

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

SUBDIRECCIÓN DE POSTGRADO



**SISTEMAS DE LABRANZA DE CONSERVACIÓN Y SU RELACIÓN CON LA
POBLACIÓN DE LOMBRICES DE TIERRA EN CULTIVOS ANUALES**

Tesis

Que presenta DANIEL ALDACO GOMEZ

Como requisito parcial para obtener el Grado de
MAESTRO EN CIENCIAS EN INGENIERIA DE SISTEMAS DE PRODUCCION

Saltillo, Coahuila

Junio 2022

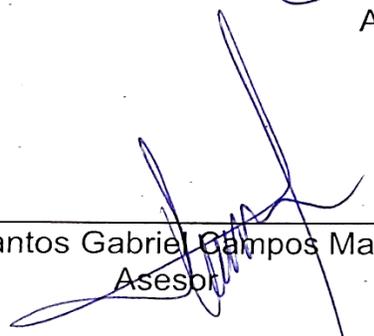
**SISTEMAS DE LABRANZA DE CONSERVACIÓN Y SU RELACIÓN CON LA
POBLACIÓN DE LOMBRICES DE TIERRA EN CULTIVOS ANUALES**

Tesis

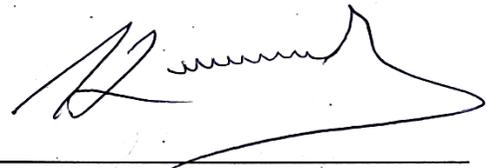
Elaborada por DANIEL ALDACO GOMEZ como requisito para obtener el grado de Maestro en Ciencias en Ingeniería de Sistemas de Producción con la supervisión y aprobación del Comité de Asesoría



Dr. Martín Cadena Zapata
Asesor Principal



Dr. Santos Gabriel Campos Magaña
Asesor



Dr. Alejandro Zermeño González
Asesor.



M.C. Juan Antonio López López
Asesor



Dr. Ernesto Cerna Chávez
Asesor



Dr. Marcelino Cabrera De la Fuente
Subdirector de Postgrado
UAAAN

AGRADECIMIENTOS

Porque estoy completamente seguro de que ni la hoja del árbol se mueve sin la voluntad de Dios. Por eso es por lo que le agradezco el haberme permitido lograr una meta más en mi vida profesional, pues me ha dado conocimiento, sabiduría, paciencia y fortaleza para enfrentar los retos que me han tocado vivir a lo largo de esta nueva etapa que hoy culmina y se cierra con la presentación de este trabajo.

“La palabra enseña y el ejemplo arrastra”. La entereza, responsabilidad, tenacidad y compromiso al trabajo fueron virtudes que me han ayudado a alcanzar mis metas, pues gracias al ejemplo de mis padres, que me enseñaron a usarlas. Así mismo, gracias también a sus consejos que me animaron a no claudicar a pesar de los problemas y adversidades que se presentaron en mi camino.

Doy gracias al Doctor Martín Cadena Zapata por sus enseñanzas, apoyo y colaboración, pues me ayudaron en mi formación. Logrando concluir esta nueva etapa de mi vida. Así pues, también agradecer al Departamento de Maquinaria Agrícola y a sus docentes que me apoyaron en mi trabajo de investigación.

Agradezco el apoyo del CONACYT, pues gracias a la beca obtenida por parte de esta institución pude desarrollarme académicamente y pude culminar una meta más. También agradezco a la UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO y a su DEPARTAMENTO DE POSTGRADO por darme el privilegio de cursar uno de sus programas de investigación.

Cuando una persona se rodea de gente que lo ama es importante en el desarrollo emocional y estable del mismo, pues el apoyo que dan es imprescindible porque sabes que tienes la dicha de contar con ellos y que nunca te abandonaran. Por eso, por último, pero no menos importante, agradezco a mi familia y personas queridas que han estado a mi lado en las buenas y malas durante este proceso de formación y culminación de este.

DEDICATORIAS

Este trabajo está dedicado principalmente a Dios que es mi razón de ser, porque a pesar de todo siempre ha estado a mi lado en todo momento, guiándome, fortaleciéndome y dándome la virtud de poder seguir en este caminar.

Dedico este trabajo a mis padres por ser mi inspiración, ya que con su ejemplo y cariño me han alentado a continuar y luchar a pesar de los obstáculos para alcanzar mis sueños y convertirlos en una realidad.

Dedico también a mi familia y a mis seres queridos este trabajo que con su apoyo y cariño me acompañaron y ayudaron a seguir desarrollándome a no darme por vencido y llegar hasta el final.

Por último, dedico esta tesis a mi ALMA TERRA MATER por abrirme nuevamente las puertas para continuar con este proceso de formación a través de los docentes que forman parte del cuerpo académico del postgrado que concluí y tuve el privilegio de conocer los cuales me transmitieron no solo conocimiento si no habilidades, destrezas y experiencias indispensables para mi formación.

INDICE GENERAL

RESUMEN	X
ABSTRACT	xii
INTRODUCCIÓN	1
HIPÓTESIS.....	4
OBJETIVO GENERAL.....	4
OBJETIVOS ESPECÍFICOS	4
REVISIÓN DE LITERATURA	5
1. Sistemas de Labranza.....	5
1.1 Labranza Convencional	6
1.2 Labranza Vertical.....	7
1.3 Labranza de Conservación	7
1.3.1 Cero Labranza y/o Siembra Directa	8
2. Macrofauna Edáfica	9
2.1 Lombrices.....	12
3. Rotación de Cultivos	16
4. Monocultivo	17
MATERIALES Y MÉTODOS	19
Distribución de las Unidades Experimentales.....	19
Diseño Experimental.....	21
Recolección en Campo y Cuantificación de Lombrices en suelo	21
Análisis Estadístico y de Información.....	22
RESULTADOS Y DISCUSIÓN	23
Efecto de los sistemas de labranza en la población de lombrices en dos estratos. Ciclo verano-otoño 2020.	23
Primer estrato del suelo (0-10 cm)	23
Segundo estrato del suelo (10-20 cm)	25
Efecto de los factores ambientales en la población de lombrices. Ciclo verano-otoño 2020.	26
Efecto de los sistemas de cultivo en la población de lombrices en dos estratos. Ciclo verano-otoño 2020.....	28
Primer estrato del suelo (0-10 cm)	28
Segundo estrato del suelo (10-20 cm)	29

Efecto de los sistemas de labranza en la población de lombrices en dos estratos. Ciclo invierno-primavera 2021.	31
Primer estrato del suelo (0-10 cm)	31
Segundo estrato del suelo (10-20 cm)	34
Efecto de los factores ambientales en la población de lombrices. Ciclo invierno-primavera 2021.	35
Efecto de los sistemas de cultivo en la población de lombrices en dos estratos. Ciclo invierno-primavera 2021.	37
Primer estrato de suelo (0-10 cm)	37
Segundo estrato de suelo (10-20 cm)	38
Efecto de los sistemas de labranza en la población de lombrices en dos estratos. Ciclo verano-otoño 2021.	40
Primer estrato de suelo (0-10 cm)	40
Segundo estrato de suelo (10-20 cm)	42
Efecto de los factores ambientales en la población de lombrices. Ciclo verano-otoño 2021.	44
Efecto de los sistemas de cultivo en la población de lombrices en dos profundidades. Ciclo verano-otoño de 2021.	46
Primer estrato de suelo (0-10 cm)	46
Segundo estrato de suelo (10-20 cm)	47
CONCLUSIONES	50
REFERENCIAS	51

INDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Incremento y/o decremento en la población de lombrices en tres tipos de labranza en diferentes fechas de cultivo. Estrato de 0 a 10 cm. Verano-otoño 2020. Saltillo, Coahuila. 24

Cuadro 2. Incremento y/o decremento en la población de lombrices en tres tipos de labranza en diferentes fechas de cultivo. Estrato de 10 a 20 cm. Verano-otoño 2020. Saltillo, Coahuila. 26

Cuadro 3. Incremento y/o decremento en la población de lombrices en dos sistemas de cultivo en diferentes fechas de muestreo. Estrato de 0 a 10 cm. Verano-otoño 2020. Saltillo, Coahuila. 29

Cuadro 4. Incremento y/o decremento en la población de lombrices en dos sistemas de cultivo en diferentes fechas de muestreo. Estrato de 10 a 20 cm. Verano-otoño 2020. Saltillo, Coahuila. 31

Cuadro 5. Incremento y/o decremento en la población de lombrices en tres tipos de labranza en diferentes fechas de cultivo. Estrato de 0 a 10 cm. Invierno-primavera 2021. Saltillo, Coahuila. 33

Cuadro 6. Incremento y/o decremento en la población de lombrices en tres tipos de labranza en diferentes fechas de cultivo. Estrato de 10 a 20 cm. Invierno-primavera 2021. Saltillo, Coahuila. 35

Cuadro 7. Incremento y/o decremento en la población de lombrices en dos sistemas de cultivo en diferentes fechas de muestreo. Estrato de 0 a 10 cm. Invierno-primavera 2021. Saltillo, Coahuila. 38

Cuadro 8. Incremento y/o decremento en la población de lombrices en dos sistemas de cultivo en diferentes fechas de muestreo. Estrato de 10 a 20 cm. Invierno-primavera 2021. Saltillo, Coahuila. 39

Cuadro 9. Incremento y/o decremento en la población de lombrices en tres tipos de labranza en diferentes fechas de cultivo. Estrato de 0 a 10 cm. Verano-otoño 2021. Saltillo, Coahuila. 41

Cuadro 10. Incremento y/o decremento en la población de lombrices en tres tipos de labranza en diferentes fechas de cultivo. Estrato de 10 a 20 cm. Verano-otoño 2021. Saltillo, Coahuila. 44

Cuadro 11. Incremento y/o decremento en la población de lombrices en dos sistemas de cultivo en diferentes fechas de muestreo. Estrato de 0 a 10 cm. Verano-otoño 2021. Saltillo, Coahuila. 47

Cuadro 12. Incremento y/o decremento en la población de lombrices en dos sistemas de cultivo en diferentes fechas de muestreo. Estrato de 10 a 20 cm. Verano-otoño 2021. Saltillo, Coahuila. 49

INDICE DE FIGURAS

Figura 2. Efecto de los sistemas de labranza en la población de lombrices. Estrato 0 a 10 cm. Verano-otoño 2020. Saltillo, Coahuila. 24

Figura 3. Efecto de los sistemas de labranza en la población de lombrices. Estrato 10 a 20 cm. Verano-otoño 2020. Saltillo, Coahuila. 25

Figura 4. Temperatura, precipitación y humedad relativa durante el ciclo de cultivo verano-otoño 2020. Saltillo, Coahuila. 27

Figura 5. Efecto de los sistemas de cultivo en la población de lombrices. Estrato 0 a 10 cm. Ciclo verano-otoño 2020. Saltillo, Coahuila. 28

Figura 6. Efecto de los sistemas de cultivo en la población de lombrices. Estrato 10 a 20 cm. Ciclo verano-otoño 2020. Saltillo, Coahuila. 30

Figura 7. Efecto de los sistemas de labranza en la población de lombrices. Estrato 0 a 10 cm. Ciclo invierno-primavera 2021. Saltillo, Coahuila. 32

Figura 8. Efecto de los sistemas de labranza en la población de lombrices. Estrato 10 a 20 cm. Ciclo invierno-primavera 2021. Saltillo, Coahuila. 34

Figura 9. Temperatura, precipitación y humedad relativa durante el ciclo de invierno-primavera 2021. Saltillo, Coahuila. 36

Figura 10. Efecto de los sistemas de cultivo en la población de lombrices. Estrato 0 a 10 cm. Ciclo de invierno-primavera 2021. Saltillo, Coahuila. 37

Figura 11. Efecto de los sistemas de cultivo en la población de lombrices. Estrato 10 a 20 cm. Ciclo invierno-primavera 2021. Saltillo, Coahuila. 39

Figura 12. Efecto de los sistemas de labranza en la población de lombrices. Estrato 0 a 10 cm. Ciclo de verano-otoño 2021. Saltillo, Coahuila. 40

Figura 13. Efecto de los sistemas de labranza en la población de lombrices. Estrato 10 a 20 cm. Ciclo verano-otoño 2020. Saltillo, Coahuila. 43

Figura 14. Temperatura, precipitación y humedad relativa durante el ciclo de cultivo de maíz forrajero verano-otoño 2021. Saltillo, Coahuila. 45

Figura 15. Efecto de los sistemas de cultivo en la población de lombrices. Estrato 0 a 10 cm. Ciclo verano-otoño 2021. Saltillo, Coahuila. 46

Figura 16. Efecto de los sistemas de cultivo en la población de lombrices. Estrato 10 a 20 cm. Ciclo verano-otoño 2020. Saltillo, Coahuila. 48

RESUMEN

**SISTEMAS DE LABRANZA DE CONSERVACIÓN Y SU RELACIÓN CON LA
POBLACIÓN DE LOMBRICES DE TIERRA EN CULTIVOS ANUALES**

POR:

DANIEL ALDACO GOMEZ

MAESTRO EN CIENCIAS EN INGENIERIA DE SISTEMAS DE PRODUCCION
UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

DR. MARTÍN CADENA ZAPATA-ASESOR

Saltillo, Coahuila

Junio 2022

Las comunidades de macrofauna del suelo varían en su composición, abundancia y diversidad, en correlación con el estado de perturbación del suelo causado por la labranza. Las lombrices de tierra forman parte de grupos apropiados para evaluar la calidad del suelo, pues su alta sensibilidad a los cambios en el entorno edáfico las hace elementales para monitorear propiedades biológicas de los suelos. Por eso, el objetivo del presente trabajo fue determinar el efecto de tres sistemas de labranza, en la dinámica de las poblaciones de lombriz de tierra en cultivos anuales, en tres ciclos de cultivo y dos profundidades de suelo. Los ciclos de cultivo fueron los siguientes: verano–otoño 2020, invierno-primavera 2021 y verano-otoño 2021, y los dos estratos fueron: 0-10cm y 10-20 cm. Se evaluaron tres sistemas de labranzas: Siembra Directa (SD), Labranza Vertical (LV) y Labranza Convencional (LC) como testigo, las unidades experimentales fueron los cultivos agrupados según el ciclo: monocultivo (**triticale: gramínea - triticale: gramínea**) y rotación (**maíz: gramínea - frijol: leguminosa**) con un diseño de bloques completos al azar y tres repeticiones. Los resultados mostraron que la SD presentó mayor número de lombrices m² con relación a la LV y la LC ($\alpha \leq 0.05$) en casi todos los muestreos de cada ciclo. Los efectos ambientales de humedad relativa, precipitación y temperatura fueron determinantes en la presencia de lombrices al inicio y al final de cada ciclo, por lo tanto, se entiende que los efectos de los sistemas de labranza tuvieron presencia por su naturaleza en las poblaciones de lombriz de tierra, pero influenciados por el ambiente.

Palabras Clave: Sistemas de Labranza, Movimiento del Suelo, Lombrices, Ambiente, Ciclo de Cultivos.

ABSTRACT

Soil macrofauna communities vary in their composition, abundance, and diversity, in correlation with the state of soil disturbance caused by tillage. Earthworms are part of appropriate groups to evaluate soil quality, since their high sensitivity to changes in the edaphic environment makes them essential to monitor biological properties of soils. Therefore, the objective of this study was to determine the effect of three tillage systems on the dynamics of earthworm populations in annual crops, in three crop cycles and two soil depths. The cultivation cycles were the following: summer-autumn 2020, winter-spring 2021 and summer-autumn 2021, and the two strata were: 0-10cm and 10-20cm. Three farming systems were evaluated: Direct Seeding (SD), Vertical Farming (LV) and Conventional Farming (LC) as a control, the experimental units were the crops grouped according to the cycle: monoculture (triticale: gramineae - triticale: gramineae) and rotation (maize: gramineae - beans: legume) with a randomized complete block design and three repetitions. The results showed that the SD presented a higher number of worms m² in relation to the LV and the LC ($\alpha \leq 0.05$) in almost all the samplings of each cycle. The environmental effects of relative humidity, precipitation and temperature were decisive in the presence of earthworms at the beginning and at the end of each cycle, therefore, it is understood that the effects of the tillage systems had a presence due to their nature in the earthworm populations. of land but influenced by the environment.

Keywords: Farming Systems, Soil Movement, Earthworms, Environment, Crop Cycle.

INTRODUCCIÓN

En México la agricultura ha tenido una producción fluctuante versus un consumo que ha crecido constantemente a lo largo de los años. Esto ha obligado a los agricultores a incrementar sus rendimientos, pero con una mejor calidad, promoviendo procesos agrícolas intensivos cada vez más mecanizados, lo que ha conducido a la degradación y compactación de los suelos, y en casos más graves a efectos irreversibles como la erosión de los suelos. Además, debido al avance tecnológico que surge por la necesidad de producir más, se demanda que utilicen labores agrícolas más intensas, con la creencia de que entre más se disgrega el suelo, es mejor para la producción de los cultivos (Navarro *et al.*, 2000). Demuner *et al.* (2013) mencionan que la compactación en los suelos agrícolas es un problema que conlleva a la utilización de energía en las labores, alto consumo de recursos y la degradación del suelo provocando que pierdan sus propiedades obteniendo bajos rendimientos en la producción de cultivos así como también indican Caicedo *et al.* (2004) llegando a reducir drásticamente la rentabilidad de éste, debido a pérdidas económicas en términos del bajo rendimiento de los cultivos, poca respuesta a la aplicación de fertilizantes, mala germinación de las semillas, incidencia de problemas fitosanitarios por hongos, bacterias y nemátodos, susceptibilidad a la erosión y por lo tanto mayor costo de la labranza.

La labranza es básicamente una serie secuencial de actividades que conducen, a través del tiempo a obtener un suelo ideal, para el desarrollo óptimo de las raíces de las plantas y que éstas puedan explorar el mayor volumen de suelo posible para una mejor disponibilidad de los nutrientes que permita que las plantas expresen todo su potencial genético (Caicedo *et al.*, 2004). En otras palabras, el objetivo de la labranza radica en maniobrar mecánicamente el suelo, con el fin de mejorar su estructura y disminuir la resistencia a la penetración de las raíces (García *et al.*, 2018). Existen diferentes tipos de labranza, dentro de los cuales se encuentran: la Labranza Convencional, Labranza Vertical y Labranza de Conservación. Esta última hace referencia a la labranza reducida y siembra

directa o labranza cero, tecnologías que han sido investigadas en el mundo desde la década de los 50's y su implementación se ha incrementado a partir de la década de los 70's (Caicedo *et al.*, 2004). La Labranza de Conservación es un concepto relativamente nuevo en el uso y manejo de los suelos, que consiste en sembrar cualquier tipo de cultivo sin remover los residuos de la cosecha anterior y labrar mínimamente el suelo lo que contribuye a mejorar la estructura del suelo, incrementa su fertilidad y conservan su humedad (Báez y Aguirre, 2011). A nivel mundial se estima que se siembran alrededor de 100 millones de ha con labranza de conservación, destacando países como: Estados Unidos, Brasil, Argentina, Canadá, Australia, India y China que ocupan el 96% de esta superficie (Galván, 2006).

