)=2.04; p<0.1137
<i>Nativa 3</i>	10.2	0.0	0.0	0.0	35.2	F(4,31)=.54; p<0.7087
<i>Nativa 4</i>	1.5	0.0	0.0	0.0	0.0	F(4,31)=.54; p<0.7087
<i>O. cyaneum</i>	0.0	40.0	0.0	0.0	0.0	F(4,31)=.86; p<0.4981
<i>E. Rosea</i>	0.0	14.0	0.0	0.0	0.0	F(4,31)=1.22; p<0.3243

Se destaca también que a pesar de la existencia de lombrices de tierra exóticas estas no han logrado expandirse rápidamente por la región, se mantienen restringidas en lugares donde la disponibilidad de alimento es en cierta medida aceptable y la humedad no tiene bajas dramáticas, el Pastizal les otorga hasta cierto punto una comodidad, por lo que probablemente no pueden colonizar partes donde las condiciones ambientales son severas y solo las especies nativas pueden habitar.

Abundancia de especies

La relación de las especies respecto unas a otras, muestra una evidente dominancia por parte de la morfoespecie Nativa 1, ya que se encuentra presente en todos los ambientes, con mayor número de individuos y mayor biomasa, seguida por la morfoespecie Nativa 2 con un menor número de biomasa y de individuos, el resto de las especies están representadas por un número menor de individuos o incluso en el caso de la morfoespecie Nativa 4, con un solo individuo (figura. 7).

En el caso de las especies exóticas estas se presentan en un solo hábitat, *Octolasion cyaneum* y *Eisenia rosea*, la primera especie muestra mayor dominancia en comparación con algunas especies nativas y con la segunda especie exótica pero se mantienen en un solo ambiente.

Cabe mencionar que solo se encontró cocones de una sola especie la cual es exótica (*Octolasion cyaneum*), supone que sean de esta especie por cuanto a que se encontraron dentro del mismo monolito, especie que se restringe fuertemente a zonas con mayor humedad lo que le favorece y tal vez esto sea debido a que tanto las especies exóticas como nativas cumplen ciclos de reproducción diferentes.

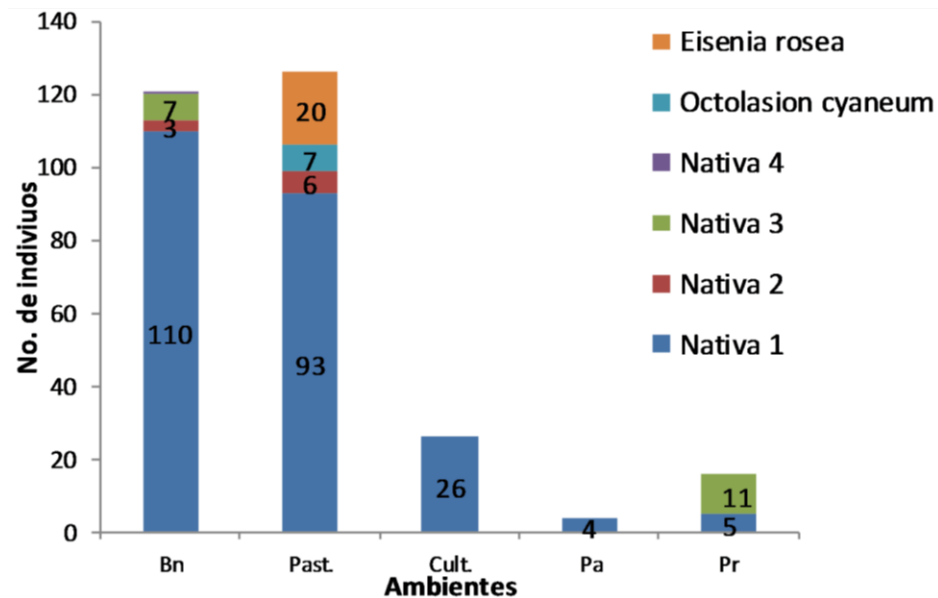


Figura 7.- Distribución de especies por ambiente, se observa claramente la cantidad de especies que presenta cada ambiente y el número de individuos por cada uno de ellos.

Biomasa

En cuanto a la biomasa ($g\ m^{-2}$), esta variable mostr´o diferencias significativas en los ambientes $F(4,31)=3.66$; $p<0.0149$), siendo también el Pastizal en donde se encuentra el mayor valor (figura 8). Sin embargo cabe destacar que la biomasa tiene mayor peso en dicho ambiente puesto que se encontró un mayor número de individuos, mismos que mostraron una complejión menor en comparación con las lombrices de tierra registradas en el Bosque

natural, debido a que tal vez la calidad de alimento disponible es mayor (Cuadro 4).

En cuanto al resto de los ambientes estos se mantienen con una biomasa baja, el que presenta menores valores son las parcelas abandonadas, por lo que podría resultar obvio debido a los altos grados de erosión y pérdida de cobertura vegetal por lo que en estas las especies exóticas no podrían cumplir ciclos de vida debido a su necesidad por la disposición del alimento.

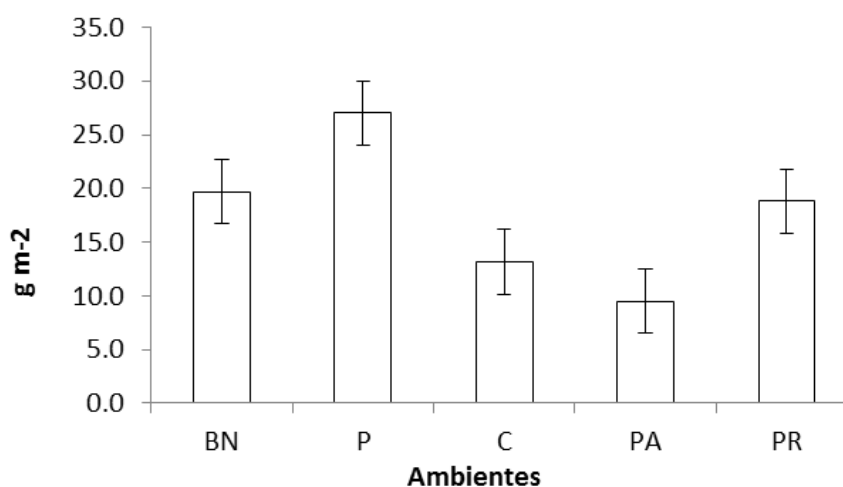


Figura 8.-Biomasa total (g m^{-2}) de lombrices de tierra en los 5 ambientes estudiados.

Cuadro 4. Distribución de la biomasa (g m^{-2}) de las especies de lombrices de tierra, en los diferentes ambientes, donde se muestra el peso en gramos por cada especie encontrada en cada uno de los cinco ambientes diversos.

Especie	%	P.			P.		F y p
		B. Natural	Pastizal	Cultivos	Abandonadas	Rehabilitación	
<i>Nativa 1</i>	82.2	13.6	22.9	21	16	14	F(4,31)=1.67; p<0.18
<i>Nativa 2</i>	2.2	0.8	1.5	0	0	0	F(4,31)=1.23; p<0.32
<i>Nativa 3</i>	10.9	4.0	0.0	0	0	7	F(4,31)=1.97; p<0.12
<i>Nativa 4</i>	0.4	0.4	0.0	0	0	0	F(4,31)=.54; p<0.70

<i>O. cyaneum</i>	2.4	0.0	2.5	0	0	0	F(4,31)=.86; p<0.49
<i>E. Rosea</i>	2.0	0.0	2.1	0	0	0	F(4,31)=1.14; p<0.35

Dominancia de especies

Como se ha mencionado la morfoespecie Nativa 1 se encuentra en todos los ambientes estudiados, por lo cual se realizaron diferentes pruebas para conocer la relación que mantenía su abundancia con los ambientes, (temperatura del suelo, humedad, pH y materia orgánica) sin embargo a pesar de realizar varias pruebas en su mayoría correlaciones, estas no mostraban ninguna evidencia un tanto aceptable para que pudieran ser relacionadas, por lo que se podría suponer que existe otra variable o condición ambiental que no se consideró en el estudio la cual mantiene a esta especie y otras nativas en la región considerando que se han adaptado al ambiente. El siguiente cuadro (5) se muestra a las cuatro especies nativas y los valores de menor a mayor rango, tomando en cuenta la humedad del suelo, la temperatura del suelo y la temperatura en ambiental, en los meses de muestreo. Se puede distinguir que a pesar de tener humedad muy baja la especie nativa 1 se mantiene con un mayor porcentaje que el resto de las especies nativas.

