






Efecto de sistemas de labranza en la población de lombrices de tierra en maíz forrajero

Effect of tillage systems on the earthworm population in forage maize

Daniel Aldaco-Gómez¹ ,
Martín Cadena-Zapata^{1*} ,
Alejandro Zermeño-
González¹ ,
Juan Antonio López-
López¹ ,
Ernesto Cerna-Chávez¹ 

¹Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Calzada Antonio Narro 1923. CP. 25315. Saltillo, Coahuila, México.

*Autor de correspondencia:
martin.cadena@uaaan.edu.mx

Nota científica

Recibida: 06 de diciembre 2022

Aceptada: 05 de abril 2023

Como citar: Aldaco-Gómez D, Cadena-Zapata M, Zermeño-González A, López-López JA, Cerna-Chávez E (2023) Efecto de sistemas de labranza en la población de lombrices de tierra en maíz forrajero. *Ecosistemas y Recursos Agropecuarios* 10(1): e3544. DOI: 10.19136/era.a10n1.3544

RESUMEN. Las lombrices de tierra son componente esencial de la macrofauna del suelo para mantener su calidad. La labranza puede afectar de forma negativa a sus poblaciones, que normalmente varían con factores ambientales. El objetivo fue evaluar el efecto de tres sistemas de labranza en la población de lombrices de tierra, en presencia de factores temperatura, precipitación y humedad relativa ambientales en dos ciclos de cultivo de maíz forrajero. Se evaluaron la siembra directa (SD), labranza vertical (LV) y labranza convencional (LC), en bloques completos al azar en parcelas de 6 x 40 m con tres repeticiones. Se cuantificaron las lombrices en verano-otoño de 2020 y 2021; antes de la labranza y después de la siembra, control mecánico de malezas y cosecha; LC y LV provocaron la disminución de lombrices mientras que SD promovió un aumento; en especial cuando los factores ambientales generaron las condiciones óptimas para las lombrices. **Palabras clave:** Población de lombriz de tierra, ambiente, labranza de conservación, macrofauna, movimiento del suelo.

ABSTRACT. Earthworms are an essential component of the soil macrofauna to maintain its quality. Tillage can negatively affect earthworm populations; environmental factors are vital for their abundance or decline. This research aimed to evaluate the effect of tillage systems on the earthworm population in the presence of environmental factors such as temperature, precipitation, and relative humidity in forage maize. Direct Seeding (SD), Vertical Tillage (LV), and Conventional Tillage (LC) were evaluated in complete blocks at random in plots of 6 x 40 m with three replications. The number of worms was measured during summer-fall 2020 and 2021, before tillage, after sowing, mechanical weed control, and harvest. LC and LV caused a decrease in individuals after their application. On the contrary, SD promoted an increase in the number of individuals. At SD treatment, more individuals were reached when temperature and precipitation were optimal.

Key words: Earthworm populations, environment, conservation tillage, macrofauna, ground movement.

INTRODUCCIÓN

En México se han estudiado poblaciones de lombrices en ambientes húmedos y tropicales (Espinosa-Reyes *et al.* 2019, Ortiz-Gamino *et al.* 2020). Sin embargo, a pesar de que alrededor del 60% del país son tierras áridas y semiáridas, existe una falta de estudios en este aspecto en las zonas áridas del país impactadas por actividades antropogénicas como la agricultura (Perez-Aguilar *et al.* 2021) que han causado degradación y desertificación (Pontifes *et al.* 2018, Guevara-Macías *et al.* 2020). Además, las lombrices son un indicador de la calidad del suelo (Mcinga *et al.* 2020); y juegan un papel esencial en la función y propiedades físicas y químicas del suelo (Hallam *et al.* 2020). Por lo tanto, el uso de la tierra bajo producción agrícola continua puede tener un impacto negativo en las poblaciones de lombrices; las prácticas agrícolas las pueden disminuir al afectar las propiedades físicas y químicas del suelo (Kumar *et al.* 2020). La manipulación mecánica del suelo por la labranza convencional modifica las propiedades físicas del suelo y puede causar daño y mortalidad al 50% de las poblaciones de lombrices (Johnston *et al.* 2015, Jat *et al.* 2022). La agricultura de conservación y la labranza cero incrementan la abundancia de lombrices en un 127 y 137%, respectivamente, en comparación con el arado convencional (Briones y Schmidt 2017).