Es importante que los suelos agrícolas sean de calidad y posean buenas características físicas, para que las plantas puedan obtener los nutrientes del suelo con mayor facilidad. Es por eso, que si la física del suelo falla, también lo hará la química y la biología de éste (Caicedo *et al.*, 2004). Por lo tanto, se han utilizado indicadores para predecir la salud del suelo, a partir del estado de sus propiedades físicas, químicas y/o biológicas (Cabrera, 2012). La forma en la que se manifiesta es con el concepto de calidad del suelo, que es la capacidad para mantener el crecimiento y la productividad de las plantas y del ecosistema que las rodea. Las comunidades de macrofauna del suelo varían en su composición, abundancia y diversidad, en correlación con el estado de perturbación del suelo causado por la labranza, lo que permite valorar estas comunidades como bioindicadores de calidad o alteración ambiental (Cabrera, 2012). Como parte de los indicadores biológicos de la calidad del suelo, la macrofauna garantiza la calidad y fertilidad de este, en sistemas naturales, agrícolas y forestales. Muchos organismos de la macrofauna son importantes en la transformación de las propiedades físicas y químicas del suelo, y algunos actúan como ingenieros del ecosistema en la formación de poros, la infiltración de agua y la humificación y mineralización de la materia orgánica (Cabrera, 2012). Dentro de los ingenieros del suelo Ríos (2003) engloba a las lombrices, termitas, hormigas, larvas de algunas especies de escarabajo, entre otros. El argumenta que este grupo recibe

ese nombre porque causan importantes cambios físicos en él, modificando el ambiente y alterando la disponibilidad de hábitats y alimentos para otros animales y plantas. Por sus características, las lombrices de tierra forman parte de uno de los grupos más apropiados para evaluar la calidad del suelo, pues su alta sensibilidad a los cambios en el entorno edáfico las hace elementales para monitorear propiedades biológicas de los suelos. La labranza reducida y la siembra directa son en general consideradas menos agresivas para las poblaciones de lombriz pues existen numerosos estudios que indican mayores densidades de lombrices de tierra con respecto al sistema convencional de labranza (Domínguez *et al.*, 2009). Este efecto se manifiesta ya que el daño mecánico que generan las labranzas de conservación en el suelo es mínimo, por lo tanto, no hay un daño directo a las poblaciones de lombrices.

Navarro *et al.* (2000) sugieren que una explotación eficiente del suelo en la producción de cultivos debe considerar los principios básicos de sustentabilidad, que se traducen en procesos productivos ecológicamente sanos, económicamente viables, socialmente justos, humanos y adaptables, con la aplicación adecuada de los adelantos e innovaciones de la ciencia y la tecnología. Así pues, la tendencia del laboreo actual de los suelos agrícolas debe estar encaminada hacia el uso de sistemas de labranza que permitan un ahorro en recursos energéticos, agrícolas y ecológicos, y ayuden a evitar un deterioro de las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo. Con el desarrollo de tecnologías de agricultura de conservación como: el uso de la labranza reducida y/o cero, la utilización de coberturas vegetales y la rotación de cultivos, entre otras técnicas de conservación, se pretende modificar el modelo de la agricultura convencional a un sistema de producción realmente sostenible, con un uso racional de agro insumos que permitan disminuir los costos de producción pero que puedan mantener la productividad del suelo.

HIPÓTESIS

Con la siembra directa se mantiene una población de lombrices de tierra mayor que con los sistemas de labranza vertical y convencional.

OBJETIVO GENERAL

- Determinar el efecto de tres sistemas de labranza, en la dinámica de las poblaciones de lombriz de tierra en cultivos anuales, en tres ciclos de cultivo y dos profundidades de suelo.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Evaluar la abundancia de poblaciones de lombriz de tierra en tres sistemas de labranza (labranza convencional, labranza vertical y siembra directa), en dos profundidades del suelo (0-10 cm y 10-20 cm) durante tres sistemas de cultivos anuales.
- Cuantificar las poblaciones de lombriz en los sistemas de labranza convencional, vertical y siembra directa, en dos diferentes profundidades durante tres ciclos de cultivos anuales.
- Cuantificar cual sistema de labranza incrementa o decrementa el número de lombrices de tierra en las dos diferentes profundidades durante tres ciclos de cultivos anuales.
- Identificar el sistema labranza que conserve mejor las poblaciones de lombriz de tierra en las dos diferentes profundidades durante tres ciclos de cultivos anuales.

REVISIÓN DE LITERATURA

1. Sistemas de Labranza

Durante siglos la labranza ha sido fundamental para la producción agrícola, tanto para la preparación de la cama de siembra como para el control de malezas. Hoy en día el concepto de la labranza ha cambiado, pero a pesar de ello no siempre se omite, pues es un objetivo loable. Sin embargo, en forma significativa, se alteran las propiedades y los procesos involucrados. Baker y Saxton (2008) argumentan que, en este proceso, el suelo sin disturbios es cortado, su ciclo es acelerado, impactado, invertido, comprimido, abierto y desorganizado en un esfuerzo para romperlo físicamente y enterrar las malezas, exponer sus raíces para que se sequen o destruirlas por el corte.

De acuerdo con Rivera (2003), al arar y rastrillar el suelo, se le pulveriza totalmente, destruyendo de esta forma la estructura natural favorable del suelo, y en ocasiones, la arada que se efectúa es tan profunda e intensiva que se erosiona la capa productiva del suelo, dejando en la superficie el segundo horizonte pobre en fertilidad y condiciones físicas. En ocasiones se realizan prácticas agrícolas de nivelación, laboreo y tráfico de maquinaria pesada en condiciones de humedad alta del suelo, lo que conduce a la compactación y por lo tanto se destruye totalmente su estructura natural, dejándolos expuestos a los procesos erosivos (Cadena et al., 2012).

Algunos productores interpretan la labranza como un proceso de manipulación física del suelo para llegar a controlar las malezas, afinar la tierra, darle suavidad, aireación, porosidad artificial, friabilidad y contenido óptimo de humedad, para facilitar la siembra y la cobertura de las semillas (Baker y Saxton, 2008). En palabras concisas, el objetivo principal de la labranza es crear un suelo libre de malezas, suave y manejable con el fin de corregir y controlar algún factor limitante y/o proceso degradativo que posea el suelo para que las plantas tengan un desarrollo radicular favorable que permita que expresen su potencial genético sin problemas. El laboreo del suelo también permite que las raíces de las plantas

puedan explorar el mayor volumen posible de este para que los nutrientes estén disponibles para ellas, ya que, si las características físicas no son buenas, los elementos que se encuentran en el suelo, muy difícilmente se encontrarán disponibles para que las plantas puedan asimilarlos.

1.1 Labranza Convencional

Es aquella labranza que se ha utilizado de manera tradicional a lo largo del tiempo, la cual está compuesta por una serie de pasos con diferentes implementos agrícolas, como, por ejemplo: uno o dos pases de arado de discos y dos o tres pases de rastra, más un pase de la escrope si es requerido. Su finalidad es aflojar y triturar el suelo, para obtener trozos más pequeños y manejables, volteando el prisma del suelo con arado y cortando con rastra u otro implemento.

La labranza convencional se divide en dos procesos principales: la labranza primaria y la labranza secundaria. La primera es aquella que inicia en la preparación del suelo, con arado de disco de vertedera, cinceles, subsolador o rastras pesadas para descompactar capas endurecidas e incorporar materia orgánica, con el fin de facilitar el desarrollo de las raíces de los cultivos, es más agresiva y profunda que la secundaria y produce mayor rugosidad en el terreno a una profundidad mayor de 15 cm (Caicedo et al., 2004). La labranza secundaria se realiza posterior a la primaria que remueve el suelo superficialmente, proporciona mayor fraccionamiento de terrones superficiales y tiende a nivelar el terreno, se hace con rastra de discos y rastrillos, su profundidad de acción varía entre 0 y 15 cm (Caicedo et al., 2004). Sin embargo, una mecanización continua y enérgica conlleva a la compactación y a la formación de un suelo endurecido en sus capas más profundas. Así mismo, las actividades de labranza tradicional contribuyen a acelerar los procesos de erosión que llevan a la degradación del suelo y a largo plazo, a una disminución de la producción agrícola (García. et al., 2018).

1.2 Labranza Vertical

Es aquella que se realiza con cinceles y subsolador para "aflojar" capas compactadas y/o endurecidas, con el fin de proporcionar mayor infiltración y crecimiento de las raíces. El suelo entra en contacto con el implemento solo en las líneas donde van acopladas las estructuras verticales (puntas) y produce ruptura sin invertir el perfil del suelo (Caicedo et al., 2004).

1.3 Labranza de Conservación

Desde los inicios de la década de 1960 los agricultores han adoptado alguna forma de labranza de conservación para salvaguardar el suelo del planeta, para reducir la cantidad de combustible que es quemado para la producción de alimentos, y de esta forma reducir la contaminación de las aguas corrientes, que reducen la erosión eólica y la degradación de la calidad del aire, así como para sostener otras causas nobles y genuinas (Baker y Saxton, 2008).

Delgado *et al.* (2011) indican que en los ecosistemas se encuentran diferentes servicios ambientales, tales como: la polinización, la regulación hídrica, la eliminación de la contaminación, el reciclaje de nutrientes en los suelos, entre muchos otros. Por lo tanto, la transformación de los ecosistemas naturales con fines agrícolas o mineros resulta en un impacto directo sobre la composición y la estructura de la fauna que lo habita, así como en el funcionamiento de este recurso y en general de todo el ecosistema (Cabrera *et al.*, 2017).

Alrededor de los últimos años se han ido desarrollado diferentes sistemas de producción agrícolas para contribuir a la conservación del suelo y su calidad (Chamorro et al., 2017). Las técnicas de agricultura de conservación son aquellas que previenen pérdidas de tierra cultivable mientras se regeneran las tierras degradadas y promueve el mantenimiento de una cubierta de suelo con una mínima perturbación mejorando la biodiversidad y los procesos biológicos naturales (FAO, 2022).

Reicosky y Saxton (2008) enuncian que la agricultura de conservación requiere la implementación de tres principios o pilares: 1) mínimo disturbio del suelo por la ausencia de labranza, 2) distintas rotaciones de cultivos y cultivos de cobertura,

3) cubierta continua de residuos vegetales. En el concepto de Labranza de Conservación se le incluye principalmente el de “no labranza”, “labranza cero” y “siembra directa” por ser estos los sistemas más avanzados en cuanto a agricultura de conservación se refieren. Estos términos son intercambiados a menudo pues a su vez entran en el concepto de Agricultura de Conservación, ya que este tiene como objetivo un mínimo disturbio del suelo, promueve efectos positivos sobre la calidad del suelo frente a los sistemas de labranza convencionales y tiene un enfoque especial en el papel de las lombrices de tierra, pues estas modifican la estructura del suelo y el rendimiento de los cultivos, pues como lo mencionan Castellanos-Navarrete et al. (2012) en su trabajo de investigación donde se encontró que con la aplicación de la tecnología de agricultura de conservación resultó una mejora en la mayoría de los parámetros relacionados con la calidad del suelo, especialmente en la superficie del suelo.

Tenido en cuenta los aspectos positivos de la labranza de conservación Caicedo et al. (2004) mencionan que, con la incorporación de la tecnología de labranza de conservación, a corto plazo se disminuye el sobre laboreo, en consecuencia, se reducen los costos de producción, así mismo a largo plazo, se reduce la erosión, permitiendo así la conservación de las propiedades químicas, físicas y biológicas del suelo, haciendo más competitiva y sostenible la producción de cultivos.

1.3.1 Cero Labranza y/o Siembra Directa

En la implementación de la Cero Labranza y/o Siembra Directa son pocos o nulos los procesos físicos y de control de la labranza tradicional sobre el suelo que tienen lugar previo a la siembra. Cabe mencionar que para el uso de esta tecnología se requiere de suelos que tengan buenas propiedades físicas, químicas y biológicas.

En esta labranza se aplican otras medidas de control, como, por ejemplo: los herbicidas que sustituyen el movimiento del suelo para arrancar, enterrar o exponer a la superficie las malezas que persistan en el cultivo. También interviene la rotación de cultivos, la no labranza (anteriormente mencionada),

abonos verdes y una de las características más importantes es el dejar un gran porcentaje de los residuos de la cosecha anterior, los cuales permanecen en la superficie del suelo todo el tiempo que sea necesario, de la manera que sea más conveniente; conservado de pie, tumbado o triturado sobre él suelo. Recientemente, la Labranza de Conservación, en especial la Labranza Cero (LC) y Labranza Mínima (LM), han mostrado una gran eficiencia en el proceso de secuestro de Carbono, así como en la recuperación de la Materia Orgánica (Báez y Aguirre Medina, 2011).

Si bien algunos países, como: Argentina, Brasil y Paraguay, ya producen el 50 por ciento o más de sus alimentos por el sistema de Cero Labranza, se estima que a nivel mundial éste solamente cubre entre el 5% y el 10% de la producción de alimentos (Baker y Saxton, 2008).

No Labranza, Siembra Directa, así como Cero Labranza son términos que se utilizan como sinónimos para nombrar el proceso que se utiliza en la siembra de un cultivo en un suelo que no fue labrado previamente. Baker y Saxton (2008) argumentan que el término “no labranza” se comenzó a usar en los Estados Unidos de América, pero últimamente parece preferirse el término “siembra directa” ya que la palabra negativa «no» causa una aparente ambigüedad cuando es usada para describir un proceso positivo.

2. Macrofauna Edáfica

La biota edáfica se constituye por un número muy extenso de seres vivos que abundan en él, la fauna del suelo forma parte del 10 % de esta, y se constituye por organismos que pasan todo su ciclo de vida o una parte de él, dentro del suelo, sobre la superficie inmediata de éste, en la hojarasca superficial, en los troncos caídos en descomposición y en otros ambientes anexos llamados suelos suspendidos (Brown *et al.*, 2001). De acuerdo con el tamaño del animal adulto y su forma de vida, existe una clasificación primaria de la fauna del suelo que la divide en microfauna, mesofauna y macrofauna (Cabrera *et al.*, 2017).

La microfauna está compuesta por organismos que miden menos de 0.2 mm de longitud y 0.1 mm de diámetro, y generalmente se encuentran en el agua que

está presente entre las partículas del suelo. Algunos de estos organismos son: nemátodos, protozoos y rotíferos, entre otros.

En la mesofauna se encuentran individuos que miden de 4 mm de longitud y entre 0.2 a 2 mm de diámetro. Principalmente viven en la superficie del suelo en donde generalmente hay hojarasca y/o en los primeros centímetros dentro del suelo. Los individuos que se encuentran en este grupo son: ácaros del suelo, colémbolos, proturos, dipluros, trips, entre otros.

Por último, la macrofauna se compone por seres vivos que tienen una longitud igual o mayor de 10 mm y un ancho de mayor de 2 mm, por eso son fáciles de detectar, pues se pueden observar a simple vista. Estos seres vivos se encuentran dentro del suelo y/o en la superficie de éste y se componen principalmente por lombrices de tierra, cochinillas, milpiés, ciempiés, arácnidos y algunos insectos.

La macrofauna del suelo es un grupo de organismos funcionales que regulan grandes e importantes procesos ecosistémicos en el medio edáfico, como el proceso de formación y descomposición de la materia orgánica, la construcción de estructuras biogénicas y el reciclaje de nutrientes (Tapia *et al.*, 2019), y junto con la agregación que forman en el suelo, determinada a través de su morfología, se encuentran fuertemente relacionada con sus propiedades, como la infiltración y el almacenamiento de agua y carbono (Lavelle *et al.*, 2014).

También Cabrera *et al.* (2017) mencionan que muchos organismos que componen la macrofauna edáfica (lombrices de tierra, termitas, hormigas) tienen una gran importancia en las transformaciones de la materia orgánica y las propiedades físicas del suelo, construyendo canales y poros que favorecen la aireación, el drenaje, la estabilidad de agregados y la capacidad de retención de agua; siendo considerados por ello ingenieros del suelo y del ecosistema. Además, crean estructuras en donde se reserva una gran cantidad de nutrientes llamados reservorios biogénicos (heces de lombrices y nidos de termitas y hormigas), controlando con esto la disponibilidad de alimento y nutrientes para

otros organismos que ahí habitan y promueven la activación de la microflora del suelo a través de distintas interacciones (Cabrera et al., 2017).

Por otra parte, a partir de su función e impacto en el suelo, de su forma de vida y de su fuente de alimentación o hábito alimentario, la macrofauna se puede dividir en distintos grupos funcionales, entre ellos los detritívoros, los herbívoros y los depredadores (Zerbino *et al.*, 2008), y con una presencia especial se encuentran los ingenieros del suelo.

La presencia del grupo funcional de los detritívoros es principalmente en la hojarasca, en la superficie e interior del suelo. Intervienen en la descomposición de la materia orgánica, triturando los restos vegetales y animales especialmente de aquellos organismos que habitan en la superficie. Sin este trabajo, serían menos efectivos los procesos de descomposición de la materia orgánica y el reciclaje de nutrientes en el suelo.

Por su parte los herbívoros se alimentan de las partes vivas de las plantas, esto tiene una influencia en la cantidad de materia vegetal que entra al suelo. Los depredadores en cambio consumen pequeños vertebrados e invertebrados, lo que ayuda a modificar el equilibrio de sus poblaciones y los recursos disponibles en el ecosistema y los ingenieros del suelo son aquellos que forman parte de un grupo relacionado especialmente con las modificaciones físicas provocadas en el suelo. Estos individuos viven principalmente en el interior del suelo y son autores de la formación de cavidades y galerías que ayudan y mejoran la infiltración de oxigenación y de agua al suelo. También forman parte de los organismos que ayudan a descomponer la materia orgánica por su interacción con algunos microorganismos e influyen en el proceso de formación de la estructura del suelo por medio de sus heces fecales, que son el producto de la mezcla de material del suelo y material orgánico en sus intestinos, constituyendo con esto reservorios de nutrientes.

Por la función ecológica que desempeñan estos organismos y su relación con las propiedades del suelo, tanto físicas como químicas, que determinan su

establecimiento, son valorados como indicadores de la calidad o fertilidad del suelo (Cabrera, 2014).

Identificar los indicadores de la calidad del suelo se ha convertido en un trabajo difícil actualmente a nivel mundial, ya que por la importancia de este recurso para la producción vegetal y para la alimentación animal y humana se espera obtener mayor conocimiento en un tiempo relativamente corto, pues la demanda de los productos agropecuarios es cada vez más frecuente y en cantidades cada vez mayores.