Cuadro 5. Especies de nativas en porcentajes de abundancia y sus valores en cuanto a los factores ambientales que se consideraron para el estudio.

Factores ambientales en rangos de menor a mayor				
Especies		Agosto	Noviembre	Marzo
<i>Nativa 1</i> (82%)	H S	4%- 30%	2%- 18%	1%- 13%
	T A	17°- 30°C	13°- 27°C	9°- 28°C
	T S	16°- 27° C	13°- 28° C	10°-29°C

<i>Nativa 2</i> (2 %)	H S	5%-19%	2% - 10%	0.30%
	T A	26°- 30°C	13°-27°C	9°-29°C
	T S	18°- 26°C	14°- 27°C	14°- 29°C
<i>Nativa 3</i> (11%)	H S	17%- 38%	8%-31%	6%-18%
	T A	18°-23°C	16°-19°C	11°-16°C
	T S	16°-18°C	13°-16°C	10°-15°C
<i>Nativa 4</i> (.4%)	H S	25.2%	12.66%	10.0%
	T A	23	17	16
	T S	16.7	13.5	13.1

En la figura nueve se muestra solo la abundancia de las especies sin tomar en cuenta el ambiente en el que se encontró, y se puede ver claramente como la especie nativa 1 se encuentra con un mayor número de individuos muy por encima de las otras especies. Cabe destacar que por la falta de claves para determinar estos organismo no se llegó claramente a la conclusión de que si la especie nativa 1 y nativa dos son las mismas pero en una etapa de desarrollo desigual, ya que comparten estructuras similares; una de estas muestra una estructura diferente de la otra, motivo por el cual se separaron ambas especies, de ser así la abundancia de la morfoespecie nativa 1 sería aún mayor.

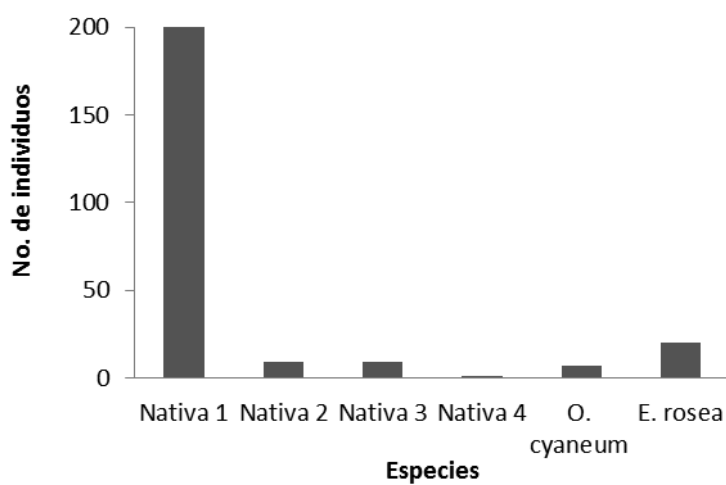


Figura 9.- Abundancia de especies de la región de Nochixtlan, no se considera el ambiente en el que esta si no cuál es su abundancia con respecto al número de individuos.

Preferencia de las lombrices de tierra en cuanto a la cobertura vegetal.

Hojarasca

Otro sustento ambiental es la disponibilidad de alimento, entendida como peso seco de hojarasca en el suelo; en ello, hubo diferencias altamente significativas entre los ambientes muestreados BN, P, C, PA y PR de (F (4,31)=20.77; $p < 0.0000$), identificando a los ambientes BN y PR como los de mayores valores (figura.10), y se entiende que su disponibilidad es constante durante el año. La presencia de esta hojarasca puede asociarse con la capacidad del sistema como un amortiguador de la temperatura, y podría suponerse que esta funciona como capa protectora en contra de la resequedad del suelo, aunque por lo citado anteriormente ambos ambientes pierden humedad de forma acelerada.

La hojarasca presente en le BN es de encino en su mayoría, de tres diferentes especies de árboles de encino y en el cual se encontró la única lombriz epigea.

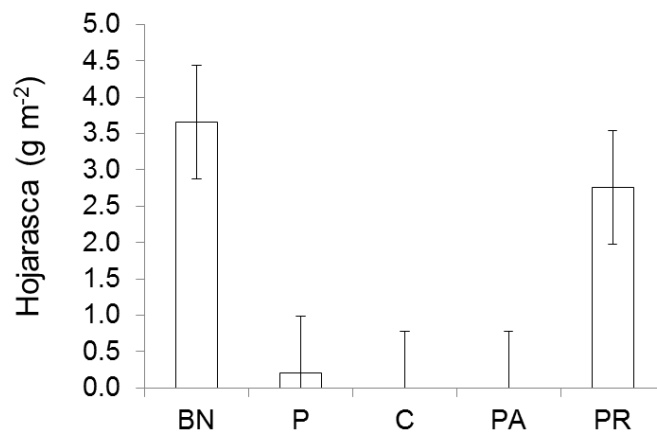


Figura 10.- Representación gráfica de la cantidad de materia seca en gramos (Hojarasca) obtenida en cada ambiente, se nota claramente las diferencias entre

cada ambiente; cabe destacar que en las parcelas en rehabilitación se están formando nuevos bosques.

Factores ambientales

Humedad

Si se considerara que las comunidades de lombrices de tierra presentan un gradiente de deterioro, que fuera de BN-P-PR-PA-C, los factores ambientales podrían tener elementos que sustenten estas condiciones. Un ejemplo de ello es la humedad del suelo la cual mostró diferencias significativas entre los ambientes, en cualquier época del año ($F(4,31)=9.53$; $p<0.0000$, en marzo), en donde BN y PR, siempre fueron los de mayores niveles (figura 11); sin embargo son los ambientes que pierden fácilmente y de manera acelerada la humedad que adquieren con respecto a los demás ambientes.

La humedad del suelo puede estar relacionada con la temperatura del suelo, si bien los C y P son los de menores niveles de humedad, también son los de mayores niveles de temperatura, especialmente en la época estiaje ($F(4,31)=18.26$; $p<0.0000$).

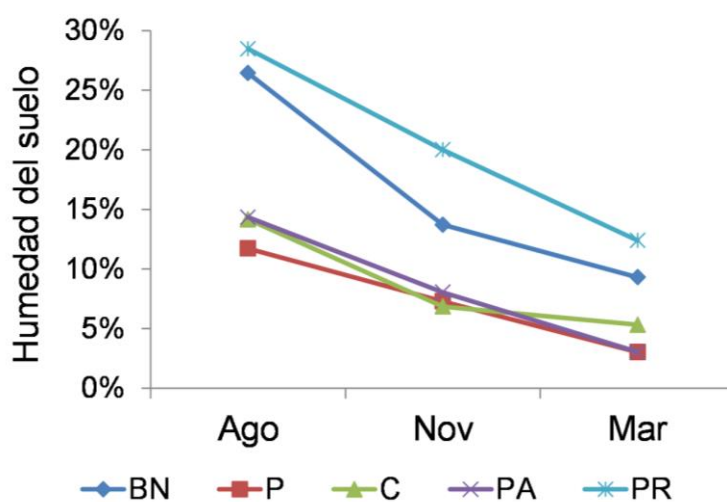


Figura 11.- Humedad por ambientes representada en los meses con mayores niveles de humedad y estiaje, las líneas marcadas con color azul cada una respectivamente de acuerdo al ambiente disgregándose BN y P del resto.

pH

La cantidad de hojarasca, en el tiempo, también puede estar asociada con el pH del suelo, factor que podría atribuir a la mayor “madurez” del suelo del ambiente BN, y por lo tanto, mejor estabilidad ambiental con respecto a los demás ambientes (figura12). Esta variable en el análisis estadístico presenta diferencia significativa $F(4,31)=28.20$; $p<0.0000$, y cabe destacar que la única lombriz epigea fue encontrada en suelo de BN. Posiblemente ello pudiera ser factor ambiental seguro; en tanto que los demás ambientes no dejarían de mostrar ciertos niveles de restricción para las comunidades de lombrices de tierra.