Los estudios en condiciones semiáridas han demostrado que la densidad de lombrices de tierra fue mayor en los sistemas de labranza cero que en la labranza convencional (Mcinga *et al.* 2020, Rodríguez *et al.* 2020). Los efectos de las prácticas agrícolas sobre las poblaciones de lombrices también dependen de sus interacciones con los tipos de suelo y el contenido de humedad (Li *et al.* 2019). Los factores estresantes ambientales también son cruciales para las lombrices de tierra; su supervivencia depende de la humedad, la temperatura, la textura y el pH (Ortiz-Ceballos *et al.* 2021). Singh *et al.* (2021) en su investigación encontraron que las poblaciones de lombrices 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 de la abundancia de lombrices activas durante la época de lluvias más escasas. La lombriz de tierra disminuye la actividad de alimentación por debajo de 10 °C y arriba de 40 °C y rangos de temperatura de 24 a 48 °C se consideran altamente fatales, pero difieren entre especies (Al-Maliki *et al.* 2021); la actividad y abundancia tienden a incrementarse al aumentar la temperatura entre 25 a 35 °C a una suficiente humedad (Singh *et al.* 2019). La abundancia y la biomasa de las lombrices de tierra están relacionadas con la cantidad de residuos superficiales presentes (Abail y Whalen 2018). En un estudio realizado por Prendergast-Miller *et al.* (2021) encontraron que dos años después del inicio del experimento, la abundancia de lombrices de tierra era cuatro veces mayor en una pradera de hierba y trébol recién establecida que en la tierra cultivable. La biomasa de lombrices fue mayor y más estable en el tiempo en el sistema de cultivo sin labranza con mantillo vivo que en los sistemas con labranza según Pelosi *et al.* (2017). Las poblaciones de lombrices ya estresadas por las actividades asociadas con el uso de la tierra cultivable son más susceptibles a las inundaciones que las poblaciones en los campos de pastoreo (Kiss *et al.* 2021). Por lo anterior, la presente investigación tuvo como objetivo evaluar el efecto de tres sistemas de labranza diferentes en la población de lombrices de tierra, tomando en cuenta la presencia de factores ambientales como temperatura, precipitación y humedad relativa registrados en campo abierto en cultivo de maíz forrajero.

MATERIALES Y MÉTODOS

Ubicación y características del sitio experimental

El experimento se estableció en la Estación Experimental de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro de Saltillo, Coahuila, México, ubicada 25° 21' 27" Norte y 101° 02' 29" Oeste; el clima de la región es seco y semiárido. De acuerdo con la clasificación climática de Koppen es un clima BS0kx' (w) (e'), altitud 1 734 msnm, temperatura media de 16.9 °C, precipitación media anual de 435 mm y evaporación media anual de 1 956 mm. El suelo a pro-

fundidad de 0 a 20 cm es franco arcilloso (34.1% arcilla, 3.4% limo y 32.5% arena) con 2.09% de materia orgánica. Desde el 2010 el sitio experimental ha estado continuamente bajo tres tratamientos de labranza: 1) Siembra directa (SD): La semilla se siembra directamente al suelo sin realizar labores previas, se utilizan sembradoras dotadas de herramientas adecuadas para cortar suelo y mantillo. 2) Labranza vertical (LV): Utilizan equipos de arados de cinceles y rastra de discos para la previa preparación del suelo, los cuales lo aflojan solo en plano vertical dejando en la superficie cobertura de mantillo. 3) Labranza convencional (LC): Se realiza las operaciones de preparación del suelo más utilizadas en la región de estudio, se inicia con el arado de discos que mezcla y entierra los residuos de cultivo, luego se pasa la rastra de discos y finalmente se siembra.