Algunos otros autores mencionan la conexión que hay entre biota del suelo y los servicios ambientales, como el secuestro y liberación del Carbono, la regulación de la composición de gases atmosféricos y el descenso de los efectos del cambio climático (Swift *et al.*, 2012).

Cabrera (2014) señala que la diversidad y la abundancia de la macrofauna variará en función de la intensidad de uso de la tierra y la aplicación de diferentes prácticas agrícolas, por lo tanto, un manejo adecuado del suelo proporcionará una mayor variedad y cantidad de organismos edáficos que puedan ayudar a asegurar el reciclaje de nutrientes, un rápido crecimiento de los cultivos y un buen sistema productivo y además sostenible.

2.1 Lombrices

Las lombrices de tierra forman parte de la macrofauna del suelo y son las principales representantes del grupo funcional denominado como: los ingenieros del suelo. Este grupo involucra organismos capaces de modificar el ambiente edáfico a través de sus actividades mecánicas y al mismo tiempo producen estructuras físicas por medio de las cuales pueden modificar la disponibilidad de recursos para otros organismos.

Por su parte la importancia de las lombrices estriba no sólo porque ayudan a modificar la agregación, la estabilidad y la porosidad del suelo al formar galerías y conductos por donde transitan, sino también por ser importantes reguladores de la actividad microbiana según comentan Domínguez *et al.* (2009), y también

sustentar diversas comunidades de éstos organismos como mencionan Perreault y Whalen (2006) en su experimento, encontrando también que la cantidad de lombrices, la formación de superficies y las actividades de excavación se vieron afectadas significativamente por la temperatura del suelo, la humedad y la interacción entre la temperatura y la humedad. No obstante, en los trabajos de investigación de Rothweel *et. al.* (2011) y de Dekemati *et. al.* (2019) la labranza cero tuvo un efecto positivo en la abundancia de lombrices en comparación con la labranza convencional, pues a medida que los patrones climáticos se volvían más erráticos, la labranza empezó a tener el potencial de hacer que las lombrices sufrieran cambios en su población aún más fuerte. Por lo tanto, se concluyó que, para mejorar las propiedades físicas y biológicas del suelo, se deben hacer esfuerzos para disminuir la intensidad de labranza cada año.

Las lombrices también se involucran en los procesos químicos y biológicos como; la tasa de descomposición de la materia orgánica, la disponibilidad de nutrientes y la composición y actividad de los microorganismos y de otros invertebrados del suelo (Domínguez y Gómez, 2010). Se debe mencionar también que el efecto que tienen las lombrices de tierra sobre el medio edáfico varía según la función de distintos grupos ecológicos que en él se presenten (Domínguez et al., 2009).

Las lombrices de tierra son hermafroditas y las estructuras sexuales de éstas han sido utilizadas en la clasificación de familias, géneros y especies, y aunque hay reproducción sexual cruzada en su mayoría, algunas especies son partenogénicas. El número de especies de lombrices de tierra descritas hasta el momento es muy elevado; según Reynolds & Wetzel (2010), hay aproximadamente 8302 especies, y cada año se describen una media de 68 especies nuevas. Domínguez y Gómez (2010) mencionan que de la mayoría de estas especies sólo se conoce el género al que pertenecen y su descripción morfológica, y se desconoce por completo sus ciclos de vida y su ecología. A pesar de esto se deduce que su ciclo de vida es muy sencillo y generalmente está relacionado con la temperatura y la humedad del suelo pues son comunes

en este tipo de suelos. Domínguez et al. (2009) comentan que estos invertebrados representan la mayor biomasa animal en la mayoría de los ecosistemas templados terrestres.

Las lombrices de tierra son gusanos segmentados de hábitos terrestres, viven en el suelo, aunque también se les encuentra en la hojarasca, bajo piedras, bajo la corteza de troncos húmedos, etc. El tamaño del adulto varía desde 1 cm de largo y 2 mm de grosor, hasta más de 1 m y 3 cm de largo y grosor, y como todos los anélidos su cuerpo está dividido en metámeros parecidos entre sí, sin embargo, en la región anterior no se encuentran, ya que ahí se presentan las estructuras reproductoras y algunas modificaciones de los aparatos digestivo, circulatorio y nervioso (Fragoso y Rojas, 2014).

Las diferentes especies de lombrices poseen estrategias para sobrevivir diferentes entre sí, se encuentran en sitios ecológicos diferentes y su clasificación ha sido en base de su alimentación y sobre la zona del medio edáfico donde habitan (Domínguez et al., 2009). Partiendo de la ecología, así como las estrategias de alimentación y de la formación de galerías, las lombrices de tierra se han clasificado en tres categorías: epígeas, endógeas y anécicas.

Las especies epigeas viven en la superficie del suelo, alimentándose principalmente de restos vegetales, heces de animales y otra materia en descomposición. Suelen ser especies de tamaño pequeño, uniformemente pigmentadas, y con altas tasas reproductivas y metabólicas que les permiten adaptarse a las condiciones ambientales tan variables de la superficie del suelo (Domínguez y Gómez, 2010). Presentan una tasa elevada de consumo, digestión y asimilación de materia orgánica, por lo que son clave en la transformación del mantillo.

Las especies endógeas son aquellas que viven a una profundidad mayor del suelo y se alimentan de materia orgánica y suelo principalmente. Tienen poca pigmentación y construyen sistemas de galerías horizontales muy ramificadas, que llenan con sus propias deyecciones mientras se mueven por el horizonte orgánico-mineral del suelo (Domínguez y Gómez, 2010). Una diferencia notable

respecto a las especies epigeas es que las endógeas tienen tasas de reproducción bajas y ciclos de vida más largos, así como también resisten períodos donde hay poco alimento. Así pues, en un estudio hecho por Potvin y Lilleskov (2017) también encontraron diferencias en patrones de respuesta a la temperatura y la humedad del suelo entre las especies endógeas y anécicas, pues las primeras son más propensas a ajustar los estados de actividad en respuesta a los cambios mediados por el cambio climático en la humedad del suelo y temperatura que las segundas, ya que durante el experimento, estas tenían más probabilidades de entrar en un período de estivación, a excepción del periodo de julio y agosto donde la actividad de todas las lombrices disminuyó sustancialmente cuando la temperatura del suelo estaba en su punto más alto y la humedad del suelo en su punto más bajo del año.

Por último, las especies anécicas tienden a vivir de forma más o menos permanente en galerías verticales, y pueden extenderse algunos metros hacia la profundidad del suelo. Tienen comportamientos nocturnos ya que emergen por las noches a la superficie para alimentarse de hojarasca, heces y materia orgánica, posteriormente transportan todo este material orgánico al fondo de sus galerías. Domínguez y Gómez (2010) mencionan que normalmente estas lombrices son de gran tamaño con un color pardo oscuro en la edad adulta y sus tasas reproductivas, medidas como producción de capullos son relativamente bajas.

Las lombrices se encuentran en un sinfín de ecosistemas y climas, más sin embargo los factores climáticos juegan un papel muy importante en la dinámica de sus poblaciones así como lo mencionan Singh et al, (2021) en su investigación donde encontraron que las poblaciones de lombrices evaluadas en su trabajo mostraron patrones de actividad más fuertes y por lo tanto efectos positivos en la abundancia de lombrices en temporadas donde hubo precipitaciones ligeramente más altas, pero una fuerte reducción la abundancia de lombrices activas durante la época de lluvias más escasas. También Singh et al, (2019) comentan lo publicado en su artículo de revisión de literatura sobre los efectos del cambio

climático en las comunidades y la actividad de las lombrices, donde encuentran que la actividad, la abundancia y la biomasa de las lombrices de tierra tienden a incrementarse con el aumento de la temperatura en conjunto con la humedad del suelo, mientras que los extremos climáticos como la sequía y las inundaciones tienen efectos nocivos.

Las condiciones climáticas cambiantes pueden facilitar la invasión de lombrices de tierra en latitudes y altitudes más altas, mientras que las condiciones más secas y cálidas pueden limitar el rendimiento de las lombrices de tierra en otras regiones del mundo, pues Uvarov *et al.* (2011) y Uvarov (2021) encontraron efectos similares en ambos trabajos, en donde las lombrices evitaron en todo momento temperaturas muy bajas, yendo a estratos de suelos más profundos donde no pudiera afectarles, pero subiendo nuevamente a superficies menos profundas una vez que la temperatura se elevó.

Fragoso y Rojas (2014) mencionan que en México coexisten lombrices de tierra exóticas y nativas; las primeras son especies que se originaron en otra región del mundo y pero fueron introducidas a este país (intencional o accidental) por el hombre; en cambio las especies nativas son consideradas originarias de algunas regiones del país y su distribución puede haber ocurrido de modo natural, argumentan también que estas últimas incluyen a las lombrices endémicas, que son aquellas cuya distribución actual se restringe al ambiente o región en donde probablemente se originaron.

3. Rotación de Cultivos

La utilización de los sistemas de rotación se tiene registro desde la antigüedad, remontándose a los orígenes de la agricultura. Esto sucedía cuando después de una cosecha, se seleccionaban cultivos para incorporarlos al suelo antes del siguiente cultivo (Borja, 2014). Posteriormente con el perfeccionamiento de los procesos agrícolas aparecieron las rotaciones, que permitieron poco a poco mantener la fertilidad del suelo sin disminuir los rendimientos de los cultivos.

En términos generales la rotación de cultivos es un sistema de producción agrícola en el que cual, se siembran diferentes cultivos siguiendo una secuencia

determinada en una misma parcela, obteniendo distintos beneficios en la producción. Este sistema es eficaz para el manejo de problemas fitosanitarios si los cultivos en la secuencia no son hospedantes de los mismos patógenos, y si éstos a su vez no poseen mecanismos de sobrevivencia a largo plazo en ausencia del hospedante principal (Chaves y Araya, 2012).

Algunos estudios indican que la rotación tiene una gran influencia en la producción de cultivos, pues dan sustentabilidad al suelo al tener efectos positivos en la erosión, la fertilidad, la microbiología y la física de éste. Además, Shertzer (2013) comenta que las rotaciones mejoran la fertilidad del suelo y también las características físicas y químicas de éste, cortan el ciclo de malezas, plagas y enfermedades, y provocan que las raíces de los cultivos puedan explorar diferentes profundidades de suelo.

Altieri et al. (1999) reiteran que las rotaciones pueden eliminar insectos, enfermedades y malezas, interrumpiendo el ciclo de vida de los patógenos, pues los cultivos que se utilizan para esta interrupción otorgan un control eficaz de plagas y enfermedades, aumentando la duración y frecuencia de dicha interrupción.

A mayor variedad de cultivos y diferencias botánicas entre ellos, en la rotación, se puede esperar un mejor control de enfermedades y plagas, por ejemplo: La rotación de cultivos de ciclos anuales de verano e invierno, cultivos perennes y cultivos de ciclos anuales, leguminosas y cereales, cultivos de ciclos largos y ciclos cortos, etc. La aplicación de este sistema no requiere de tecnología muy sofisticada, ni de insumos costosos, si no que históricamente ha sido parte de las labores de los agricultores a lo largo de los años en muchos sistemas de producción de autoconsumo (Chaves y Araya, 2012).

4. Monocultivo

Alzate y Peñaranda (2019) definen el termino de monocultivo de una manera singular pues mencionan que éste refiere cuando un terreno de muchas hectáreas es destinado para uso y plantación de un solo tipo de plata. En otras

palabras y en contraste con la rotación de cultivos, el monocultivo es la siembra repetida de una misma especie en el mismo campo, año tras año.

Otra descripción del sistema de monocultivo se describe como una estrategia que se utiliza generalmente en la producción de grandes cantidades de algún tipo de cultivo en específico, sin embargo, varios países han identificado que este sistema afecta la calidad de los cultivos y alimentos influyendo en la seguridad alimentaria, cobrando un costo socioambiental alto.

Es posible observarse con el pasar del tiempo que, en el sistema de monocultivo, haya incrementos de plagas y enfermedades específicas del cultivo, también la nutrición del suelo junto a la materia orgánica disminuye, porque las plantas ocupan siempre la misma área y esto provoca que en las temporadas siguientes las mismas plagas, las mismas enfermedades y los mismos requerimientos de nutrientes se presenten y con esto los cultivos no puedan desarrollarse bien (Escandón, 2012). Es por ello por lo que el establecimiento del monocultivo favorece una disminución de la concentración de materia orgánica (Fernández *et al.*, 2016) y una disminución de los contenidos del carbono orgánico y las fracciones de micronutrientes, así como un aumento de la susceptibilidad a la erosión hídrica, lo que conduce al empobrecimiento del suelo y una reducción en el rendimiento de los cultivos con el transcurso de los años (Vázquez *et al.*, 2020).

Li *et al.* (2018) experimentaron en campos con sistemas de monocultivos de camote durante varios años (1, 2, 3 y 4 años), los resultados mostraron que el cultivo continuo año tras año llevó a una disminución significativa del pH, carbono orgánico y abundancia bacteriana del suelo. Así mismo, Woźniak (2019) analizó dos sistemas de siembra (monocultivo y rotación) en trigo de invierno, el rendimiento en el sistema de monocultivo fue significativamente menor en comparación con el del trigo cultivado en el sistema de rotación de cultivo. Esta disminución fue provocada por un menor número de espigas por metro cuadrado, menor peso de 1000 granos y menor peso de grano por espiga (Vázquez *et al.*, 2020).

MATERIALES Y MÉTODOS

La presente investigación se realizó en el lote “El Pedregal” del Campo Experimental El Bajío, de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro (UAAAN), con un área de 5,000 m², ubicada en Saltillo, Coahuila, México, entre las coordenadas geográficas de: 100° 59' 57" longitud Oeste y a 25° 23' 42" latitud Norte, y una altura de 1743 msnm. De acuerdo con la clasificación climática de Köppen, modificado por García (1973) el clima de la región es: BSokx' (w) (e'), que significa seco-árido, templado con verano fresco largo, con régimen de lluvias escasas todo el año acumulándose más en el verano y clima extremo. La temperatura media anual es de 16.9 °C, con una precipitación media anual de 435 milímetros, la evaporación media anual oscila entre los 1956 mL y los vientos predominantes tienen una dirección noroeste, con velocidades de 25.5 km h⁻¹ (Servicio Meteorológico Nacional, 2013).

La investigación se realizó en tres ciclos de cultivo para comparar los ambientes y las diferencias que se pudieran presentar en cada uno, pues por ser en tres temporadas es posible encontrar diferencias.

Distribución de las Unidades Experimentales

El experimento se realizó en los siguientes ciclos: verano-otoño 2020, invierno-primavera 2021 y verano-otoño 2021. Se evaluaron tres sistemas de labranzas: Siembra Directa (SD), Labranza Vertical (LV) y Labranza Convencional (LC) como testigo, las cuales se aplicaron en las parcelas grandes que midieron 40 m de largo y 12 m de ancho.

Las unidades experimentales que midieron 20 m de largo por 12 m de ancho fueron las parcelas chicas donde se establecieron los cultivos anuales: maíz (gramínea), triticale (gramínea) y frijol (leguminosa), nombrando dichas parcelas como monocultivo y rotación, ya que en la parcela de monocultivo solo se sembraron gramíneas y en la parcela de rotación hubo un cambio entre leguminosa y gramínea (Figura 1). El área de muestreo de la población de lombrices fue en cada una de las parcelas chicas y midió 25 cm de ancho por 25

cm de largo en dos estratos de suelo; de 0 a 10 cm y de 10 a 20 cm de profundidad.

R2	LV-Ro	LV-Mo	SD-Ro	SD-Mo	R2
R3	SD-Mo	SD-Ro	LC-Mo	LC-Ro	R2
R3	LV-Ro	LV-Mo	LV-Ro	LV-Mo	R1
R3	LC-Mo	LC-Ro	SD-Mo	SD-Ro	R1
			LC-Ro	LC-Mo	R1

Figura 1. Distribución en Campo

- Los tratamientos se representan como:
 - **SD**: Siembra Directa (sembradora)
 - **LV**: Labranza Vertical (arado de cinceles + rastra de discos + sembradora)
 - **LC**: Labranza Convencional (arado de discos + rastra de discos + sembradora)
- Los sistemas de cultivo se presentan como:
 - **Mo**: Monocultivo (gramínea: verano-otoño y gramínea: invierno-primavera)
 - **Ro**: Rotación de cultivo (leguminosa: verano-otoño y gramínea: invierno-primavera)

Diseño Experimental

Se utilizó un diseño de bloques completos al azar. Siendo los sistemas de labranza: Siembra Directa, Labranza Vertical y Labranza Convencional los tratamientos y los sistemas de cultivo: monocultivo y rotación las áreas de muestreo con tres repeticiones cada una, siendo un total de 18 unidades experimentales.

Recolección en Campo y Cuantificación de Lombrices en suelo

La recolección de las lombrices del suelo se realizó de acuerdo con el método de recolecta por transecto lineal, propuesto por Anderson e Ingram (1993). Esta metodología consiste en la extracción de 8 a 10 monolitos de 25 x 25 x 30 cm de profundidad, distribuidos cada 5 m en un transecto diagonal con origen y dirección al azar dentro de un ecosistema. El procedimiento consiste en la delimitación inicial del cuadrante de 25 x 25 cm de forma que quede limpio a su alrededor y sin perturbación para su revisión. Una vez marcado, se comienza a perfilar por los bordes. Se extrae el suelo y se deposita en bandejas plásticas grandes, para revisar en el campo y recolectar manualmente todos los organismos visibles. La macrofauna extraída se coloca en frascos que deben contener formaldehído al 4 % y/o alcohol etílico al 70 - 75 %. Si los intereses de estudio contemplan la distribución vertical de la fauna, el monolito se puede separar y examinar por estratos de 0 - 10, 10 - 20 y 20 - 30 cm. Se realizó una modificación al método original, así mismo se utilizó equipo diferente específicamente para lombrices y fue de la siguiente manera:

1. Se seleccionó el área donde se delimitó el cuadrante de 25 x 25 cm, en cada unidad experimental.
2. Una vez marcado el monolito, se perfilaron los bordes y se continuó a sacar el contenido de suelo en los primeros 10 cm.
3. El contenido se depositó en bandejas plásticas grandes para revisar y recolectar manualmente las lombrices visibles con la ayuda de una espátula de metal.
4. El procedimiento anterior se realizó nuevamente en el perfil de 10 a 20 cm.

5. Las lombrices extraídas de los dos perfiles (0-10 cm y 10-20 cm) se colocaron en frascos pequeños de vidrio con alcohol etílico al 70 % anteriormente agregado para conservarlas.
6. Una vez que se revisó todo el volumen de suelo, este se incorporó nuevamente en el cuadrante abierto.
7. Por último, se identificó en el laboratorio la especie de las lombrices encontradas, con la ayuda de una guía de identificación básica de lombrices por medio de características físicas.