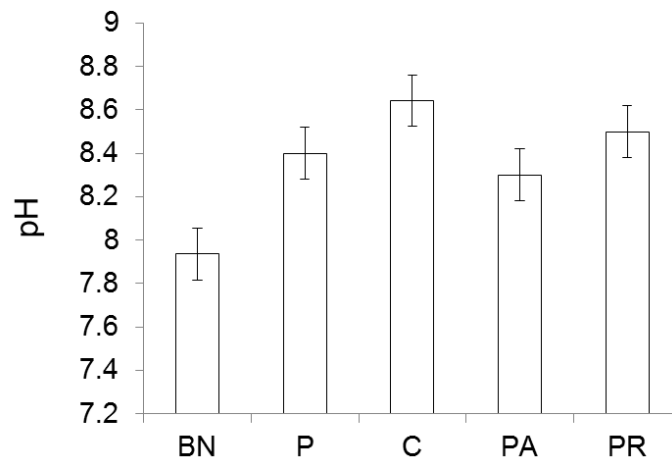


Figura 12. Factor de pH en cada uno de los ambientes, donde se muestra un pH más neutro en el ambiente de cultivos.

Temperatura

La variable temperatura mostro diferencias significativas en los meses agosto y marzo, épocas claves en los estudios de lombrices de tierra, La humedad del suelo puede estar relacionada con la temperatura del suelo, si bien los C y P son los de menores niveles de humedad, también son los de mayores niveles de temperatura (figura.13), especialmente en la época seca de marzo $F(4,31)=18.26$; $p<0.0000$). Sin embargo cabe mencionar que dichos ambientes mantienen temperaturas altas y humedad baja a lo del ciclo anual, caso contrario en el BN el cual a pesar de la temperatura que muestra a lo largo del ciclo pierde rápidamente humedad.

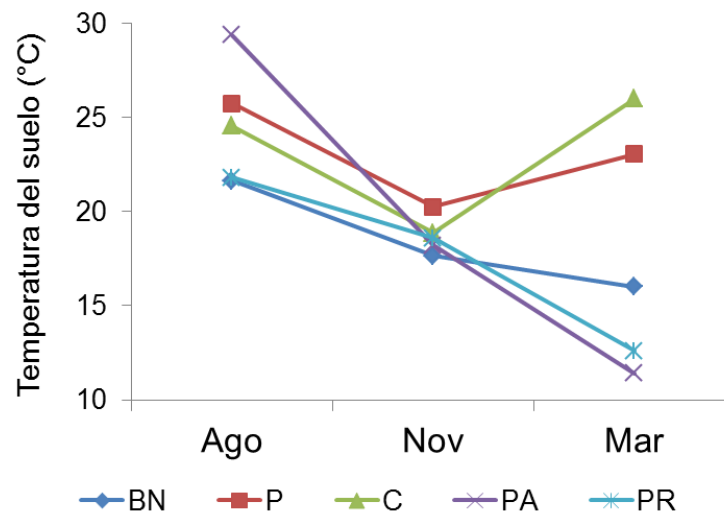


Figura 13.- Temperatura de cada tipo de ambiente indicando el mes donde se llevó a cabo el muestreo, el ambiente PA muestra claramente un disparo en la temperatura en los meses de agosto.

Suelo

Es importante destacar lo que sucede con este factor ambiental, puesto que podría dar una orientación a lo que sucede con la erosión en dicha región, proceso que podría afectar de manera directa a las poblaciones de las lombrices de tierra en todos los ambientes en los que se registran. Las muestras que se tomaron de suelo para conocer texturas corresponden al mismo ambiente pero en diferentes

zonas de la región, con el fin de tener una idea más clara sobre lo que sucede en el ambiente.

Como se muestra en la gráfica (figura 14) el porcentaje de arena, limo y arcilla, varía especialmente en textura de arena y limo dejando por debajo el porcentaje de arcilla, por lo que se podría suponer que los suelos son en esencia limosos, los cuales son altamente susceptibles a la erosión, texturas que conforman los suelos del BN, PA, y PR; en el caso del Pastizal las muestras de suelo se tomaron en las periferias de los ríos donde se forman pequeños bancos de arena debido al arrastre de sedimentos en épocas de lluvia.

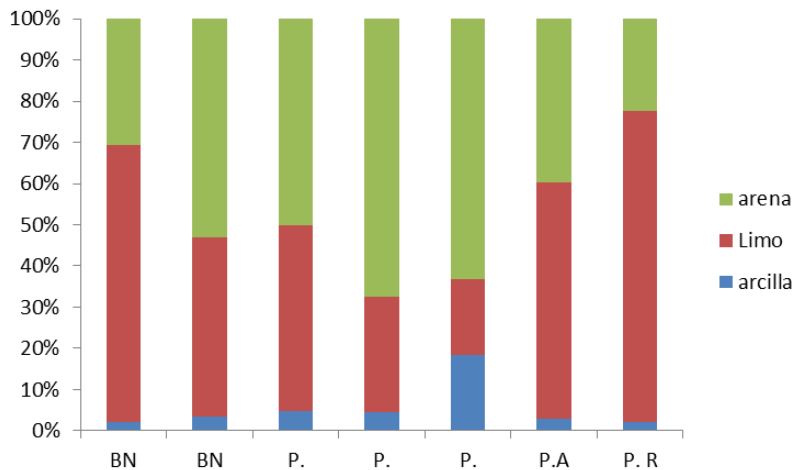


Figura 14.- Texturas de suelo representadas por cada ambiente; en la gráfica se logra apreciar que el porcentaje de arcilla en todo los ambientes está muy por debajo del de arena y limo.

DISCUSIÓN

Para Fragoso (1997), a pesar de los numerosos estudios llevados a cabo en nuestro país, resulta claro que estamos lejos de tener un inventario completo de especies de lombrices de tierra a nivel mundial y por supuesto a nivel regional y local, puesto que aún existen extensas regiones pobremente exploradas o totalmente desconocidas en el país. Es importante rescatar el conocimiento tradicional y moderno sobre estos organismos, así como reconocer que el peligro es latente debido a que en diversas regiones del territorio mexicano la rápida pérdida del ambiente natural es grave y muy evidente, debido a diversos factores como los antropogénicos, fragmentación de hábitats, pérdida de suelo, etc.; tal es el caso de la región de Nochixtlan, la cual funciona como un santuario para especies nativas con características altamente adaptativas.

El presente estudio, se establece como el primero en registrar lombrices de tierra en clima semi seco que constituye en esencia la mixteca alta, comprendiendo la región de Nochixtlan –Tilantongo, constituyendo de igual forma el primer estudio de lombrices de tierra para la región, en aspectos más importantes de estos organismos de diversidad, densidad y biomasa.

Así mismo lo presentado en esta investigación aporta valiosa información acerca de cómo dichos organismos pueden encontrarse en zonas áridas contrastando lo dicho con Bohlen (2002) donde acentúa que las lombrices de tierra se encuentran presentes en todos los ecosistemas con excepción de los desiertos, praderas áridas, hábitats boreales y bosques con suelos ácidos o baja calidad de la hojarasca. La región tiene una precipitación de 561mm al año, ya que es un ecosistema con bajo nivel de humedad en su mayoría semi-árido; y concuerda en que existe una baja densidad poblacional en ecosistemas con déficit en la materia orgánica, argumentando esto con evidencia sustentada a partir de los estudios que se realizaron de la materia orgánica en el BN.