Diseño experimental y tipo de muestreo

El diseño experimental fue de bloques completos al azar con tres tratamientos de labranza (SD, LV y LC) en parcelas de 6 x 40 m con tres repeticiones. Se midió la abundancia de lombrices durante dos años consecutivos (2020 y 2021) en cuatro fechas durante las épocas de cultivo del maíz forrajero (julio a diciembre). También se registraron los valores diarios de temperatura, precipitación y humedad relativa del sitio experimental, obtenidos a partir de las mediciones de la estación meteorológica de la UAAAN, durante los ciclos de cultivo verano-otoño 2020 y 2021. Los muestreos de lombrices se realizaron antes de la labranza como referencia, posteriormente después de la siembra, continuando después del control mecánico de malezas y finalmente después de la cosecha. En cada tratamiento se marcó un cuadrante de 25 cm x 25 cm y se excavó a 20 cm de profundidad formando un monolito, se dividió en dos estratos (0-10 cm y 10-20 cm) y se extrajeron las lombrices para contarse mediante selección manual *in situ* (Roarty et al. 2017). Las lombrices fueron devueltas a la tierra, sin embargo, algunos especímenes fueron colocados en un frasco de vidrio con alcohol al 70% para su posterior identificación de acuerdo con Sherlock (2018).

Los datos obtenidos se sometieron a la técnica

del análisis de varianza (ANOVA) y pruebas de comparación de medias de Tukey ($P = 0.05$) utilizando el software estadístico SAS versión 9.0.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

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

En la Figura 1 se observa el número promedio de lombrices por metro cuadrado de acuerdo con el tipo de labranza en los dos estratos (0-10 y 10-20 cm) en el ciclo verano-otoño 2020. Cabe mencionar que la única especie de lombriz identificada en base a la guía de identificación de Sherlock (2018) fue la *Aporrectodea caliginosa* de comportamiento endogeo. Para el primer estrato, en la primera fecha de muestreo la población de lombrices no fue estadísticamente diferente entre los tres tipos de labranza. Sin embargo, en las tres fechas posteriores, la SD fue estadísticamente diferente a la LV y la LC que a su vez fueron iguales entre sí. Cabe destacar que 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 comparación con la LV y la LC los cuales utilizaron implementos que disturbaron el suelo a mayor grado y esto se pudo ver reflejado en el número de lombrices en el segundo y tercer muestreo. En el segundo estrato, 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 m^2 respectivamente. En esta fecha de muestreo la SD superó a la LV y LC en un 66 y 388 por ciento en la población de lombrices respectivamente.

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

En el ciclo 2021 en el primer estrato la SD tiene los valores más altos en las cuatro fechas de muestreo con: 42, 63, 133 y 83 lombrices por m^2