Estas actividades se realizaron en cuatro fechas en los tres ciclos de cultivos:

- **Ciclo verano-otoño 2020:** 5 de julio, 24 de julio, 21 de agosto y 10 de diciembre.
- **Ciclo invierno-primavera 2021:** 10 de diciembre, 10 de marzo, 6 de mayo y 23 de junio.
- **Ciclo verano-otoño 2021:** 23 de junio, 17 de agosto, 1 de septiembre y 4 de diciembre.

Análisis Estadístico y de Información

Se analizó la dinámica de las poblaciones de lombrices a lo largo de cada ciclo tomando como referencia el primer muestreo que se realizó antes de la labranza, en donde cada fecha de muestreo coincide con una etapa del manejo del cultivo, como lo es: la siembra, la eliminación de maleza en el cultivo y la cosecha, dichos datos se presentan en porcentajes. Los datos obtenidos se sometieron a la técnica de análisis de varianza y pruebas de comparación de medias con Tukey ($P= 0.05$) con el paquete estadístico SAS Versión 9.0 (SAS, 2004).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Efecto de los sistemas de labranza en la población de lombrices en dos estratos. Ciclo verano-otoño 2020.

Primer estrato del suelo (0-10 cm)

Se detectaron diferencias altamente significativas ($P= 0.01$) para la fuente de variación: sistemas de labranza en los tres últimos muestreos del ciclo verano-otoño 2020 en el estrato superficial del suelo (0-10 cm). El análisis de varianza no indicó diferencias estadísticas en la primera fecha de muestreo (antes de la labranza) de este ciclo.

En la Figura 2 se observa el número promedio de lombrices por m^2 encontradas en el ciclo verano-otoño 2020 en el estrato superficial del suelo de 0-10 cm, de acuerdo con el tipo de labranza. Cabe resaltar que la especie de lombriz encontrada de manera rápida con la ayuda de la guía de identificación fue *Aporrectodea caliginosa*.

En el primer muestreo la población de lombrices, entre los tres tipos de labranza, no fue diferente estadísticamente. Sin embargo, en las fechas posteriores a este muestreo, la Siembra Directa (SD) fue estadísticamente diferente a la Labranza Vertical (LV) y Labranza Convencional (LC) que a su vez fueron estadísticamente iguales entre sí. La SD obtuvo los valores más altos en las cuatro fechas de muestreo con: 117, 200, 200 y 54 lombrices por m^2 respectivamente.

En los cultivos de maíz forrajero (gramínea) y frijol (leguminosa), establecidos en el ciclo verano-otoño 2020 en los que la producción de estos depende de la precipitación pluvial, se observa un fuerte decremento en el número de lombrices en los tratamientos que utilizaron implementos que disturbaban el suelo a mayor grado como lo son la LC y la LV durante los muestreos que se efectuaron después de la siembra y después del cultivo.

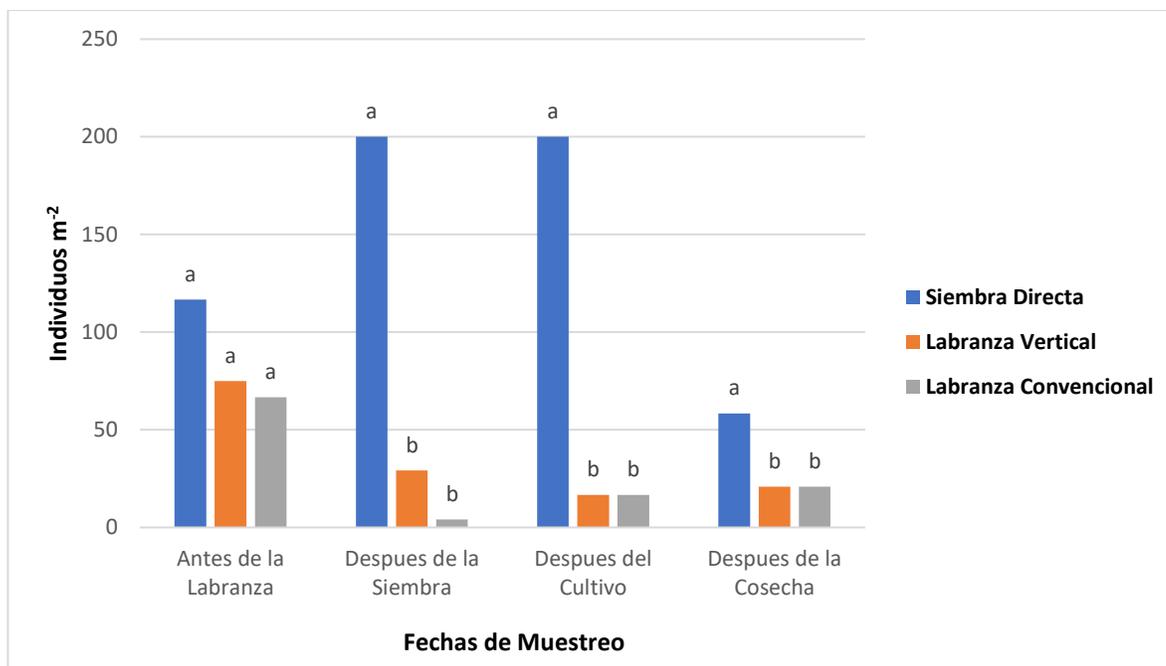


Figura 2. Efecto de los sistemas de labranza en la población de lombrices. Estrato 0 a 10 cm. Verano-otoño 2020. Saltillo, Coahuila.

Nota: Valores con letras distintas en un mismo grupo indican diferencias significativas de acuerdo con la prueba de comparación de medias de Tukey ($\alpha=0.05$).

En el Cuadro 1 se presentan los porcentajes de incremento y/o decremento de las poblaciones de lombrices en cada fecha de cultivo en el estrato superficial (0-10 cm).

Cuadro 1. Incremento y/o decremento en la población de lombrices en tres tipos de labranza en diferentes fechas de cultivo. Estrato de 0 a 10 cm. Verano-otoño 2020. Saltillo, Coahuila.

	Incremento y Decremento (%)		
	Después de la Siembra	Después del Cultivo	Después de la Cosecha
Siembra Directa	71	71	-50
Labranza Vertical	-61	-78	-72
Labranza Convencional	-94	-75	-69

Nota: Se tomó como referencia los individuos encontrados antes de la labranza

Se observa que la SD es la única labranza que tuvo incrementos (71 %) en las dos fechas posteriores al primer muestreo. Sin embargo, para la última fecha las

tres labranzas (SD, LV y LC) obtuvieron decrementos de -50%, -72% y -60% respectivamente.

Segundo estrato del suelo (10-20 cm)

Los análisis de varianza para el segundo estrato (10-20 cm) no indicaron diferencias significativas en las primeras tres fechas de muestreo entre las tres labranzas: SD, LV y LC. En la última fecha de muestreo (después de la cosecha) se detectaron diferencias altamente significativas entre los sistemas de labranza. La SD obtuvo el valor más alto (83) y fue estadísticamente diferente a LV y LC que fueron estadísticamente iguales entre sí con 50 y 17 lombrices por m² respectivamente (Figura 3). En esta fecha de muestreo la SD superó en a la LV y LC en un 66 y 388 por ciento en la población de lombrices respectivamente.

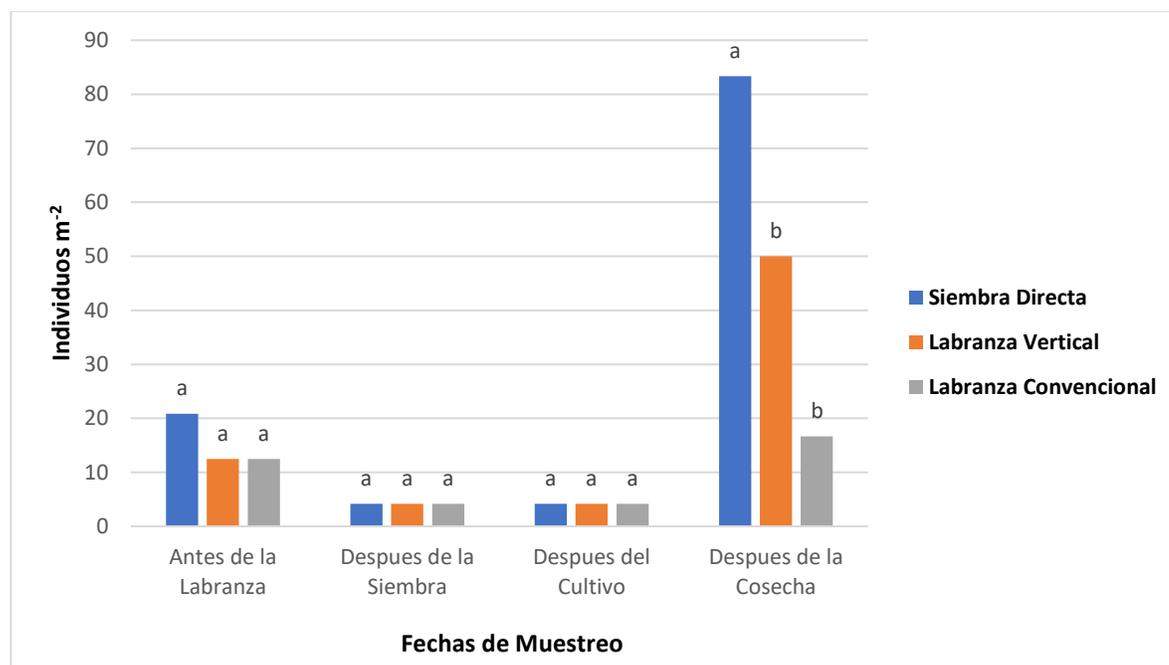


Figura 3. Efecto de los sistemas de labranza en la población de lombrices. Estrato 10 a 20 cm. Verano-otoño 2020. Saltillo, Coahuila.

Nota: Valores con letras distintas en un mismo grupo indican diferencias significativas de acuerdo con la prueba de comparación de medias de Tukey ($\alpha=0.05$).

Los implementos de disco (arado y rastra) que corresponden a la LC disminuyen las poblaciones de lombrices y destruyen su hábitat en gran medida, en cambio, un menor movimiento del suelo es resultado de la implementación de la LV la

cual tiene como principal componente el arado de cinceles, no obstante, se observa un decremento en el número de individuos, aunque en menor proporción con respecto a los implementos de disco con el arado de cincel. En otros estudios realizados por Rothweel *et. al.* (2011) y Dekemati *et. al.* (2019) obtuvieron resultados similares, a los de esta investigación, ellos reportan que la LC también produjo una menor población de lombrices comparado con técnicas de labranza de conservación como lo es la SD. Los autores señalan que las poblaciones de lombrices disminuyen debido a causas directas e indirectas de las técnicas de labranza que modifican las propiedades físicas del suelo, remueven la materia orgánica y dañan directamente a las lombrices.

En el segundo estrato (a diferencia del primero); se observa que también la SD presenta decrementos en las dos fechas posteriores al primer muestreo (Cuadro 2).

Cuadro 2. Incremento y/o decremento en la población de lombrices en tres tipos de labranza en diferentes fechas de cultivo. Estrato de 10 a 20 cm. Verano-otoño 2020. Saltillo, Coahuila.

	Incremento y Decremento (%)		
	Después de la Siembra	Después del Cultivo	Después de la Cosecha
Siembra Directa	-80	-80	300
Labranza Vertical	-67	-67	300
Labranza Convencional	-67	-67	33

Nota: Se tomó como referencia los individuos encontrados antes de la labranza

Sin embargo, en la última fecha (después de la cosecha) en las tres labranzas (SD, LV y LC) se presentan incrementos de 300 %, 300 % y 33 % respectivamente.

Efecto de los factores ambientales en la población de lombrices. Ciclo verano-otoño 2020.

En la Figura 4 se muestran los valores de temperatura, precipitación y humedad relativa, obtenidos a partir de los registros diarios de la estación meteorológica de la UAAAN presentes durante el ciclo de verano-otoño 2020, se observa que las

temperaturas promedio más altas oscilan entre 19 y 24 °C, la mayor cantidad de lluvia se registró en los meses de verano (julio-agosto) durante la 4^{ta} semana de julio con 101mm y una humedad relativa del 73%, aunque ésta se mantuvo alta al inicio y mitad del ciclo de cultivo, la más alta registrada se dio solo una vez en otoño en la tercera semana de septiembre con 90% de humedad relativa. Posteriormente los valores decrecen, por lo que se observa una relación con los decrementos del número de lombrices en el estrato superficial (0-10) e incrementos en el segundo estrato (10-20 cm).

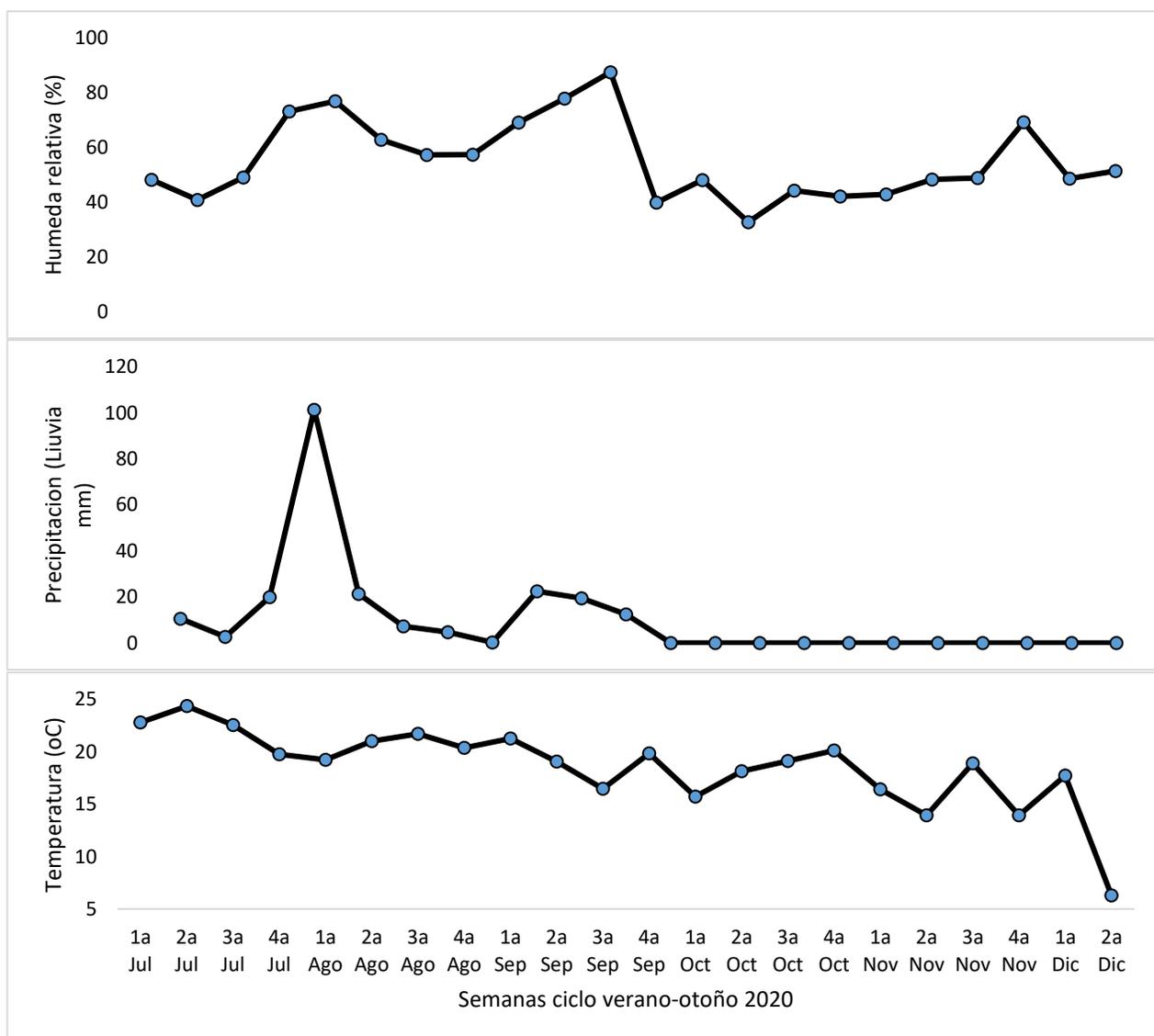


Figura 4. Temperatura, precipitación y humedad relativa durante el ciclo de cultivo verano-otoño 2020. Saltillo, Coahuila.

Efecto de los sistemas de cultivo en la población de lombrices en dos estratos. Ciclo verano-otoño 2020.

Primer estrato del suelo (0-10 cm)

Los análisis de varianza no indicaron diferencias significativas entre la fuente de variación: sistemas de cultivos en ninguna fecha del ciclo verano-otoño 2020 en el sustrato superficial del suelo (0-10 cm). Sin embargo, se puede observar en la Figura 5 que la tendencia del número de lombrices en el sistema de rotación se va incrementando en las primeras tres fechas de muestreo, por el contrario, se observa una disminución en el monocultivo de la primera a la cuarta fecha.

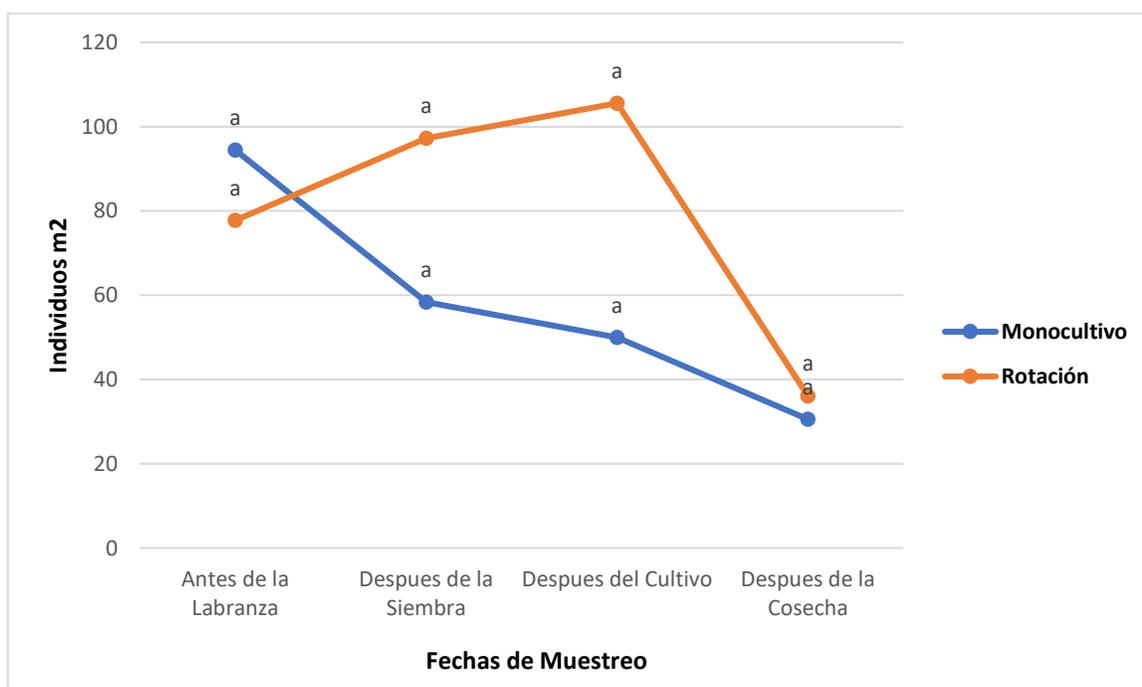


Figura 5. Efecto de los sistemas de cultivo en la población de lombrices. Estrato 0 a 10 cm. Ciclo verano-otoño 2020. Saltillo, Coahuila.