Debido a que la mayoría de los estudios faunísticos, taxonómicos, ecológicos y de manejo han sido realizados en la región más húmeda del país (el

Este y Sureste de México), es probable que la mayor cantidad de nuevas especies se encuentren localidades aún inexploradas, motivo por el cual no se han podido completar los inventarios faunísticos de dichos organismos y de este modo queda en puerta abierta saber con claridad el comportamiento de especies nuevas, por lo cual se consideró la región de Nochixtlan como un libro abierto a esta investigación y a futuras investigaciones.

Categorías ecológicas

De acuerdo con la clasificación de las lombrices de tierra por categorías ecológicas desde el punto de vista taxonómico; la región de Nochixtlan se mantiene en un punto medio en cuanto invasión de especies exóticas, debido a que la población tiene la necesidad de rehabilitar las áreas erosionadas de la región, por lo que los lleva a reforestar con plantas que vienen de diferentes regiones. Nochixtlan funciona como un santuario de especies con alta adaptabilidad, sin embargo cabe destacar que el desplazamiento de especies de lombrices de tierra nativas por exóticas es gracias a la facilidad de adaptación a la variabilidad ambiental que muestran dichos organismos, la poliploidía, etcétera, como lo menciona Lee 1985. La figura 7 muestra que en ambientes como en pastizales pueden encontrarse al menos dos diferentes especies exóticas, lo que marca un foco rojo como amenaza para especies nativas.

En cuanto a la categoría funcional, podemos asumir que el alto nivel de degradación de hábitats naturales ha contribuido a la escasez de alimento disponible para lombrices de tierra epigeas, ya que en dicha región solo se encontró una especie nativa epigea representada por un solo individuo, lo que con lleva a atribuir que a pesar de tener ambientes naturales con vegetación inicial estas son altamente susceptibles a la erosión, por lo tanto son presa fácil de la migración o extinción de especies de lombrices de tierra epigeas.

Dicho lo anterior, se concuerda con Lavelle y Barois (1988), en que en los últimos años, se ha mostrado que la pérdida acelerada del contenido de materia

orgánica y la degradación de suelo se debe en gran parte a la destrucción de la fauna del suelo, la cual regula los procesos del suelo.

Importancia de las lombrices de tierra

Las lombrices de tierra son consideradas como ingenieros del ecosistema edáfico, ya que impactan de manera directa en diferentes procesos que ocurren en el suelo, según Lavelle y Spain (2001); de la misma forma constituyen gran parte de la biomasa animal de los suelos de varios ecosistemas.

La presente investigación tuvo como objetivo enfocarse en las comunidades de las lombrices ya que como se ha mencionado anteriormente constituyen gran parte de la biomasa animal de los suelos de varios ecosistemas tanto en zonas templadas como en tropicales, dicha cita no menciona a zonas como en la que se llevó a cabo la investigación ya que regiones semi-áridas y áridas no se han realizado suficientes investigaciones. En esta investigación la biomasa se considera una de las variables más importantes, y mostró diferencias significativas $F(4,31)=3.66; p<0.0149$, entre las comunidades de lombrices de tierra en la región de estudio como se muestra en la figura 8, donde el pastizal se mantiene con el mayor nivel. Esto tal vez debido a que se encontró mayor densidad de lombrices de tierra lo que eleva la biomasa de individuos de dicho ambiente. Sin embargo cabe destacar que las lombrices de mayor tamaño se encontraron en el ambiente Bosque Natural, según la literatura citada por Fragoso et al. (1999), quién menciona que los pastizales representan las mayores abundancias de lombrices y una mayor cantidad de nativas, aunque son de en el caso de la investigación son de menor tamaño.

En el caso de la investigación como se muestra en el (cuadro 2) el pastizal junto con el Bosque Natural muestran mayor diversidad de especies de lombrices sin embargo el Bosque Natural presenta las cuatro especies de lombrices de tierra nativas y una más que no sé registró en la investigación ya que se encontró en un monolito de exploración el cual no siguió un método tan estricto como el resto de los monolitos. Con lo citado anteriormente se concierne en cuanto a que existe

buena diversidad y abundancia de especies de lombrices de tierra en ambientes de pastizales, ya que muestran inclinación al alimento que está disponible.

Distribución de lombrices de tierra en el estado de Oaxaca

Respecto a la distribución de lombrices de tierra en el estado de Oaxaca, los estudios han sido escasos y restringidos a las áreas templadas del estado, en un estudio de Fragoso 1993 se hace un registro de ocho especies todas ellas de categoría ecológica, cuatro especies nativas y cuatro exóticas, dentro de las especies nativas destaca el género nativo *Ramionella*. Todas ellas encontradas en ambientes templados y en su mayoría ambientes naturales (Fragoso 2001)

Un estudio más reciente contribuye al inventario, registrando cinco especies de lombrices de tierra, tres de ellas endogeas y tres exóticas, todas ellas exóticas en ambientes manejados agroecológicamente (Juárez *et al.*, 2013).

Al igual que las precedentes investigaciones, esta contribuye al inventario sobre la fauna edáfica de las lombrices de tierra, registrando siete especies de las cuales cinco especies son nativas, una de ellas registrada en un muestreo exploratorio y dos exóticas (cuadro 1), estas especies son diferentes a las encontradas en las dos investigaciones previas. A pesar de que los ambientes son diferentes en cuanto a las características ambientales, los estudios anteriores son realizados en bosques templados y la investigación en selva caducifolia, con fuertes restricciones de humedad ya que se registra una precipitación anual de 561 mm por año.

Tomando en cuenta los registros anteriores y el de esta investigación es muy posible que exista una mayor diversidad en toda la región, ya que probablemente la región actúe como un albergue de diversidad nativa.

Otra de las características con las que se concuerda con el trabajo de Fragoso (1993), es en cuanto a la vegetación, ya que según la literatura existe cierta afinidad de las lombrices de tierra por ambientes donde predominen pinos, encinos y pastizales, la mayoría de los registros de lombrices de tierra citados en

Fragoso 1993 son en bosque de encino, en la investigación presente el bosque natural está conformado en su mayoría de árboles de encino de tres especies *Q.magnoliifolia*, *Q. castanea* y *Q.obtusata*, una de ellas se mantiene verde la mayor parte del año.

Fragoso (2007) señala que en los bosques templados de pino- encino, las lombrices Endogeas son las que predominan, y que las epigeas llegan a representar del 37 % al 58 % y del 9% al 35% de la densidad y biomasa total correspondiente, la reciente investigación concuerda en cierto punto con los resultados obtenidos ya que las lombrices endogeas fueron dominantes, ya que solo se encontró una especie epigea y representada por un solo organismo. Tal vez esto al alto grado de erosión que presenta la región ya que es evidente que al año se pierde considerables capas de suelo, dejando expuesta a la roca madre.

Especies

Una de las interrogantes que nos hemos planteado es ¿Qué es lo que mantiene a estas especies nativas? Interrogante que pese a los esfuerzos por analizar los datos no llegamos a esclarecer, ya que pareciera ser que se han adaptado a las fuertes restricciones ambientales, y tratando de conservar sus comunidades, ya que las densidades son muy bajas con respecto a las densidades de otras comunidades de diferentes trabajos. Estas lombrices de tierra se mantienen con poblaciones bajas pero persisten aunque individuos de la morfoespecie nativa 4 que es epigea corre un alto riesgo de desaparecer de la región.

Factores ambientales.

Como se ha venido mencionando en la investigación los trabajos de lombrices de tierra son en ambientes en donde la humedad se dispara como uno de los factores más importantes para el desarrollo y reproducción de los organismos. Sin embargo el déficit de humedad que presenta la región es

considerable (figura 11) aun así las especies son evidentemente adaptables a las condiciones climatológicas, por lo que se atreve a sugerir estudios más completos para conocer qué es lo que mantiene a las comunidades de lombrices nativas.