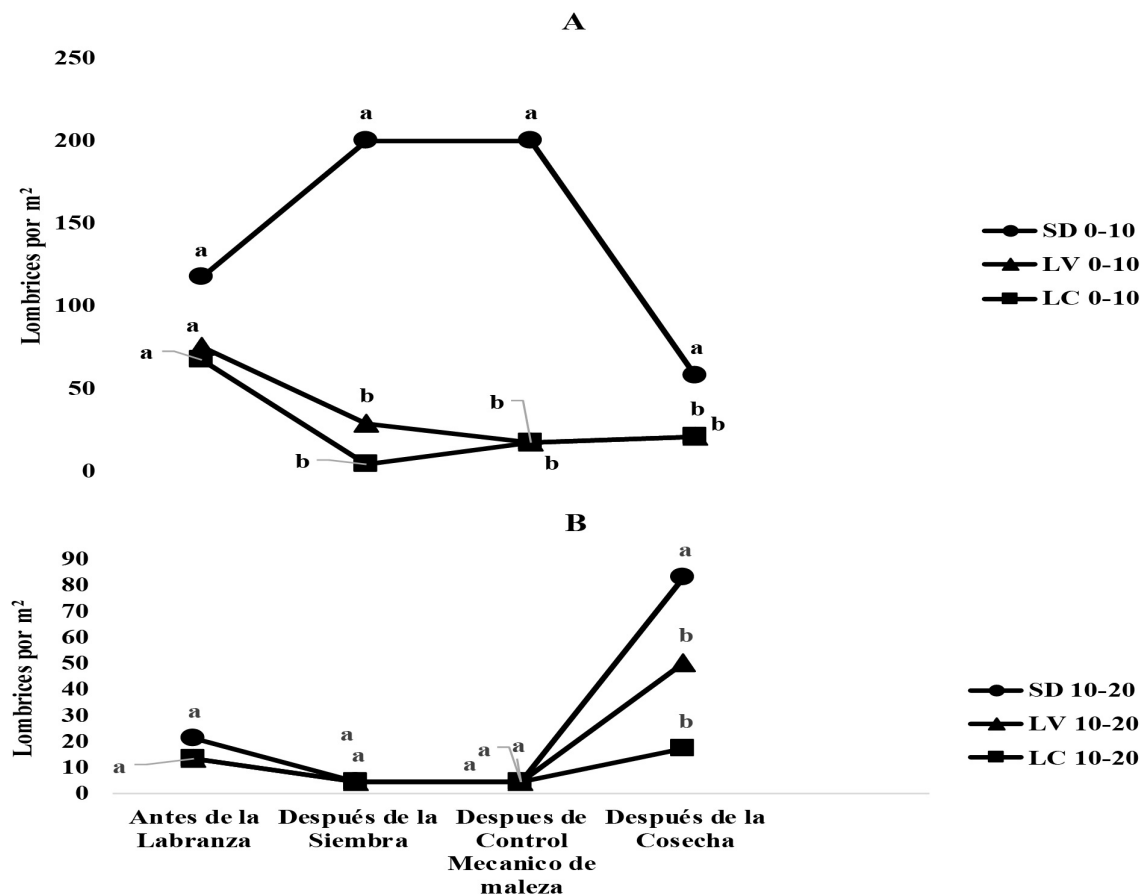


Figura 1. Efecto de los sistemas de labranza en la población de lombrices de tierra. Estratos 0 a 10 cm (A) y 10 a 20 cm (B). Verano-otoño 2020. Saltillo, Coahuila. Nota: Valores con letras distintas en una misma fecha de muestreo indican diferencias significativas de acuerdo con la prueba de comparación de medias de Tukey ($\alpha = 0.05$).

respectivamente. 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 (Figura 2). La tendencia en la disminución del número de lombrices en el ciclo anterior se observa claramente acentuada en la LC y la LV en el muestreo después del cultivo o control de maleza. Por lo contrario, en este ciclo se observa que para la fecha de muestreo después del cultivo o control de maleza se puede observar un incremento en el número de lombrices en la LC y la LV del 225 y 86%. Sin embargo, la SD incrementó 50, 220 y 100% en el 1°, 2° y 3° muestreo

respectivamente.

En el segundo estrato se puede constatar que en la tercera fecha la SD es estadísticamente diferente con 58 individuos, a la LV y la 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.

Efecto de los factores ambientales en la población de lombrices. Ciclo verano-otoño 2020 y 2021

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 y 2021 se encuentran en la Figura 3. En el primer ciclo las temperaturas promedio más altas oscilaron