Nota: Valores con letras distintas en un mismo grupo indican diferencias significativas de acuerdo con la prueba de comparación de medias de Tukey ($\alpha=0.05$).

Borja (2014) menciona que las rotaciones de cultivo, así como los abonos verdes y las prácticas culturales juegan un papel importante en la actividad y la diversidad biológica del suelo, esto explica como en el caso de la rotación de cultivo, las cantidades de lombriz se incrementan de una forma gradual conforme

avanza el ciclo de cultivo. Caso contrario, sucede en el sistema de monocultivo, en donde se observa, como el número de lombrices disminuye en todo el ciclo de cultivo. Solo hay una excepción en el caso del sistema de rotación, pues éste disminuye drásticamente en la última fecha, esto se debe principalmente a los efectos climáticos presentes en el ciclo de cultivo, donde las poblaciones de lombriz buscan estratos más profundos, para resguardarse de las bajas temperaturas y de la poca humedad presentes en el suelo superficial.

En el Cuadro 3 se presentan los porcentajes de incrementos y/o decrementos de la población de lombriz en los dos sistemas de cultivos.

Cuadro 3. Incremento y/o decremento en la población de lombrices en dos sistemas de cultivo en diferentes fechas de muestreo. Estrato de 0 a 10 cm. Verano-otoño 2020. Saltillo, Coahuila.

	Incremento y Decremento %		
	Después de la Siembra	Después del Cultivo	Después de la Cosecha
Monocultivo	-38	-47	-68
Rotación	25	36	-54

Nota: Se tomó como referencia los individuos encontrados antes de la labranza

Se observa que la rotación de cultivo tiene incrementos del 25 y del 36% después de la siembra y después del control de maleza o cultivo respectivamente respecto a la primera fecha de muestreo; excepto en la última fecha donde se presenta un decremento de -54%. Por el contrario, en el sistema de monocultivo, en las tres fechas posteriores al primer muestreo, las poblaciones de lombrices sufrieron decrementos del -38, -47 y -68% respectivamente.

Segundo estrato del suelo (10-20 cm)

Los análisis de varianza en este estrato no indicaron diferencias significativas entre los dos sistemas de cultivo (Monocultivo y Rotación) en ninguna de las cuatro fechas de muestreo. En la Figura 6 se observa un efecto diferente al del estrato superficial (0-10 cm), pues tanto en el sistema de monocultivo como en el de rotación, la tendencia del número de lombrices disminuye a partir de la primera

fecha de muestreo, a excepción de la última fecha donde los dos sistemas de cultivo se elevan considerablemente hasta llegar a un mismo número de lombrices m^2 (50).

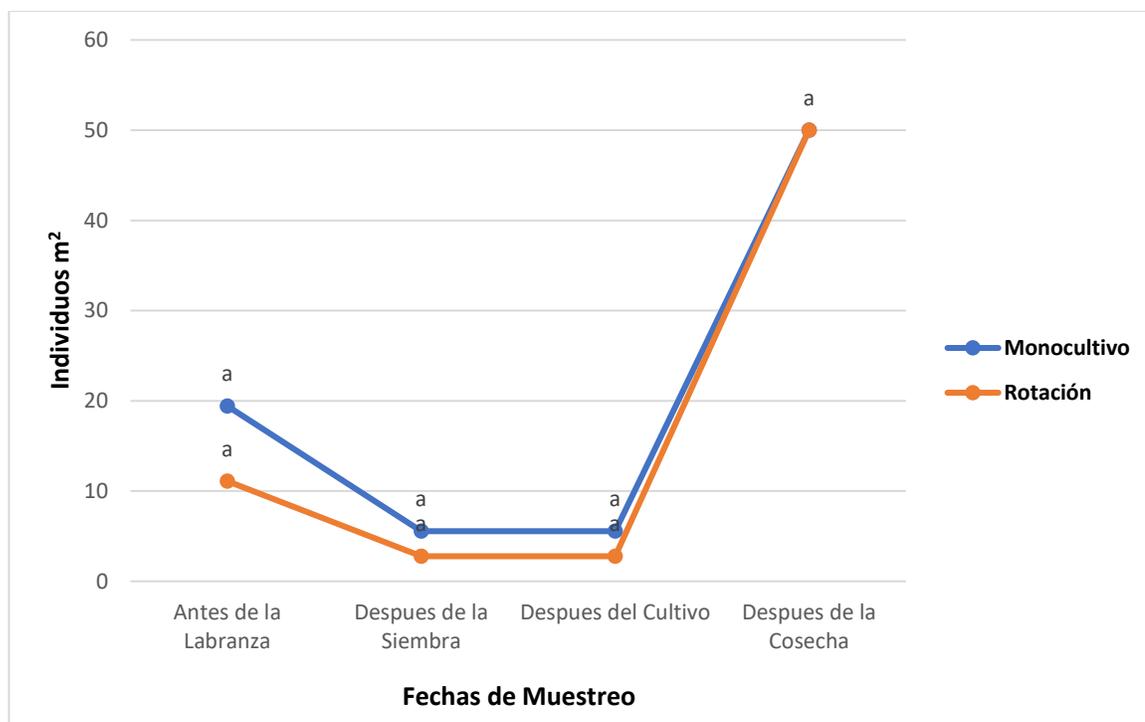


Figura 6. Efecto de los sistemas de cultivo en la población de lombrices. Estrato 10 a 20 cm. Ciclo verano-otoño 2020. Saltillo, Coahuila.

Nota: Valores con letras distintas en un mismo grupo indican diferencias significativas de acuerdo con la prueba de comparación de medias de Tukey ($\alpha=0.05$).

Fragoso y Rojas (2014) mencionan que las poblaciones de lombrices se distribuyen en casi todos los tipos de ecosistemas, sin embargo, partiendo de que el principal factor limitante para este grupo de organismos es la humedad, es poco probable encontrarlas en zonas desérticas o ambientes con precipitaciones menores a 500 mm; así como tampoco se encuentran en sitios muy fríos en donde el suelo está congelado o con temperaturas bajas durante todo el año, pues buscan la humedad en estratos más profundos, así como temperaturas menos severas para soportar el invierno.

En el Cuadro 4 se presentan los incrementos y/o decrementos del número de lombrices en el estrato de 10-20 cm en el ciclo verano-otoño 2020 en donde se

observa cómo el sistema de monocultivo sufre de un decremento del -71% en las dos fechas después del primer muestreo y en el sistema de rotación con una disminución del -75% en las dos fechas después del primer muestreo. Sin embargo, posteriormente se observa un incremento del 157% y del 350% para monocultivo y rotación respectivamente.

Cuadro 4. Incremento y/o decremento en la población de lombrices en dos sistemas de cultivo en diferentes fechas de muestreo. Estrato de 10 a 20 cm. Verano-otoño 2020. Saltillo, Coahuila.

	Incremento y Decremento %		
	Después de la Siembra	Después del Cultivo	Después de la Cosecha
Monocultivo	-71	-71	157
Rotación	-75	-75	350

Nota: Se tomó como referencia los individuos encontrados antes de la labranza

Efecto de los sistemas de labranza en la población de lombrices en dos estratos. Ciclo invierno-primavera 2021.

Primer estrato del suelo (0-10 cm)

En el Segundo ciclo de cultivo, en el primer estrato (0-10 cm) los ANVA detectaron diferencias altamente significativas ($P= 0.01$) en las primeras tres fechas de muestreo entre los sistemas de labranza. En el último muestreo (después de la cosecha) no se detectaron diferencias significativas entre los sistemas de labranza.

En la Figura 7 se observa que la SD obtuvo los valores más altos de las medias en todas fechas de muestreo con: 58, 146, 96 y 42 lombrices por m² respectivamente.

La población más alta de lombrices con SD se obtuvo en el segundo muestreo y fue superior en un 123% al número promedio de individuos obtenidos en los tres muestreos restantes (65.3). En este mismo muestreo la población de individuos en SD fue de 146 y fue estadísticamente diferente a LV y LC que obtuvieron una

población de 33 y 38 individuos respectivamente, las cuales fueron estadísticamente iguales entre sí. La SD superó en la cantidad de individuos a LV y LC en un 342.4% y 284% respectivamente.

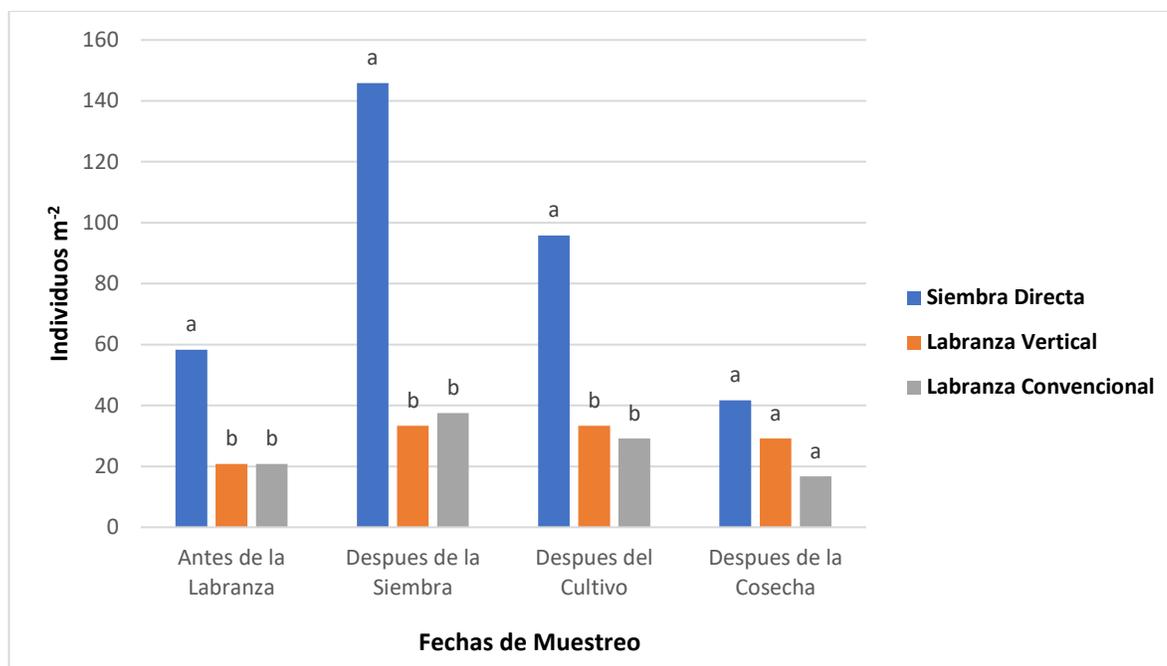


Figura 7. Efecto de los sistemas de labranza en la población de lombrices. Estrato 0 a 10 cm. Ciclo invierno-primavera 2021. Saltillo, Coahuila.

Nota: Valores con letras distintas en un mismo grupo indican diferencias significativas de acuerdo con la prueba de comparación de medias de Tukey ($\alpha=0.05$).

La agricultura actual se ha olvidado de la parte biológica del suelo, considerándolo en algunas ocasiones como un simple soporte para las plantas, dando mayor importancia solo a los factores físicos y químicos, fertilizando en mayor medida directamente a la planta dejando de lado la parte biológica del suelo, destruyéndola sistemáticamente con las prácticas habituales de cultivo. Desde este punto de vista se sabe que la materia orgánica gestiona y regula toda la actividad biológica del suelo interrelacionando así los factores físicos, químicos y biológicos manteniéndola en el tiempo.

El cultivo establecido en el ciclo de invierno-primavera 2021 fue el triticale (gramínea) bajo un sistema de riego. Antes de las labores de labranza la cantidad de lombrices fue mayor en la SD respecto a la LV y LC, posteriormente, se

incrementa significativamente el número de lombrices conforme avanza el ciclo de cultivo, pero en la fecha tres y cuatro vuelve a bajar.

En el Cuadro 5 se observa que en las dos fechas posteriores a la siembra hubo incrementos en la población de lombrices para las tres labranzas (SD, LV y LC). En la última fecha (después de la cosecha) solo la LV continuo con incrementos, en cambio la SD y la LC denotaron decrementos de -29 y -20% respectivamente.

Cuadro 5. Incremento y/o decremento en la población de lombrices en tres tipos de labranza en diferentes fechas de cultivo. Estrato de 0 a 10 cm. Invierno-primavera 2021. Saltillo, Coahuila.

	Incremento y Decremento %		
	Después de la Siembra	Después del Cultivo	Después de la Cosecha
Siembra Directa	150	64	-29
Labranza Vertical	60	60	40
Labranza Convencional	80	40	-20

Nota: Se tomó como referencia los individuos encontrados antes de la labranza

Teniendo en cuenta que en los meses de primavera las temperaturas comienzan a aumentar, las poblaciones de lombriz migran hacia estratos más superficiales, pero conforme sigue el ciclo del cultivo no logran mantenerse a salvo de la poca humedad relativa y de las temperaturas altas que se presentan en estos meses, provocando que se caliente la superficie del suelo en especial cuando se deja de irrigar para realizar el control de maleza y la cosecha, lo cual hace que la población de lombrices disminuya en este estrato (0-10 cm) como lo mencionan Fragoso y Rojas (2014) en su investigación. Por lo tanto, es posible deducir que estos cambios drásticos en la población de lombrices son causados por la temperatura ambiental y la humedad relativa; lo contrario sucede cuando la precipitación es alta y por lo tanto la humedad del suelo se incrementa como en los meses de verano, las condiciones son benéficas y hay incrementos en la población de lombriz. Cuando las condiciones climáticas no son adecuadas o son extremas la descomposición de la materia orgánica es lenta, incompleta o muy rápida, ya que un exceso de temperatura y de radiación solar, mineraliza

rápidamente la materia orgánica, por el contrario, un exceso de agua o encharcamiento limita la descomposición por falta de oxígeno.

Segundo estrato del suelo (10-20 cm)

En el ciclo invierno-primavera 2021, en el segundo sustrato (10-20 cm) el análisis de varianza detectó altamente significativas entre los tipos de labranza en la primera fecha. La SD obtuvo el valor más alto (83) y fue estadísticamente igual a LV (50) y estos fueron estadísticamente diferentes a LC que obtuvo una población promedio de 17 lombrices por m² (Figura 8). Los ANVA no detectaron diferencias estadísticas en las tres fechas posteriores.

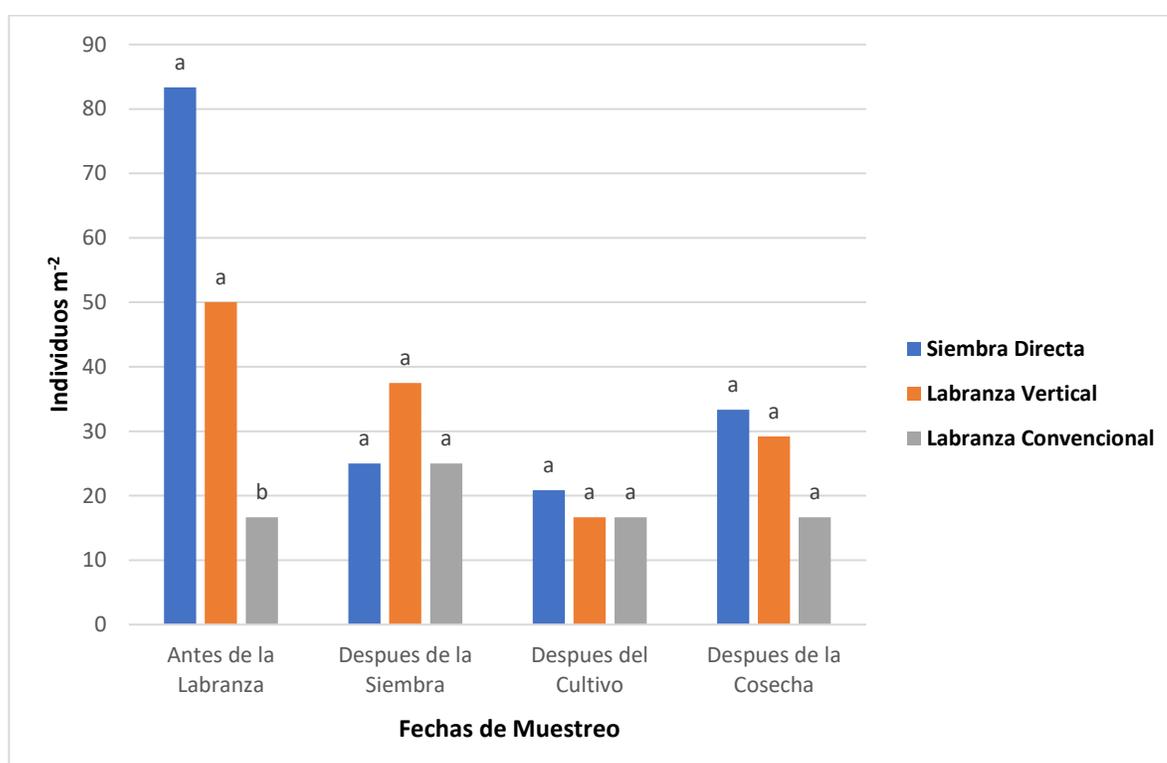


Figura 8. Efecto de los sistemas de labranza en la población de lombrices. Estrato 10 a 20 cm. Ciclo invierno-primavera 2021. Saltillo, Coahuila.

Nota: Valores con letras distintas en un mismo grupo indican diferencias significativas de acuerdo con la prueba de comparación de medias de Tukey ($\alpha=0.05$).

En los tratamientos de labranza más intensivos como LC y LV, generalmente las poblaciones de lombrices decrecen drásticamente en cualquier estrato después de la labranza primaria, que son las labores de mayor intensidad en el movimiento

del suelo. Posteriormente hay una disminución mayor después de las labores de control de maleza y la cosecha, aun en condiciones ambientales óptimas. Sin embargo, en este estudio hubo un pequeño incremento en la fecha final en el estrato de 10-20 cm provocado por la migración de individuos a mayor profundidad por las altas temperatura y falta de humedad en el estrato superior, como lo señalan en su trabajo Singh *et al.* (2021).