Comunidad de lombrices de tierra en Bosque natural.

El muestreo y registro de datos fue siguiendo un patrón, de tal forma que fuera desde el cómo era originalmente el ambiente de la región hasta áreas que presentan el mayor daño de la erosión, así mismo se terminó en parcelas en rehabilitación ya que nos parece importante en como este daño causado puede ser revertido y copiado para lugares dentro del estado y la república.

En el ambiente natural se encontraron cuatro de las seis especies registradas durante el muestreo, de las cuales fueron todas las nativas, tres de ellas endogeas y un único organismo epigeo. La vegetación que predomina en el ambiente es de encinos evidentemente longevos, los cuales presentan una reducción en el tamaño esto debido tal vez a la restricción de humedad, el bosque natural junto con las parcelas en rehabilitación presentaron material orgánico, siendo el bosque natural el que presentó mayor peso seco en cuanto a esta; aun así se registró solo un organismo epigeo, esto se debe a que la erosión es evidente en estas zonas por lo que las lombrices epigeas pierden función en cuanto a sus actividades de descomposición.

Comunidades de lombrices de tierra en Pastizales

Como bien es sabido, los Pastizales favorecen a la densidad poblacional de lombrices de tierra, según la lectura estas tienen afinidad a dichos ambientes como se muestra en esta investigación, ya que las poblaciones se muestran en números mayores en comparación con los restantes ambientes. Asimismo muestra una diversidad alta con cuatro de las seis especies registradas, pero en cuanto a categorías ecológicas en este solo se encuentran especies Endogeas coincidiendo lógicamente en que las especies epigeas tienen preferencia

alimenticia a hojarasca. De acuerdo a la taxonomía, en dicho ambiente se encontraron las dos especies exóticas y *Eisenia rosea*, siendo la primera la que mayor densidad poblacional mostró. En el caso de los pastizales el problema puede ser la introducción de dichas especies en plantas de ornato, frutales y vegetales.

Comunidad de lombrices de tierra en Cultivos

La investigación en cultivos se hizo en plantas de *Triticum vulgare* en tres niveles de plantación a nivel alto, medio y bajo, registrando una sola especie (morfoespecie nativa 1) *Endogea* con una pobre densidad poblacional, esto tal vez debido al déficit de nutrientes en la tierra, si bien las plantas solo llegan a medir aproximadamente 50 cm de altura y es evidente la falta de nutrientes como el fósforo y nitrógeno por el tono y la textura de las plantas, hace falta hacer estudios en el suelo, ya que esto es meramente deducido al observar las plantaciones. En cuanto a las lombrices de tierra haría falta hacer mayor esfuerzo de muestreo en cultivos para verificar o descartar lo dicho en esta investigación.

Comunidad de lombrices de tierra en parcelas abandonadas

Es evidente que en el caso de las parcelas abandonadas han tenido fuertes deterioros a través del tiempo, si bien en estas zonas de la mixteca el pastoreo de *Capra aegagrus hircus* ha impactado desfavoreciendo el ambiente eso aunado a la deforestación, la sobreexplotación de los suelos al no hacer un manejo agroecológico, y sobre todo la velocidad de pérdida de suelos, esto debido a que la mayoría de los suelos que conforman la región de estudio son limosos (Figura 7) altamente susceptibles a la erosión.

Comunidades de lombrices de tierra de en Parcelas en Rehabilitación

En el ambiente que se representa con el nombre de Parcelas en rehabilitación estas han sido en su mayoría reforestadas con dos especies nativas

del lugar *Alnus acuminata* y *Pinus oxaqueña* y en este ambiente se registran dos especies nativas con densidad de población baja. Cabe destacar que se registren solo especies nativas en lugares con extenso trabajo de reforestación se debe tal vez a que la plantación ha sido con especies nativas, sin introducir especies exóticas que vayan con las plantas, ya que esto afectaría directamente a la diversificación de especies exóticas, que pueden desplazar a las especies nativas, por lo que resulta un tanto beneficioso para la conservación de especies nativas.

Supuestos

Retomando los supuestos planteados dentro de la investigación podemos deducir en base a los estudios, la literatura y los resultados lo siguiente:

La Hipótesis 1” La distribución de lombrices de tierra se restringe a áreas de mayor conservación de la humedad, especialmente en los cauces de los ríos o sitios con resequedad reducida y con cubierta vegetal permanente”, se rechaza limitándonos a decir que las especies que están presentes en la región resultaron ser del todo especies sumamente adaptables a ambientes con severas restricciones de humedad, por lo que resulta sorprendente para la investigación.

La Hipótesis 2 “Las especies de lombrices de tierra presentes en la región muestran altos niveles de adaptación a las deficiencias de humedad de la región, especialmente las especies endogeas, las cuales podrían integrarse a los procesos de rehabilitación de suelos” se acepta en su totalidad, puesto que las especies fueron en su mayoría endogeas con clara adaptación al ambiente en que constituyen su hábitat, por lo que se sugiere con manejo ex situ de especies endogeas nativas de la región.

La Hipótesis 3 “En áreas degradadas, y en áreas sujetas a procesos de recuperación del ecosistema, no muestran comunidades de lombrices de tierra, por cuanto provienen de suelos fuertemente erosionados, en donde no hay posibilidades de persistir comunidades de lombrices de tierra” , se rechaza esta

hipótesis ya que a pesar de tener fuertes problemas de erosión se encontraron comunidades de lombrices de tierra aunque en densidades pequeñas, por lo que se sugieren futuras investigaciones exhaustivas en zonas perturbadas para corroborar lo dicho anteriormente. En lo referente a las zonas en recuperación si bien no son comunidades fuertes, estas se mantienen a pesar de que en dichas zonas no se ha reforestado con encinos de la región vegetación que favorece el a las comunidades en la región.

La Hipótesis 4 “Las especies de lombrices de tierra de la región Nochixtlan-Tilantongo presenta actividades biológicas limitadas por las condiciones restrictivas de humedad en gran parte del año”, para poder rechazar o afirmar esta hipótesis se continuaron muestreos exploratorios durante el ciclo anual con dos visitas externas (febrero- marzo) y (noviembre- diciembre), siendo estas las épocas con mayor restricción de humedad en la región, con las exploraciones se puede afirmar la hipótesis cuatro puesto que las especies de la región son limitadas por el ambiente por lo que solo pueden mantener sus actividades biológicas durante la época con mayor humedad.

Por último la Hipótesis 5 “Debido a la antropización de la región, sólo existen lombrices exóticas; las especies nativas se restringen a vegetación menos perturbada” no se acepta en su totalidad ya que si bien existen especies exóticas en lugares que han sido perturbados y que ahora son pastizales, estos también tienen registros de especies nativas, y en parcelas que han sido abandonadas la morfoespecie Nativa 1 se muestra en dichas parcelas manteniendo pequeñas comunidades de lombrices de tierra.

A pesar de las condiciones climatológicas las adaptaciones de estos organismos son evidentes, por lo que se podrían extender los estudios a los ambientes con restricciones ambientales severas para evaluar cómo se encuentran las comunidades de lombrices de tierra y así poder tener mayores conocimientos sobre dichos organismos, para que estos resulten beneficiosos al ser incorporados al manejo agroecológico de cultivos, y para agilizar la rehabilitación de zonas con grados altos de deterioro.

Ya que hasta el momento solo se ha manejado el 8% de las especies del país, de las cuales la mayoría son exóticas de amplia plasticidad ambiental, podrían aprovecharse estos organismos en función de los hábitos tróficos de las especies y del tipo de manipulación; el manejo podría incluir dos grandes modalidades: i) manejo in situ de especies endogeas, con el objetivo de aprovechar las galerías y excrementos producidos dentro del suelo para incrementar y/o mantener la fertilidad del suelo, la producción en cultivos de importancia agrícola y la rehabilitación de suelos afectados y, ii) cultivo ex situ de especies epigeas degradadoras de desechos orgánicos, con objeto de obtener, a partir de sus excrementos, abono orgánico para su uso en diferentes estrategias de fertilización, cuidando detalladamente este último, ya que como se muestra la baja densidad poblacional de especies epigeas resulta ser un poco alterante.