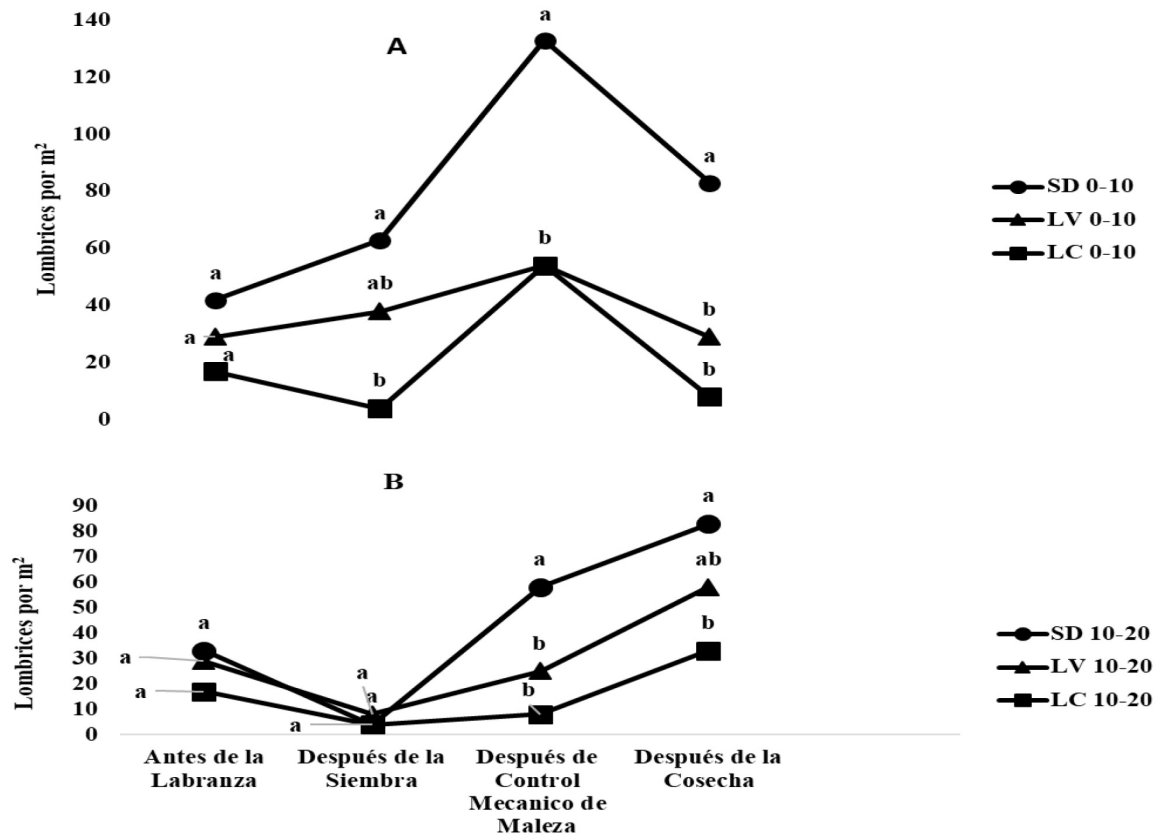


Figura 2. Efecto de los sistemas de labranza en la población de lombrices de tierra. Estratos 0 a 10 (A) y 10 a 20 cm (B). Verano-otoño 2021. Saltillo, Coahuila. Nota: Valores con letras distintas en una misma fecha de muestreo indican diferencias significativas de acuerdo con la prueba de comparación de medias de Tukey ($\alpha = 0.05$).

entre los 19 y 24 °C, la mayor cantidad de lluvia se registró en los primeros meses durante la 4ta semana de julio con 101 mm y una humedad relativa del 73%, aunque ésta se mantuvo alta al inicio y mitad del ciclo de cultivo, la humedad relativa más alta registrada se dio solo una vez en otoño en la tercera semana de septiembre con 90% de humedad relativa (Figura 3). 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). Al igual que el año anterior en el ciclo 2021, 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 3).

Relación de los sistemas de labranza y factores ambientales en la población de lombrices

En otros estudios realizados por Rothwell *et al.* (2011) y Dekemati *et al.* (2019) se 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. Se observa una relación de la precipitación en los dos primeros meses de los ciclos 2020 (75%) y 2021 (68%) y las máximas temperaturas promedio (entre 20 a 24 °C) con la mayor cantidad de lombrices registradas en ambos años en SD. En este periodo del ciclo de cultivo se tuvieron las condiciones óptimas para el desarrollo de lombrices durante los dos años estudiados, coincidiendo estos resultados con los reportados por Castellanos-Navarrete *et al.* (2012). En