En el Cuadro 6 se observa como los tipos de labranza SD y LV disminuyen en las tres fechas posteriores al primer muestreo, la LC no tuvo ni incrementos ni decrementos en la segunda y tercera fecha posterior al primer muestreo. Sin embargo, en la primera fecha tuvo un incremento del 50%, estos resultados son atípicos, ya que no se observó en ningún otro ciclo.

Cuadro 6. Incremento y/o decremento en la población de lombrices en tres tipos de labranza en diferentes fechas de cultivo. Estrato de 10 a 20 cm. Invierno-primavera 2021. Saltillo, Coahuila.

	Incremento y Decremento %		
	Después de la Siembra	Después del Cultivo	Después de la Cosecha
Siembra Directa	-70	-75	-60
Labranza Vertical	-25	-67	-42
Labranza Convencional	50	0	0

NOTA: Se tomó como referencia los individuos encontrados antes de la labranza

Efecto de los factores ambientales en la población de lombrices. Ciclo invierno-primavera 2021.

En la figura 9 se observa que al inicio del ciclo invierno-primavera 2021 se registraron durante el año, valores bajos en los tres factores ambientales: temperatura, humedad relativa y precipitación.

Estas son las causas por las cuales los cultivos de invierno son establecidos bajo sistemas de riego, ya que la precipitación es prácticamente nula en estos ciclos, sin embargo, en este año, hacia el fin de la primavera e inicio del verano las

lluvias y la humedad relativa se hicieron presentes, así mismo la temperatura se incrementó en los meses de mayo y junio. En la tercera semana de mayo la humedad relativa llegó hasta 65% y la temperatura alcanzó los 25 °C en la 2^{da} semana de junio, siendo estos, los valores más altos del ciclo.

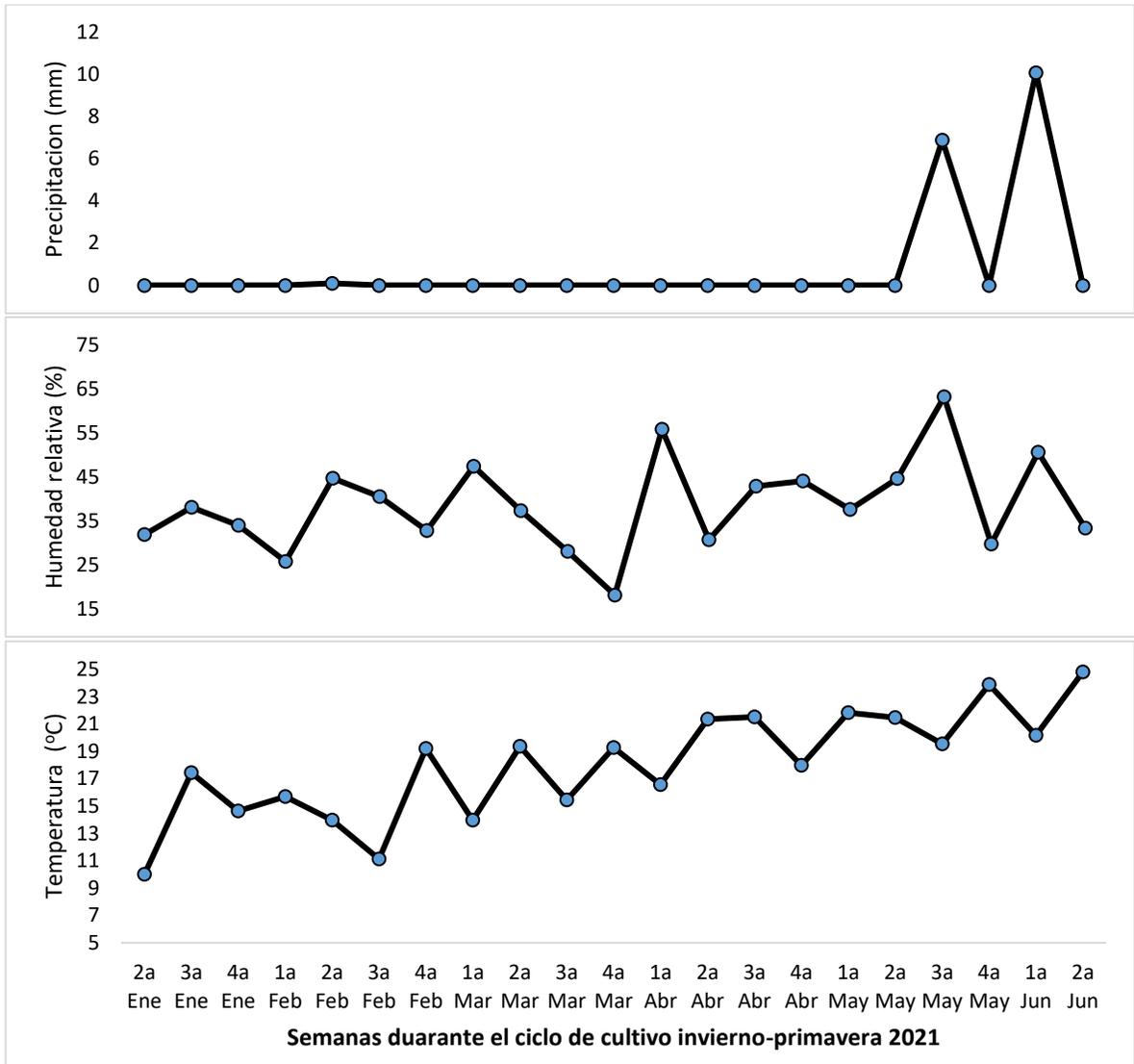


Figura 9. Temperatura, precipitación y humedad relativa durante el ciclo de invierno-primavera 2021. Saltillo, Coahuila.

Efecto de los sistemas de cultivo en la población de lombrices en dos estratos. Ciclo invierno-primavera 2021.

Primer estrato de suelo (0-10 cm)

Los análisis de varianza para los dos sistemas de cultivo (monocultivo y rotación) en el ciclo invierno-primavera 2021 en el primer estrato (0-10 cm) no detectó diferencias significativas en ninguna fecha de muestreo.

En este ciclo el efecto que tuvieron los dos sistemas de cultivo (monocultivo y rotación) fue de diferente manera en comparación al ciclo anterior, ya que, las poblaciones de lombriz siguieron una misma tendencia en el estrato superficial (0-10 cm), en este ciclo, ambos sistemas de cultivo tienen un incremento posterior al primer muestreo después de la siembra, pero después tienden a bajar en las fechas después del cultivo o control de maleza y después de la cosecha. Sin embargo, en la última fecha se observó superior el monocultivo con 33 lombrices m^2 respecto a la rotación de cultivo el cual alcanzó 25 lombrices m^2 (Figura 10).

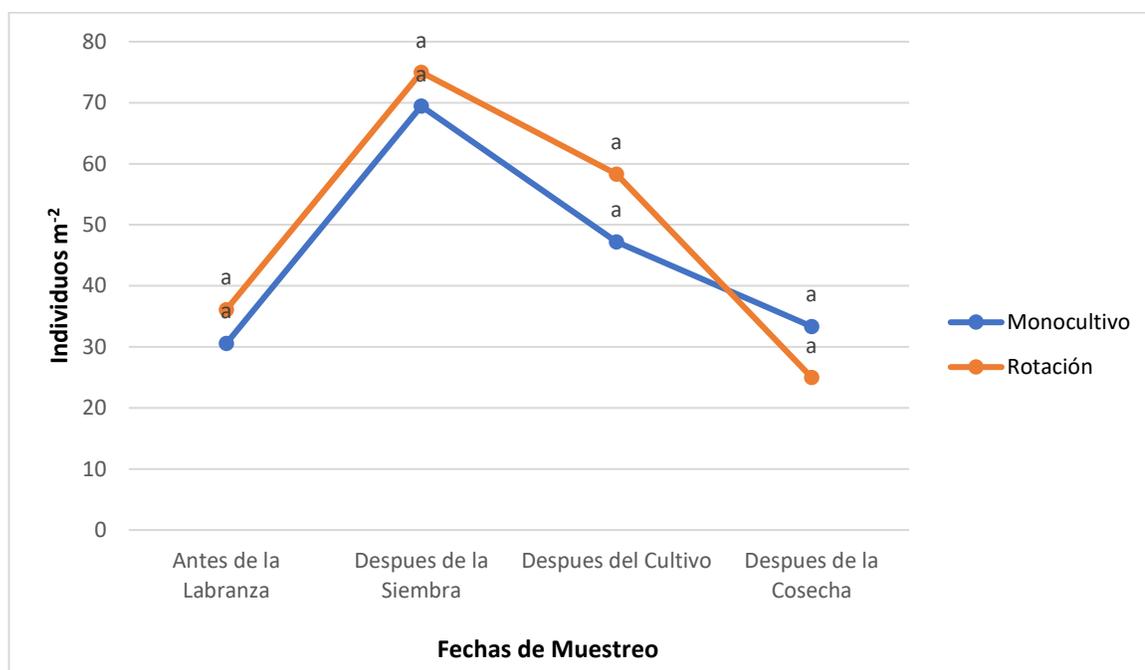


Figura 10. Efecto de los sistemas de cultivo en la población de lombrices. Estrato 0 a 10 cm. Ciclo de invierno-primavera 2021. Saltillo, Coahuila.

Nota: Valores con letras distintas en un mismo grupo indican diferencias significativas de acuerdo con la prueba de comparación de medias de Tukey ($\alpha=0.05$).

Se pueden observar en el Cuadro 7 los incrementos y/o decrementos del número de lombrices en los dos sistemas de cultivo (monocultivo y rotación).

Estos porcentajes de incremento son similares en las dos fechas posteriores al primer muestreo, pues el monocultivo presenta 127% de incremento después de la siembra y 55% de incremento después del cultivo o control de malezas respectivamente. Así mismo, el sistema de rotación presenta 108% de incremento después de la siembra y 62% después del cultivo o control de malezas respectivamente.

Cuadro 7. Incremento y/o decremento en la población de lombrices en dos sistemas de cultivo en diferentes fechas de muestreo. Estrato de 0 a 10 cm. Invierno-primavera 2021. Saltillo, Coahuila.

	Incremento y Decremento %		
	Después de la Siembra	Después del Cultivo	Después de la Cosecha
Monocultivo	127	55	9
Rotación	108	62	-31

Nota: Se tomó como referencia los individuos encontrados antes de la labranza

Segundo estrato de suelo (10-20 cm)

Los análisis de varianza en los dos sistemas de cultivo (monocultivo y rotación) en el segundo estrato (10-20 cm) en el ciclo invierno-primavera no detectaron diferencias significativas en ninguna fecha de.

En el cuadro 11 donde se encuentran los resultados del segundo estrato se presentó un comportamiento diferente al primero. Pues se observa que en la primera fecha de muestreo (antes de la labranza) se encuentra el mayor número de lombrices m² de todas las fechas de muestreo, así mismo, es posible notar que el monocultivo y rotación de cultivo cuentan con la misma cantidad de lombrices m² (50). Conforme avanzó el ciclo de cultivo los dos sistemas sufrieron caídas en el número de lombrices m², hasta el mínimo que se encontró en la tercera fecha de muestreo la cual corresponde a después del cultivo o control de

maleza, donde obtuvieron hasta 11 y 25 lombrices m² para monocultivo y rotación respectivamente.

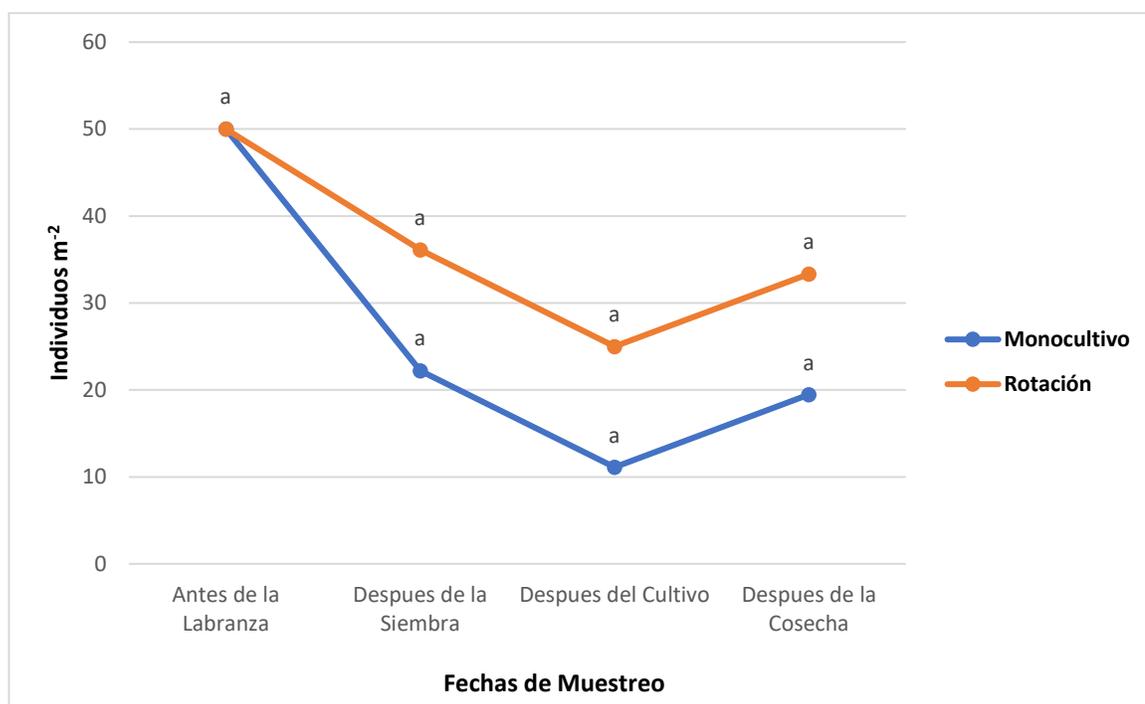


Figura 11. Efecto de los sistemas de cultivo en la población de lombrices. Estrato 10 a 20 cm. Ciclo invierno-primavera 2021. Saltillo, Coahuila.

Nota: Valores con letras distintas en un mismo grupo indican diferencias significativas de acuerdo con la prueba de comparación de medias de Tukey ($\alpha=0.05$).

No obstante, en este segundo estrato (10-20 cm) no se observaron incrementos, a diferencia del primer muestreo, los números de lombriz ya no se recuperaron de la misma manera. En el Cuadro 8 se observan números negativos para los dos sistemas de cultivo (monocultivo y rotación) en las tres fechas de muestreo posteriores a la primera, la cual corresponde a antes de la labranza.

Cuadro 8. Incremento y/o decremento en la población de lombrices en dos sistemas de cultivo en diferentes fechas de muestreo. Estrato de 10 a 20 cm. Invierno-primavera 2021. Saltillo, Coahuila.

	Incremento y Decremento %		
	Después de la Siembra	Después del Cultivo	Después de la Cosecha
Monocultivo	-56	-78	-61
Rotación	-28	-50	-33

NOTA: Se tomó como referencia los individuos encontrados antes de la labranza

Efecto de los sistemas de labranza en la población de lombrices en dos estratos. Ciclo verano-otoño 2021.

Primer estrato de suelo (0-10 cm)

Los análisis de varianza detectaron diferencias altamente significativas ($P=0.01$) entre los tipos de labranza en el 2°, 3° y 4° muestreo. No se detectaron diferencias significativas en el primer muestreo en el sustrato 0-10 cm.

En la Figura 12 se observa que la SD tiene los valores más altos en las cuatro fechas de muestreo con: 42, 63, 133 y 83 lombrices por m² respectivamente.

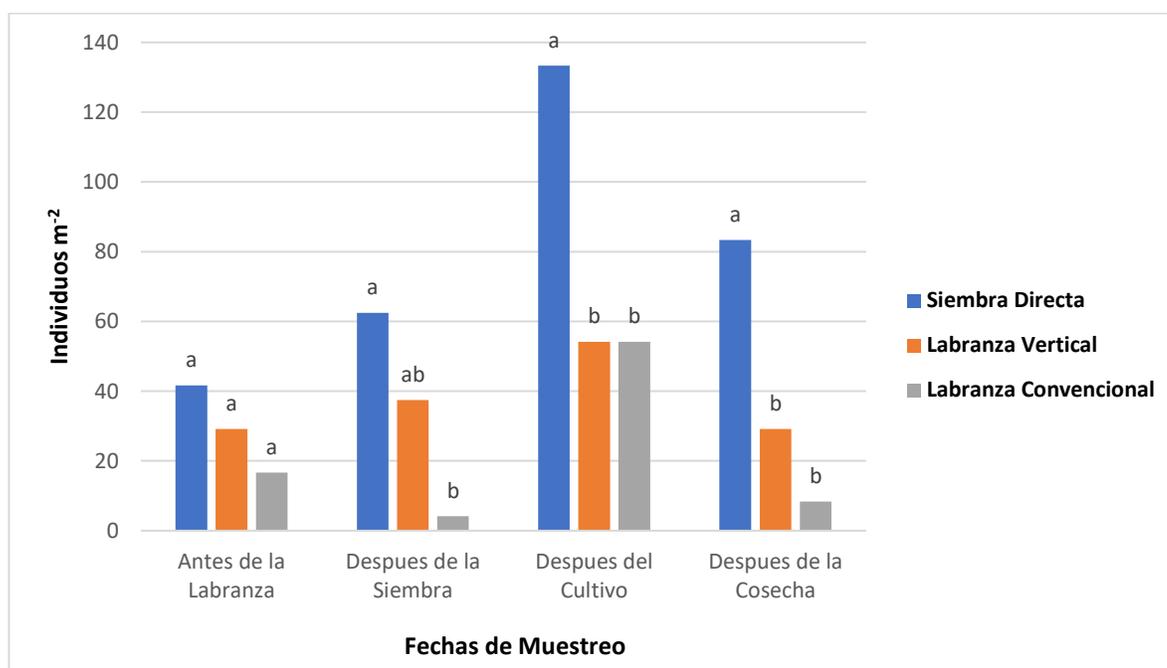


Figura 12. Efecto de los sistemas de labranza en la población de lombrices. Estrato 0 a 10 cm. Ciclo de verano-otoño 2021. Saltillo, Coahuila.

Nota: Valores con letras distintas en un mismo grupo indican diferencias significativas de acuerdo con la prueba de comparación de medias de Tukey ($\alpha=0.05$).

En la primera fecha las tres labranzas fueron estadísticamente iguales entre sí. En la segunda fecha la SD (63) y la LV (38) fueron estadísticamente iguales, a su vez la LV y la LC (4) fueron estadísticamente iguales. En la tercera y cuarta fecha la SD fue estadísticamente diferente a la LV y la LC, y estas fueron estadísticamente iguales entre sí.