CONCLUSIONES

a) Se hace el primer registro de lombrices de tierra de la Mixteca Alta de Oaxaca; así mismo se contribuye con nuevos registros de especies nativas para el estado de Oaxaca y el país aportando información para el inventario de especies potenciales utilizadas en la rehabilitación de suelos y mejoramiento de la producción en cultivos agrícolas. Se puede suponer que dichas especies muestran evidente adaptación a fuertes restricciones de humedad y a altos niveles de erosión.

b) Para la rehabilitación de suelos, se propone a la morfoespecie la Nativa 1 como idónea para dicho proceso dentro de la región ya que se presentó en los cinco diversos ambientes de muestreo y, al igual que el resto de las demás especies, muestran una gran capacidad de adaptación a los ambientes estudiados los cuales presentan fuertes restricciones de humedad en la región, por su baja precipitación.

c) Se considera la región (Nochixtlan-Tilantongo) como un santuario de lombrices nativas, a pesar de las severas condiciones de pérdida de suelo por efectos de erosión hídrica y la afectación antropológica. De igual manera se considera que la región puede estar en peligro latente, por la pérdida acelerada de los suelos e inicio de una invasión de especies exóticas.

d) Dado al alto grado de degradación del suelo y la alarmante reducción en la biodiversidad que sustenta sus funciones vitales, es importante priorizar la identificación e implementación de prácticas sustentables de uso de la tierra al mismo tiempo que se desarrollan rápidamente sistemas de monitoreo de calidad de suelo (Velásquez *et al.*, 2007). Esto implica dentro del contexto estar en constante contacto con la fauna edáfica, principalmente con las lombrices de tierra, ya que son uno de los eslabones más importantes en ciclos tróficos del suelo, y son las principales representantes del gremio funcional “ingenieros del ecosistema”.

e) Debido a que la mayoría de los estudios faunísticos, taxonómicos, ecológicos y de manejo han sido realizados en la región más húmeda del país (el Este y Sureste de México), es probable que la mayor cantidad de nuevas especies se encuentren en algunas localidades de esta región aún inexploradas. Se sugieren nuevas investigaciones en la región abarcando zonas inexploradas, así mismo se proponen diversos estudios dentro de la región como el manejo in situ y ex situ de especies endógenas para la aceleración de la rehabilitación de los suelos erosionados. Por lo que respecta a la utilización de la oligoqueto fauna del país, se han llevado a cabo prácticas de manejo con 10 especies, de las cuales solo dos son nativas. Si bien la práctica de manejo más extendida ha sido la técnica ex situ con una especie exótica, las expectativas de la técnica in situ son sumamente promisorias, puesto que la fauna de lombrices del país está dominada por endógenas-geófagas y los efectos de esta técnica ocurren tanto en la dinámica de la materia orgánica como en otros procesos edáficos (porosidad, flujo de gases y nutrientes).

f) Se proponen estudios en regiones con déficit de humedad para conocer qué sucede con estos organismos, estos estudios pueden aprovecharse tanto en el manejo y conservación de especies y mayor conocimiento taxonómico de especies nativas de México.

LITERATURA CITADA

- Andersen N.C. 1987. Investigation of the ecology of earthworms (Lumbricidae) in arable soil. Royal Veterinary and Agricultural University, Copenhagen.
- Anderson, J. M. e Ingram, J. S. I. 1993. Tropical soil biology and fertility: a handbook methods. C.A.B. International. Wallingford, Oxford, U.K.
- Barro M. 1999. Effet de la macrofaune sur la structure et les processus physiques du sol de paturages dégradés d amazonie. Paris: Tesis de Doctorado. Universidad de Paris VI.
- Bouché, M.B. 1972. Lombriciens de France. Ecologie et Systématique. Ann. Sol. Ecol. Anim. Número especial. 72-2 (HS). Paris, FRA. INRA Editions.
- Bouche, M.B. 1977. Strategies lombriciennes. Ecological Bulletins 25: 122-132.
- Bouché, M. B. 1983. The establishment of earthworm communities. En: Earthworm ecology: from Darwin to vermiculture, J. E. Satchell (ed.). Chapman and Hall, London. p. 431-448.
- Bohlen, P. 2002. Earthworms. En: R. Lal (Ed). Encyclopedia of Soil Science. Marcel Dekker Inc. New York, USA. 1476 pp.
- Blakemore, R.J.2006. Cosmopolitan Earthworms – an Eco-Taxonomic Guide to the Peregrine Species of the World (2nd Edition). *Verm Ecology*, Japan.
- Brown G., Pashanasi B., Gilot-Villeneuve C., Patrón C., Senapati B., Giri S., Barois I., Lavelle P., Blakemore R., Spain A., Boyer J. 1998. Effects of earthworms on plant production in the tropics, en 6th international symposium on earthworms ecology, Vigo, España, 93 pp.1998.
- Brown, G., I. Barois, P. Lavelle 2000. Regulation of soil organic matter dynamics and microbial activity in the drilosphere and the role of interactions with other edaphic functional domains Eur. J. Soil Biol, 36: 177–198.
- Brown, G., Fragoso C., Barois, i., Rojas P., Patrón J., Bueno J., Moreno A., Lavelle P, Ordaz V., Rodríguez C. 2001. Diversidad y rol funcional de la macrofauna

edáfica en los ecosistemas tropicales mexicanos. *Acta Zoológica Mexicana* (nueva serie), Núm. Esp. 1: 79-110.

Butt, K., Frederickson R. Morris M. 1997. The Earthworm Inoculation Unit (EIU) technique, an integrated system for cultivation and soil-inoculation of earthworms. *Soil Biology & Biochemistry*. 29(3/4): 251-257.

Cervantes O.G. 2010. Las lombrices de tierra (Annelida: oligochaeta) de Regiones Selectas del Estado de Puebla. Tesis de licenciatura. 74 pp.

Coleman D., Crossley D., Hendrix P. 2004. *Fundamentals of soil ecology*, 2nd ed. Elsevier, Burlington.

Conover W., Iman R. 1981. Rank transformations as a bridge between parametric and nonparametric statistics. *Am. Stat.* 35(3):124-129.

Dominguez, J., Bohlen, J., Parmelee, R. 2004. Earthworms increase nitrogen leaching to greater soil depths in row crop agroecosystems. *Ecosystems* 7:672-685.

Doube M. y Brown G. 1998. Life in a complex community: Functional interaction between earthworms, organic matter, microorganism and plants. In: *Earthworms Ecology*. Ed. Edwards, C. A. Lucie Press. USA 389 p.

Doran J. y Zeiss M. 2002. Soil health and sustainability: managing the biotic component of soil quality. University of Nebraska-Lincoln. *Agronomy & Horticulture*. 6-7: 4-11 pp.

Edwards, C.A. y P.L.Bohlen. 1996. *Biology and Ecology of Earthworms*. Chapman & Hall. Springer. Ed. 3ª. 446 pp.

Falco, L., Momo F., Craig E. 1995. Asociaciones de lombrices de tierra y su relación con la cobertura vegetal en suelos forestados de Argentina. *Revista Chilena de Historia Natural* (68): 523-528pp.

Flores K. y Rojas I. 2012. Plan municipal de desarrollo sustentable 2011- 2013, Distrito: Nochixtlan. 21-25 pp.

- Fragoso, C. 1989. Las lombrices de tierra de la reserva El Cielo. Aspectos ecológicos y sistemáticos. *Biotam* 1(1):38-44pp.
- Fragoso C.1992. Las lombrices terrestres de la Selva Lacandona, Ecología y Potencial Practico. Pp. 101-118 In: M.A. Vásquez-Sánchez y M.A. Ramos (Eds.). Reserva de la Biosfera Montes Azules, Selva Lacandona: Investigación para su uso. Publ. Esp. Ecosfera 1.
- Fragoso y Lavelle, 1992. Earthworm communities of tropical rain forests. *Soil Biology and Biochemistry* 12 (24): 1397-1408.
- Fragoso C., James S., Borges S. 1995. Native earthworms of the North Neotropical Region: current status and controversies. En: P.F. Hendrix (Ed). *Earthworm Ecology and Biogeography in North America*. Lewis Publishers. 67-115.
- Fragoso C. y Reynolds J. 1997. On some earthworms from central and southeastern Mexican mountains, including two new species of the genus *Dichogaster* (Dichogastrini). *Megadrilogica*. 7 (2): 9-19.
- Fragoso C. 1999. Importancia de las lombrices de tierra (Oligochaeta) en el monitoreo de áreas prioritarias de Conservación del centro, este y sureste de México.
- Fragoso C. 2001. Las lombrices de tierra de México (Oligochaeta; Annelida): diversidad, ecología y manejo. *Acta Zoo Mex.* (n.s), Número especial 1.
- Fragoso C., Castillo P., Rojas P. 2001. La importancia de la biota edáfica en México. *Acta Zoo Mex.* (n. s) Número especial 1: 1-10.
- Fragoso, C. 2007. Diversidad y patrones biogeográficos de las lombrices de tierra de México (Oligochaeta, Annelida). *Minhocas na América Latina: Biodiversidad e Ecología*.
- Fragoso, C. y P. Rojas. 2009. Invasiones en el suelo: la lombriz de tierra *Pontoscolex corethrurus* y la hormiga *Solenopsis geminata* en los ecosistemas tropicales de México. *En Manejo agroecológico de sistemas,*

- vol. I., G. Aragón, M. Damián y J. López-Olguín (eds.). Benemérita Universidad Autónoma de Puebla. Puebla. p. 81-107.
- Fragoso C. y P. Rojas. 2010. La biodiversidad escondida. La vida microcómica en el suelo. En: La biodiversidad de México. Inventarios, manejos, usos, informática, conservación e importancia cultural. Coord. Víctor Toledo. FCE, CONACULTA. México. 90-134 pp.
- Fragoso C. y P. Rojas. 2014. Biodiversidad de lombrices de tierra (Annelida: Oligochaeta: Crassicitellata). Revista Mexicana de Biodiversidad. México .p85:197-207.
- García R. 2006. La lombriz de tierra como una biotecnología en agricultura. Universidad Autónoma de Chapingo
- González, A. 2013. Comunidades de lombrices de tierra en un gradiente altitudinal en la vertiente oriente, entre los volcanes Iztaccihuatl y Popocatepetl. Tesis de licenciatura. Escuela de Biología, BUAP.
- Hendrix, P. y Bohlen, P. 2002. Exotic Earthworms invasions in North America: Ecological and policy implications. Bioscience. 52: 801-811.
- Huerta, E., D. de la O de Dios, G. Nuncio 2007. Incremento de la fertilidad del suelo mediante el uso de lombrices de tierra (Glossoscolecidae y Acanthodrilidae) y leguminosas (*Arachis pinto*) en un suelo de traspatio. Ciencia Ergo Sum 2: 172-176.
- SAGARPA, 2008. Consejo municipal de desarrollo rural sustentable Santo Domingo Yanhuitlan, Nochixtlan, Oaxaca. Plan de desarrollo municipal, TRIENIO 2008 – 2010. Gobierno del estado de Oaxaca, México.
- CONAGUA 2014. Normales climatológicas. Disponible en: http://smn.cna.gob.mx/index.php?option=com_content&view=article&id=42&Itemid=75
- Jamieson, B.G.M. 1988. On the phylogeny and higher classification of the Oligochaeta. Cladistics 4: 367-400.

- Jamieson, B.G.M., S. Tillier, A. Tillier, J.L. Justine, E. Ling, S. James, K. McDonald, A. Hugall. 2002. Phylogeny of the Megascolecidae and Crassiclitellata (Annelida, Oligochaeta): combined versus partitioned analysis using nuclear (28S) and mitochondrial (12S, 16S) rDNA. *Zoosystema* 24:707-34.
- Jouquet, P., Dauber, J., Lagerlof, J., Lavelle, P., Lepage, M., 2006. Soil invertebrates as ecosystem engineers: intended and accidental effects on soil and feedback loops. *Applied Soil Ecology* 32, 153–164
- Juárez D., Fragoso C., Ferrera R., Sandoval E., Turrent A., Ocampo I., Ocampo J. 2009. Procesos biológicos del suelo en la restauración de agroecosistemas. En: Manejo Agroecológico de Sistemas. A. Aragón G.A., M.A. Damián H. y López-Olguín J.F. (Eds.). Publicación especial de la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla. Puebla, México. Pp.37-64.
- Juárez Ramón, D., C. Fragoso G., A. Turrent F., E. Sandoval C., R. Ferrera C., I. Ocampo F., J. Ocampo M. 2012. Soil macro and mesofauna in alley cropping systems from two regions of central Mexico. *Scientific Research and Essays* 7(41): 3502-3514.
- Lavelle, P. 1981. La función de las lombrices terrestres en el suelo. *Memorias del XIV Congreso Nacional de Ciencias del Suelo*. Tomo I: 523-535.
- Lavelle, P. 1983. The soil fauna of tropical savannas. II: The earthworms. En: Bourlière F. Ed. *Tropical savannas*. E.S.P.C., Amsterdam, Holanda. p. 485-504.
- Lavelle, P. & B. Kolhmann. 1984. Etude quantitative de la macrofaune du sol dans une forêt tropicale mexicaine (Bonampak, Chiapas). *Pedobiologia* 27:377-393.
- Lavelle, P. y Barois, I. 1988. Potential use of earthworm in tropical soils. In *Earthworms in waste and environmental management*. SPB Academic Publishing, La Haya, pp. 273 – 279.

- Lavelle, P., Barois I., Martin A., Zaidi Z., Schaefer R. 1989. Management of earthworm populations in Agro-ecosystem. A posible way to maintain soil quality? En: Charholm M & K Bergstrom .Ecology of arable lands: 109-122.
- Lavelle, P. 1994. Faunal activities and soil processes: Adaptive strategies that determine ecosystems function. pp: 189-220. En: Transactions of the 15th World Congress of soil Science. Volume 1: Inaugural and state of the art conferences.
- Lavelle, P., I. Barois, E. Blanchart, G. Brown, L. Brusssaard, T. Decaëns, C. Fragoso, J.J. Jiménez, J. Kanyonyo, M. Martínez, A. Moreno, B. Pashanasi, B. Senepati y C. Villenave. 1998. Las lombrices como recurso en los agrosistemas tropicales. Nat. Resour. 34(1): 28-44.
- Lavelle, P. y V. Spain. 2001. Soil ecology. Kluwer Academic Publishers. Netherlands. 652pp.
- Lee, K. 1985. Earthworms. Their ecology and relationships with soils and land use. Academic Press, Sydney. 411pp.
- Mather J y Christensen O. 1988. Surface movement of earthworms in agriculture. Pedobiologia 32: 399-405.
- Ordoñez M. y Rodríguez P. 2008. Oaxaca, el estado con mayor diversidad biológica y cultural de México, y sus productores rurales. Ciencia. Población y migración 4: 1-67.
- Pashanasi, B., P. Lavelle, J. Alegre. 1994. Efecto de lombrices de tierra (*Pontoscolex corethrurus*) sobre el crecimiento de cultivos anuales y características físicas y químicas en suelos de Yurimaguas. Folia Amazónica. 6 (1-2): 5-33.
- Reynolds, J.W. 1977. The Earthworms (Lumbricidae and Sparganophiidae) of Ontario. Royal. Ontario Museum, Toronto, Canada.
- Reynolds, J. 1994. Earthworms of the world. Global Biodiversity. 4: 11-16.