Los valores más altos con la SD de obtuvieron en el tercer muestreo (133), y superó en un 60.24 %, 111.11 % y 216.66 % al número de lombrices por m² encontrados en la SD en el cuarto, segundo y primer muestreo respectivamente.

En el Cuadro 9 se observa como la LC tiene un decremento del 75% en la primera fecha posterior al primer muestreo, en la segunda fecha de muestreo se recupera con un incremento del 225%, sin embargo, en la última fecha tiene un descenso del 50%. Por el contrario, la SD incrementó 50, 220 y 100% en el 1º, 2º y 3º muestreo respectivamente.

Cuadro 9. Incremento y/o decremento en la población de lombrices en tres tipos de labranza en diferentes fechas de cultivo. Estrato de 0 a 10 cm. Verano-otoño 2021. Saltillo, Coahuila.

	Incremento y Decremento %		
	Después de la Siembra	Después del Cultivo	Después de la Cosecha
Siembra Directa	50	220	100
Labranza Vertical	29	86	0
Labranza Convencional	-75	225	-50

NOTA: Se tomó como referencia los individuos encontrados antes de la labranza

La tendencia en la disminución del número de lombrices se observa claramente en el ciclo verano-otoño 2020 y se acentúa en la LC y la LV en el muestreo realizado después del cultivo o control de malezas; sin embargo, en el ciclo verano-otoño 2021 se puede observar un incremento en el número de lombrices en la LC y la LV en esa misma fecha.

Este suceso se debió principalmente por la diferencia en las condiciones climáticas que se presentaron, ya que la precipitación pluvial, fue mayor el año 2021 y por lo tanto hubo mayor humedad en el suelo promoviendo las condiciones óptimas para el desarrollo de la población de lombrices. Por otra parte, en la SD se observó un incremento en la misma fecha en forma significativa del número de lombrices en ambos años (2020 y 2021) en el ciclo de verano-otoño.

Los resultados anteriores coinciden con los encontrados por Castellanos-Navarrete *et al.* (2012) en el trabajo de labranza de conservación con mínimo movimiento de suelo y mayor acumulación de residuos que implementaron en su investigación.

Segundo estrato de suelo (10-20 cm)

Los análisis de varianza para el tercer ciclo de cultivo, en el estrato de 10-20 cm, no presentó diferencias significativas en las primeras dos fechas de muestreo (antes de la labranza y después de la siembra) entre las tres labranzas (SD, LV y LC), pero para la tercera y cuarta fecha (después del cultivo y después de la cosecha) los análisis de varianza si detectaron diferencias altamente significativas ($P= 0.01$).

En la Figura 13 se observa el comportamiento de las medias del número de lombrices por m², denotando que en la tercera fecha la SD es estadísticamente diferente con un número de individuos de 58, a la LV y LC con 25 y 8 individuos respectivamente. En el cuarto muestreo la SD es estadísticamente igual a la LV y está a su vez es igual estadísticamente a la LC.

En la última fecha de muestreo, después de la cosecha, en los dos años (2020 y 2021) del ciclo verano-otoño la población de lombrices disminuye en el estrato de 0 a 10 cm en la SD, pero aumenta en el estrato de 10 a 20 cm, esta situación es posible ya que la última fecha de muestreo en los dos años fue al final del otoño, cuando las temperaturas y las lluvias disminuyen en la superficie y las lombrices no pueden mantenerse en el estrato superficial, lo que provoca que migren a estratos más profundos para sobrevivir a las condiciones de temperatura y humedad desfavorables.

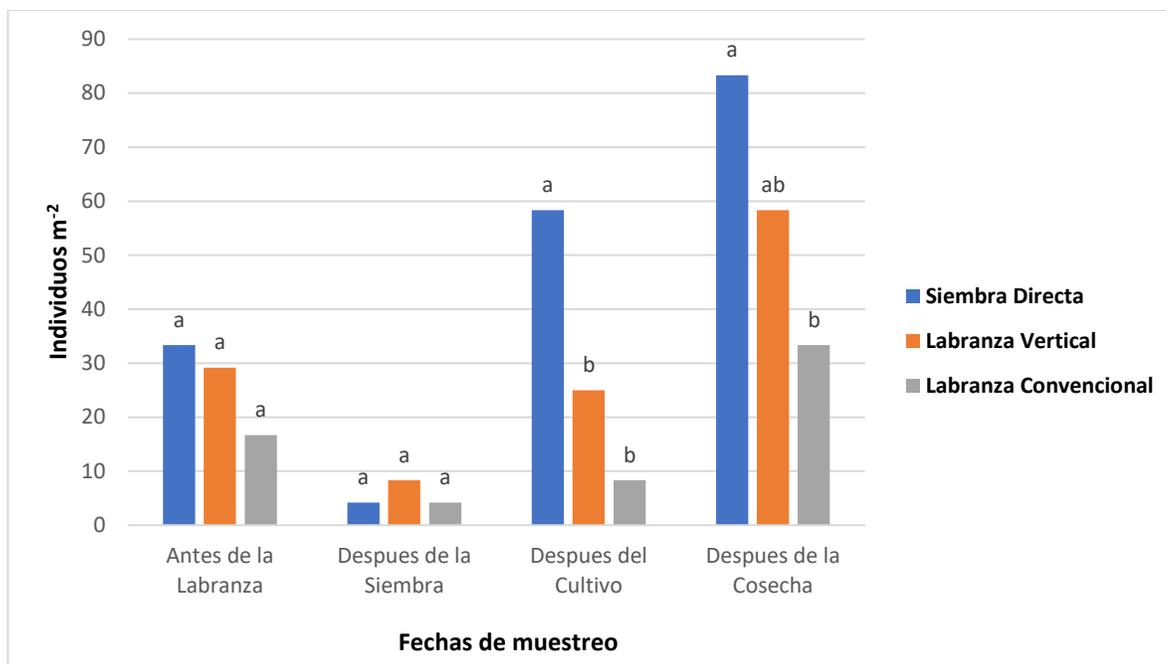


Figura 13. Efecto de los sistemas de labranza en la población de lombrices. Estrato 10 a 20 cm. Ciclo verano-otoño 2020. Saltillo, Coahuila.

Nota: Valores con letras distintas en un mismo grupo indican diferencias significativas de acuerdo con la prueba de comparación de medias de Tukey ($\alpha=0.05$).

De acuerdo con Perreault y Whalen (2006) en un estudio de laboratorio en donde observaron el comportamiento de las lombrices, en algunos casos entraron en dormancia posicionando su cuerpo en forma circular prácticamente inmóviles. Estos resultados son similares a los reportados por Potvin y Lilleskov (2017) en un estudio en áreas forestales en donde encontraron que la mayoría de las lombrices entraban en dormancia en las temperaturas más bajas en invierno, pero también en las temperaturas más altas en verano.

Uvarov (2021) indica que las lombrices adultas evitan temperaturas desfavorables en invierno migrando a capas más profundas. Así mismo, en un estudio de laboratorio realizado por Uvarov *et al.* (2011) observaron que disminuyendo la temperatura en la superficie en intervalos de 5 °C (15, 10, 5) decrecía el número de lombrices, así mismo observaron que incrementando la temperatura nuevamente a 10 °C el número de lombrices se recuperaba en el estrato superficial.

En el Cuadro 10 se observa el movimiento de la población de lombriz, ya que, en la primera fecha posterior al primer muestreo, las tres labranzas (SD, LV y LC) tienen decrementos de -87, -71 y -75% respectivamente.

Cuadro 10. Incremento y/o decremento en la población de lombrices en tres tipos de labranza en diferentes fechas de cultivo. Estrato de 10 a 20 cm. Verano-otoño 2021. Saltillo, Coahuila.

	Incremento y Decremento %		
	Después de la Siembra	Después del Cultivo	Después de la Cosecha
Siembra Directa	-87	75	150
Labranza Vertical	-71	-14	100
Labranza Convencional	-75	-50	100

NOTA: Se tomó como referencia los individuos encontrados antes de la labranza

En la segunda fecha la SD tuvo incrementos de 75%, mientras que la población de lombrices en la LV y LC disminuyeron un -14 y -50% respectivamente. En la última fecha de muestreo se observa que la SD, LV y LC tuvieron incrementos de 150, 100 y 100% respectivamente.

Efecto de los factores ambientales en la población de lombrices. Ciclo verano-otoño 2021.

Al igual que el año anterior (2020) en el año 2021 en el mismo ciclo (verano-otoño), se puede observar que al inicio del verano se tienen los mayores valores de las variables de temperatura, precipitación y humedad relativa con tendencia a decrecer hacia el final del otoño (Figura 14).

El aumento de la población de lombrices en el ciclo de verano-otoño en el año 2020 y 2021 en la SD concuerda con los valores más altos de temperatura, lluvia y humedad relativa registrados durante estos dos años, no obstante, la disminución de la población de lombriz en los estratos superficiales (0-10 cm) también concuerdan con la disminución de los valores de estas variables

ambientales, estos resultados son similares a los reportados por Singh et al. (2019).

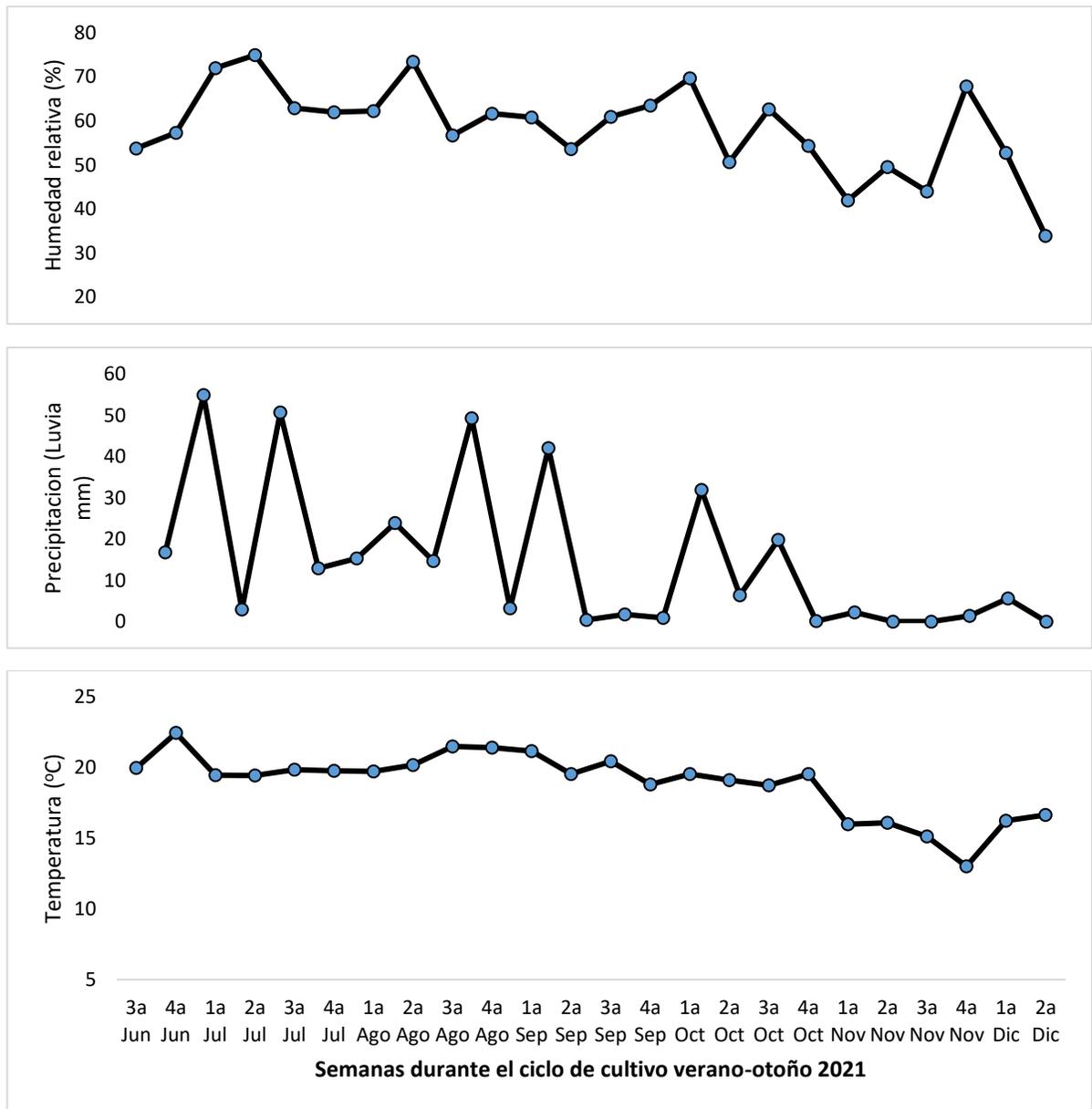


Figura 14. Temperatura, precipitación y humedad relativa durante el ciclo de cultivo de maíz forrajero verano-otoño 2021. Saltillo, Coahuila.

Efecto de los sistemas de cultivo en la población de lombrices en dos profundidades. Ciclo verano-otoño de 2021.

Primer estrato de suelo (0-10 cm)

Los análisis de varianza no detectaron diferencias significativas entre los sistemas de cultivo en ninguna fecha de muestreo del ciclo de verano-otoño 2021 en el estrato superficial (0-10 cm).

En la Figura 15 se observa una tendencia similar entre los sistemas de cultivo, pero con valores más altos en el sistema de monocultivo respecto a la rotación de cultivo en el número de lombrices m^2 en todas las fechas del muestreo, teniendo un punto máximo en la tercera fecha de muestreo (después del cultivo o control de malezas) en ambos sistemas con 83 y 78 lombrices m^2 para monocultivo y rotación de cultivo respectivamente.

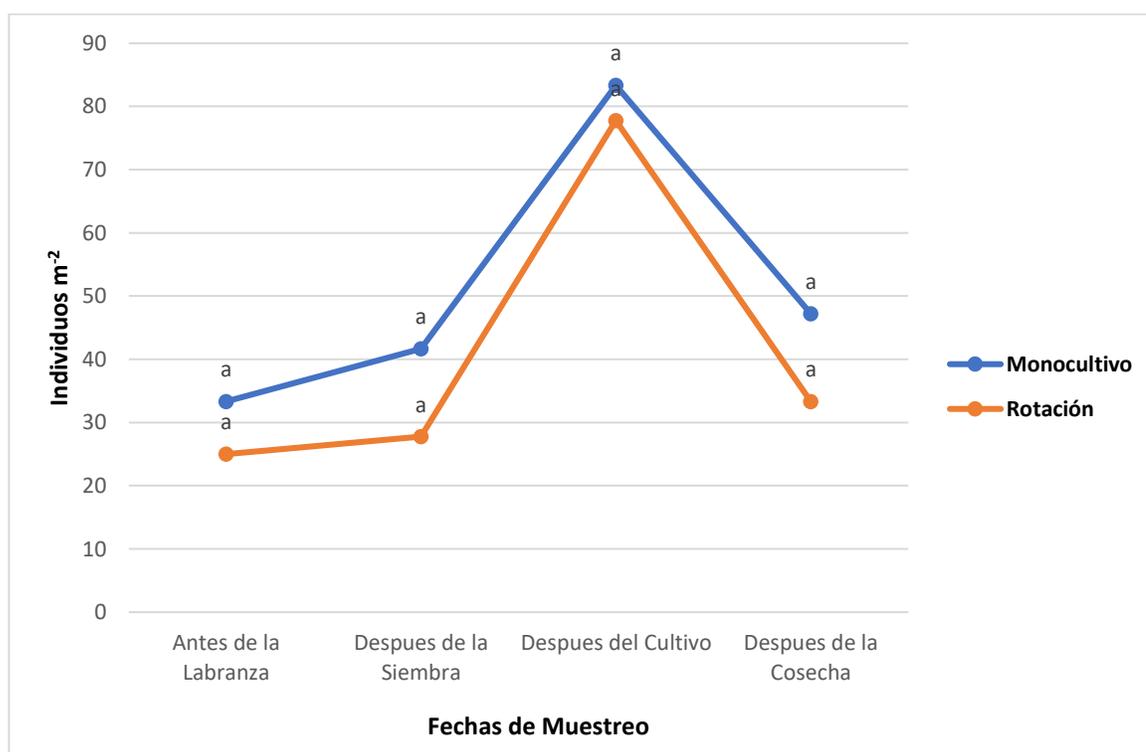


Figura 15. Efecto de los sistemas de cultivo en la población de lombrices. Estrato 0 a 10 cm. Ciclo verano-otoño 2021. Saltillo, Coahuila.

Nota: Valores con letras distintas en un mismo grupo indican diferencias significativas de acuerdo con la prueba de comparación de medias de Tukey ($\alpha=0.05$).

En el Cuadro 11 se observan los incrementos y/o decrementos en el número de lombrices de acuerdo con el sistema de cultivo, donde la rotación de cultivo fue el sistema que tuvo el mayor incremento de lombrices m^2 en la tercera fecha (después del cultivo) el ciclo verano-otoño 2021 con un 211% respecto al primer muestreo, pues el monocultivo tuvo un incremento del 150% en esta misma fecha.

No obstante, el monocultivo fue superior al sistema de rotación de cultivo en la segunda y tercera fecha de muestreo con 25% y 42% respectivamente, pues el sistema de rotación obtuvo 11% y 33% respectivamente.

Cuadro 11. Incremento y/o decremento en la población de lombrices en dos sistemas de cultivo en diferentes fechas de muestreo. Estrato de 0 a 10 cm. Verano-otoño 2021. Saltillo, Coahuila.

	Incremento y Decremento %		
	Después de la Siembra	Después del Cultivo	Después de la Cosecha
Monocultivo	25	150	42
Rotación	11	211	33

NOTA: Se tomó como referencia los individuos encontrados antes de la labranza

Segundo estrato de suelo (10-20 cm)

Los análisis de varianza para el tercer ciclo de cultivo (verano-otoño 2021), en los sistemas de cultivo no presentaron diferencias significativas en ninguna fecha de muestreo en el estrato de 10-20 cm.

Los dos sistemas de cultivo (monocultivo y rotación) tuvieron las mismas cantidades de lombrices m^2 en la segunda, tercera y cuarta fecha de muestreo con 6, 31 y 58 lombrices m^2 respectivamente. Solo en la primera fecha de muestreo tuvieron valores diferentes pues obtuvieron 19 y 33 lombrices m^2 para monocultivo y rotación respectivamente (Figura 16).

Estos movimientos de poblaciones de menos a más en el final del ciclo se repiten a los presentados en los sistemas de cultivo del ciclo verano-otoño 2020 en el estrato de 10-20 cm, pues en ellos se puede observar como en los primeros tres

muestreos se presentan los menores números de lombrices m^2 y no es sino hasta en el último muestreo donde se eleva la población de lombriz en este estrato (10-20).

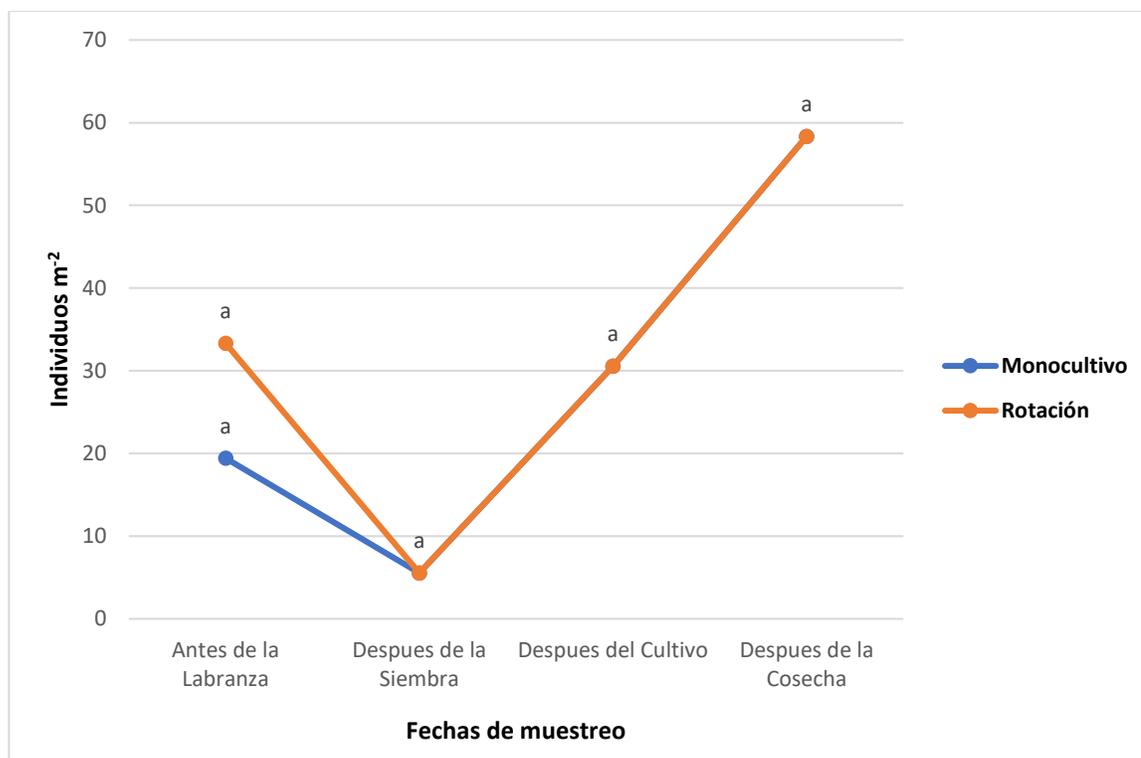


Figura 16. Efecto de los sistemas de cultivo en la población de lombrices. Estrato 10 a 20 cm. Ciclo verano-otoño 2020. Saltillo, Coahuila.

Nota: Valores con letras distintas en un mismo grupo indican diferencias significativas de acuerdo con la prueba de comparación de medias de Tukey ($\alpha=0.05$).

El fenómeno anteriormente mencionado ya ha sido aclarado en los apartados anteriores, sin embargo, reiterando la anterior explicación, se sabe que el ambiente juega un papel sumamente importante en la presencia de lombrices, tanto en la superficie como en estratos más profundos, pues dependen del ambiente para poder sobrevivir y poder realizar todos los procesos en los que están involucradas como por ejemplo: en el que modifican la biomasa microbiana y su actividad de forma directa a través de la estimulación, digestión y dispersión de los microorganismos entre otros componentes biológicos del sistema del suelo en los que interactúan (Domínguez *et al.*, 2009).

En el Cuadro 12 se presenta los incrementos y/o decrementos en porcentaje tomando como referencia el primer muestreo de los dos sistemas de cultivo (monocultivo y rotación) el ciclo verano-otoño 2021 en el segundo estrato (10-20 cm), denotando una gran variación en los datos pues mientras en la segunda fecha de muestreo los dos sistemas de cultivo tuvieron decrementos de -71 y -83% respectivamente, en la tercer fecha el monocultivo se recuperó con un 57% de incremento en la población de lombriz, pero el sistema de rotación tuvo un decremento del -8%, no obstante, en la cuarta y última fecha los dos sistemas se incrementaron hasta 200% para el caso de monocultivo y 75% para rotación respectivamente.

Cuadro 12. Incremento y/o decremento en la población de lombrices en dos sistemas de cultivo en diferentes fechas de muestreo. Estrato de 10 a 20 cm. Verano-otoño 2021. Saltillo, Coahuila.

	Incremento y Decremento %		
	Después de la Siembra	Después del Cultivo	Después de la Cosecha
Monocultivo	-71	57	200
Rotación	-83	-8	75

NOTA: Se tomó como referencia los individuos encontrados antes de la labranza

CONCLUSIONES

Los sistemas de labranza fueron variables importantes en el desarrollo de esta investigación, ya que fueron el principal factor en el decremento de las poblaciones de lombrices, de acuerdo con la intensidad de aplicación de cada una. La Labranza Convencional y Labranza Vertical en ese orden disminuyeron drásticamente las poblaciones de lombriz de tierra debido a la intensa manipulación de suelo que provocó una destrucción de su hábitat y con eso la disminución de estas, principalmente durante la preparación del suelo para la siembra, así como también durante la labor de control mecánico de la maleza en el surco por la naturaleza de estos sistemas. Sin embargo, la Siembra Directa mantuvo las condiciones adecuadas para promover el crecimiento de la población de lombrices y conservó ese comportamiento durante los tres ciclos de cultivo en casi todas las fechas. Cabe resaltar que los factores ambientales como la precipitación, la humedad relativa y la temperatura, jugaron un papel importante al inicio y al final de cada ciclo de cultivo, pues estos tuvieron una gran correlación en el comportamiento de las lombrices a pesar de no haber sido una variable de estudio.

REFERENCIAS

- Alonso, B.M., Aguirre, M.F.J., 2011. Efecto de la labranza de conservación sobre las propiedades del suelo. *Terra Latinoamericana*. 29, 113–121.
- Altieri, M.A., Farrell, J.G., Hecht, S.B., Liebman, M., Magdoff, F., Norgaard, R.B., Sikor, T.O., 1999. *AGROECOLOGIA Bases científicas para una agricultura sustentable*, *AGROECOLOGIA Bases científicas para una agricultura sustentable*. Montevideo.
- Alzate, J., Peñaranda, S., 2019. Incidencia del monocultivo de la caña de azúcar, en los aspectos económicos y socio ambientales del valle del Cauca, entre el 2007 y el 2017. Universidad Santiago de Cali facultad. 114 pp.
- Báez, M. & Aguirre, J. (2011). Efecto de la Labranza de conservación sobre las propiedades del suelo. *Terra Latinoamericana*. 29 (2): 113-121.
- Baker, J.C., Saxton, K.E., 2008. Los ¿qué? y los ¿por qué? de la agricultura con labranza cero, in: *Siembra Con Labranza Cero En La Agricultura de Conservación*. pp. 1–12.
- Borja C., M., 2014. La rotación de cultivos y los abonos verdes en horticultura ecológica. Ficha Técnica PAE 22.
- Brown, G., C. Fragoso, I. Barois, P. Rojas, J. C. Patrón, J. Bueno, A. Moreno, P. Lavelle, V. Ordaz y C. Rodríguez. 2001. Diversidad y rol funcional de la macrofauna edáfica en los ecosistemas tropicales mexicanos. *Acta Zoológica Mexicana* 1: 79-110.
- Cabrera, G., 2012. La macrofauna edáfica como indicador biológico del estado de conservación/perturbación del suelo. Resultados obtenidos en Cuba. *Pastos y Forrajes* 35, 349–363 p.
- Cabrera-Dávila, G. de la C., 2014. Manual Práctico sobre la Macrofauna Edáfica como Indicador Biológico de la Calidad del Suelo, según resultados en Cuba. *Impacto la intensidad uso la tierra sobre la macrofauna del suelo en el Occident. Cuba. La macrofauna como bioindicador la Fertil. del suelompecto la intensidad uso la tierra sobre la macrofauna del suelo en el Occident. Cuba*. 34 pp.
- Cabrera Dávila, G., Socarrás, A.A., Gutiérrez Cubría, E., Tcherva, T., Martínez Muñoz, C.A., Lozada Piña, A., 2017. La fauna del suelo, in: *Diversidad Biológica de Cuba: Métodos de Inventario, Monitoreo y Colecciones Biológicas*. 254–283 p.
- Cadena, B., Egas, D., Ruiz Eraso, M., Mosquera, J., Benavides, O., 2012. Efecto de cinco sistemas de labranza, en la erosión de un suelo Vitric haplustand, bajo cultivo de papa (*Solanum tuberosum* L). *Rev. Ciencias Agrícolas* 29, 116–128 p.

- Caicedo, S., Bernal, J.H., Navas, G., Salamanca, C.R., Guevara, E.J., Botero, R., 2004. Labranza de conservación para la producción de cultivos semestrales en el Piedemonte Llanero.
- Castellanos, N.A., Rodríguez, A.C., de Goede, R.G.M., Kooistra, M.J., Sayre, K.D., Brusaard, L., Pulleman, M.M., 2012. Earthworm activity and soil structural changes under conservation agriculture in central Mexico. *Reflections Cult. Mix. Diacritics* 123, 61–70. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.1016/j.still.2012.03.011>
- Chamorro, L., Baldivieso, P., Blanco, M.J.M., Armengot, L., Sans, F.X., 2017. Efecto del laboreo mínimo (chisel), la fertilización y los abonos verdes sobre la flora arvense y los rendimientos en una rotación de cultivos de cereales y leguminosas ecológicos, in: XVI Congreso de La Sociedad Española de Malherbología. Barcelona, pp. 125–130.
- Chaves, N.F., Araya, C.M., 2012. Efecto de la rotación de cultivos en la incidencia del amachamiento (*Aphelenchoides besseyi* Christie) en Frijol. *Agron. Costarric.* 36, 61–70. <https://doi.org/10.15517/rac.v36i2.9821>
- Dekemati, I., Simon, B., Vinogradov, S., Birkás, M. 2019. The effects of various tillage treatments on soil physical properties, earthworm abundance and crop yield in Hungary. *Soil and Tillage Research* 194 (2019) 104334 <https://doi.org/10.1016/j.still.2019.104334>
- Delgado, G., Burbano, A., Silva, P.A., 2011. Evaluación de la macrofauna del suelo asociada a diferentes sistemas con café *Coffea arabica* L. *Rev. Ciencias Agric.* 28, 91–106.
- Demuner, M.G., Cadena, Z.M., Campos, M.S.G., 2013. Resistencia a la penetración en un suelo franco arcilloso a dos años de manejo con tres sistemas de labranza. *Rev. Ciencias Técnicas Agropecu.* 22, 68–71.
- Domínguez, A., Bedano, J.C., Becker, A.R., 2009. Cambios En La Comunidad De Lombrices De Tierra (Annelida : Lumbricina) Como Consecuencia Del Uso De La Técnica De Siembra Directa En El Centro-Sur De Cordoba, Argentina. *CI.SUELO* 27, 11–19.
- Domínguez, J., Aira, M., Gómez-Brandón, M., 2009. El papel de las lombrices de tierra en la descomposición de la materia orgánica y el ciclo de nutrientes. *Ecosistemas* 18, 20–31. <https://doi.org/10.7818/re.2014.18-2.00>
- Domínguez, J., Gómez-Brandón, M., 2010. Ciclos de vida de las lombrices de tierra aptas para el vermicompostaje. *Acta Zoológica Mex.* 26, 309–320. <https://doi.org/10.21829/azm.2010.262896>
- Escandón, N.N., 2012. Rotación y asociación de cultivos en la provincia del Azuay para el rescate de la soberanía alimentaria.
- FAO. Food and Agriculture Organization of the United Nations 2022. What is conservation agriculture? URL [What is Conservation Agriculture? |](https://www.fao.org/3/cb/i1002es.pdf)

Conservation Agriculture | Food and Agriculture Organization of the United Nations (fao.org)

- Fernández, P.; Acevedo, D.; Morales, A.; Uribe, M. 2016. State of the essential chemical elements in the soils of natural, agroforestry and monoculture systems. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales* 7(35): 65- 77.
- Fragoso, C., Rojas, P., 2014. Biodiversidad de lombrices de tierra (Annelida: Oligochaeta: Crassiclitellata) en México. *Rev. Mex. Biodivers.* 85, 197–207. <https://doi.org/10.7550/rmb.33581>
- Galván, C.F., 2006. Labranza de Conservacion. *Ideas CONCYTEG* 1, 30.
- García., D.Y., Cárdenas., J.F., Silva Parra, A., 2018. Evaluación de sistemas de labranza sobre propiedades físico-químicas y microbiológicas en un Inceptisol. *Rev. Ciencias Agrícolas* 35, 16 pp. <https://doi.org/10.22267/rcia.183501.79>
- Lavelle P, Decaëns T, Aubert M, Barot S, Blouin M, Bureau F. et al. Soil invertebrates and ecosystem services. *Eur J Soil Biol* 2006; 42: S3–S15 p. DOI: 10.1016/j.ejsobi.2006.10.002
- Lavelle P, Rodríguez N, Arguello O, Bernal J, Botero C, Chaparro P, et al. Soil ecosystem services and land use in the rapidly changing Orinoco River Basin of Colombia. *Agric Ecosyst Environ.* 2014 ; 185 :106-117 p, DOI : [https:// dx.doi.org/10.1016/j.agee.2013.12.020](https://dx.doi.org/10.1016/j.agee.2013.12.020)
- Li, H.; Wang, J.; Liu, Q.; Zhou, Z.; Xiang, D.; Chen, F. 2018. Effects of consecutive monoculture of sweet potato on soil bacterial community as determined by pyrosequencing. *Journal of Basic Microbiology* 2018: 1-11.
- Navarro, B.A., Figueroa, S.B., Ordaz, C.M. V., González, C.F.V., 2000. Efecto de la labranza sobre la estructura del suelo, la germinación y el desarrollo del maíz y frijol. *Terra Latinoam.* 18, 61–69.
- Perreault, J.M., Whalen, J.K. 2006. Earthworm burrowing in laboratory microcosms as influenced by soil temperature and moisture. *Pedobiologia* 50: 397—403
- Potvin, L.R., Lilleskov, E.A. 2017. Introduced earthworm species exhibited unique patterns of seasonal activity and vertical distribution, and *Lumbricus terrestris* burrows remained usable for at least 7 years in hardwood and pine stands. *Biol Fertil Soils*, 53:187–198, DOI 10.1007/s00374-016-1173-x
- Reicosky, D.C., Saxton, K.E., 2008. Los beneficios de la labranza cero, in: *Siembra Con Labranza Cero En La Agricultura de Conservación.* pp. 13–24.
- Reynolds, J. W. & M. J. Wetzel. 2010. *Nomenclatura Oligochaetologica. Supplementum Quartum.* A catalogue of names, descriptions and type

- specimens of the Oligochaeta. Illinois Natural History Survey Special Publication, Chicago.
- Rios S., Y., 2003. Importancia de las lombrices en la agricultura. Sist. Integr. Prod. con no rumiantes 47–52.
- Rivera, J. 2003. La labranza de los suelos en el trópico: ¿Necesidad o costumbre? En: Curso Nacional. Hacia un nuevo enfoque de producción y manejo de los recursos forrajeros tropicales en la empresa ganadera. CORPOICA. Ecorregión Andina. Octubre 2 y 3 de 2003.
- Rothwell, A., Chaney, K., Haydock, P. 2011. The Impact of Cultivation Techniques on Earthworm Populations. In: A. Karaca (ed.), *Biology of Earthworms*, Soil Biology 24, DOI 10.1007/978-3-642-14636-7_10
- Singh, J.; Schädler, M., Demetrio, W., Brown, G.G., Eisenhauer, N. 2019. Climate change effects on earthworms - a review. *Soil Org.* 91(3): 114–138. doi:10.25674/so91iss3pp114
- Singh J., Cameron, E., Reitz, T., Schädler, M., Eisenhauer, N. 2021. Grassland management effects on earthworm communities under ambient and future climatic conditions. *Eur J Soil Sci.* 72 :343–355. <https://doi.org/10.1111/ejss.12942>
- Shertzer, G., 2013. Estudio comparativo de sistemas de labranza y rotaciones de cultivos y sus efectos en el rendimiento de trigo y la productividad del suelo. Universidad De Chile.
- Swift, M.J., D. Bignell, F. Moreira y E. J. Huising. 2012. Capítulo 1. El inventario de la biodiversidad biológica del suelo: conceptos y guía general. Pp. 29-52. En: *Manual de Biología de Suelos Tropicales. Muestreo y caracterización de la biodiversidad bajo suelo* (F. Moreira, E. J. Huising y D. E. Bignell, Eds.). Instituto Nacional de Ecología, México.
- Tapia, C.S.C., Pinto, H.C.A., Candre, I.A., Asencio, C., Cuellar, C.R., Waldez, F., 2019. Caracterización de la macrofauna del suelo en fragmentos forestales en el municipio de Leticia, Amazonía colombiana. *Rev. Colomb. Cienc. Anim. - RECIA* 11, 690 pp. <https://doi.org/10.24188/recia.v11.n1.2019.690>
- Uvarov, A.V. 2021. The Overwinter Survival of three Earthworm Species in Mono- and Multispecific Assemblages. *Biol Bull Russ Acad Sci* 48, 821–828 <https://doi.org/10.1134/S1062359021130069>
- Uvarov, A.V., Tiunov, A.V., Scheu, S. 2011. Effects of seasonal and diurnal temperature fluctuations on population dynamics of two epigeic earthworm species in forest soil. *Soil Biology & Biochemistry* 43: 559-570 doi: 10.1016/j.soilbio.2010.11.023
- Vázquez, J., Alvarez-Vera, M., Iglesias-Abad, S., Castillo, J., 2020. La incorporación de enmiendas orgánicas en forma de compost y

vermicompost reduce los efectos negativos del monocultivo en suelos. *Sci. Agropecu.* 11, 105–112. <https://doi.org/10.17268/sci.agropecu.2020.01.12>

Woźniak, A. 2019. Effect of Crop Rotation and Cereal Monoculture on the Yield and Quality of Winter Wheat Grain and on Crop Infestation with Weeds and Soil Properties. *International Journal of Plant Production* 13: 177-182

Zerbino, M. S., N. Altier, A. Morón y C. Rodríguez. 2008. Evaluación de la macrofauna del suelo en sistemas de producción en siembra directa y con pastoreo. *Agrociencia* 12 (1): 44-55.