- Römbke J. 1987. Population dynamics of earthworms in a modern soil beech forest. En: Bonvicini Pagliai AM & P Omodeo. On Earthworms. Selected Symposia and Monographs U.Z.I. 2: 199-214.
- Ruppert, E. y R. Barnes. 1996. Zoología de los Invertebrados. Sexta Edición. McGraw-Hill Interamericana. México.
- Sarukhan J., Soberón J., Larson G. 1996. Biological conservation in a high beta diversity country. Biodiversity, Science and Development: Toward a New Partnership. Cab International IUBS, England. pp 243-263.
- Satchell J. 1983. Earthworm ecology. Chapman and Hall. Great Britain. 495 p.
- Struck, T. H., N. Schult, T. Kusen, E. Hickman, C. Bleidorn, D. McHugh y K. M. Halanych. 2007. Annelid phylogeny and the status of Sipuncula and Echiura. BMC Evolutionary Biology 7:57.
- Swift, M., Heal O., Anderson J. 1979. Decomposition in Terrestrial Ecosystems. Blackwell Scientific Publications. Vol. 5. p: 372.
- Universidad Autónoma Chapingo. 1986. Levantamiento fisiográfico y evaluación de la erosión de las Mixtecas Oaxaqueñas Alta y Baja. UACH. Centro Regional Universitario Sur. Pinotepa Nacional, Oaxaca. México.
- Velásquez, E., P. Lavelle & M. Andrade. 2007. GISQ a multifunctional indicator of soil quality. Soil Biol. Biochem. 39: 3066-3080.
- Zar, J.H. 2009. Biostatistical analysis. Prentice & Hall. USA.
- Zrzavý, J., P. Ríha, L. Piálek y J. Janouskovec. 2009. Phylogeny of Annelida (Lophotrochozoa): total-evidence analysis of morphology and six genes. BMC Evolutionary Biology 9:189.

APENDICES

Apendice 1.- Caracterización morfológica de las especies nativas y exóticas de la región de Nochixtlan- Tilantongo Oaxaca.

FAMILIA ACANTHODRILIDAE

NATIVA 1

Categoría Ecológica: Endogea. Diagnósis externa. **Longitud:** 5- 13 cm. **Prostomio:** Zygolobico. **Sin coloración.** **Quetas:** Estrechas. **Clitelo:** 14-20. **Tuberculos Pubertarios:** 17 y 19. **Poros espermatecales:** 14.



Material examinado: Recolección manual.
Nochixtlan-Tilantongo, Oax.
29 de Agosto 2012.

NATIVA 2

Categoría Ecológica: Endogea. Diagnósis externa. **Longitud:** 5- 13 cm. **Prostomio:** Zygolobico. **Sin coloración.** **Quetas:** Estrechas. **Clitelo:** 14-19. **Tuberculos Pubertarios:** 17 y 19. **Poros espermatecales:** 14 y 16.



Material examinado: Recolección manual.
Nochixtlan-Tilantongo, Oax.
29 de Agosto 2012.

NATIVA 3

Categoría Ecológica: Endogea. Diagnósis externa. **Longitud:** 7- 13 cm. **Prostomio:** Tanylobico. **Sin coloración.** **Quetas:** Estrechadas. **Clitelo:** 14-19. **Tuberculos Pubertarios:** 17 y 19. **Sin poros espermatecales.**



Material examinado: Recolección manual.
Nochixtlan-Tilantongo, Oax.
30 de Agosto 2012.

NATIVA 4

Categoría Ecológica: Epigea. Diagnósis externa. **Longitud:** 7- 13 cm. **Prostomio:** Prolobyco. **Coloración:** Gris tornasol. **Quetas:** Estrechadas. **Sin Clitelo.** **Sin tuberculos pubertarios.** **Sin poros espermatecales.** **Primer poro dorsal:** 12. Presenta estructuras morfológicas posiblemente para la reproducción del segmento 16 al 18.



Material examinado: Recolección manual.
Nochixtlan-Tilantongo, Oax.
29 de Agosto 2012

FAMILIA LUMBRICIDAE

Octolasion cyaneum

Categoría Ecológica: Endogea. Diagnósis externa. **Longitud:** 7- 13 cm. **Prostomio:** Tanylobico. **Sin coloración.** **Quetas:** Estrechadas. **Clitelo:** 14-19. **Tuberculos Pubertarios:** 17 y 19. **Sin poros espermatecales.** **Poros masculinos:** segmento 15.



Material examinado: Recolección manual.
Nochixtlan-Tilantongo, Oax.
29 de Agosto 2012

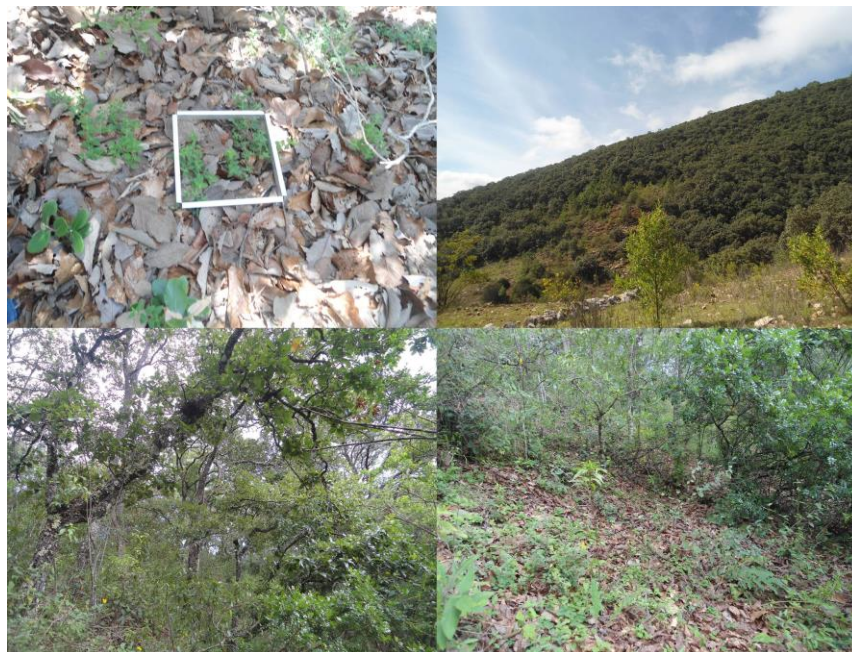
Eisenia rosea

Categoría Ecológica: Endogea. Diagnósis externa. **Longitud:** 7- 13 cm. **Prostomio:** Epylobico. **Sin coloración.** **Quetas:** Extensas. **Clitelo:** 25-33. **Tuberculos Pubertarios:** 28y29. **Sin poros espermatecales.** **Poros masculinos:** segmento 15.



Material examinado: Recolección manual.
Nochixtlan-Tilantongo, Oax.
31 de Agosto 2012

Apéndice 2.-Ambientes sujetos a la investigación en la región de Nochixtlan-Tilantongo, Oaxaca. Se muestra el grado de erosión de dicha región. A) Bosque, B) Pastizal, C) Cultivos, D) Parcelas en rehabilitación y E) Parcelas abandonadas.



A) Bosque. Sitios de Bosque Natural donde se recolectaron las lombrices de tierra.



B) Pastizal. Sitios que se consideraron pastizales idóneos para la recolección de lombrices de tierra.



C) Cultivos. Sitio de Cultivo donde se muestra el déficit de humedad que afecta a gran parte de los cultivos de la región.



D) Parcelas en rehabilitación. Sitio de parcelas en rehabilitación donde aprecia el proceso de recuperación de la vegetación inicial tiene un proceso de 25 años.



E) Parcelas abandonadas. Sitios donde se muestra el gran deterioro de la región si bien este es un paisaje típico del lugar.