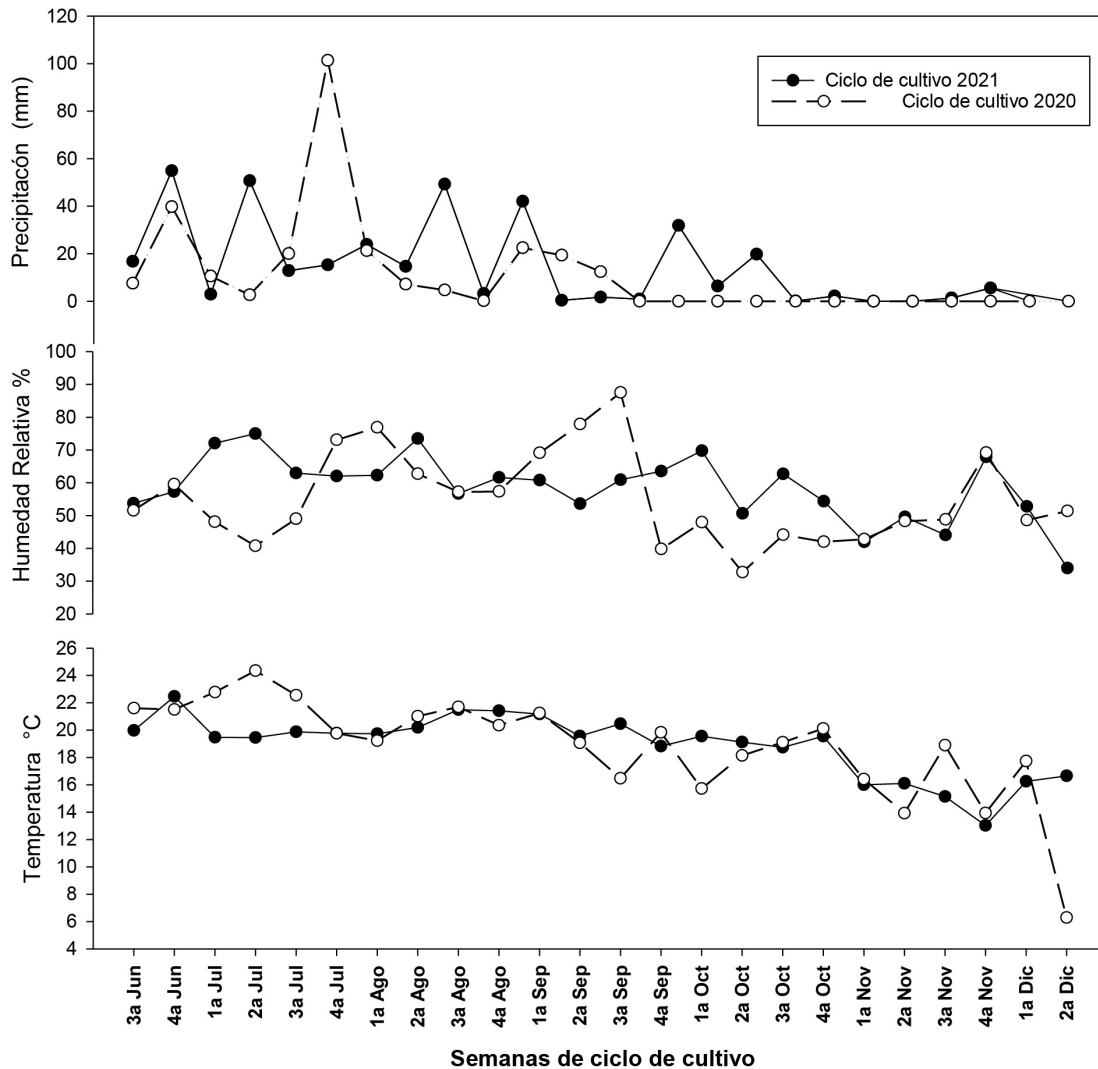


Figura 3. Temperatura, precipitación y humedad relativa durante el ciclo de cultivo verano-otoño 2020 y 2021.

la LC se lleva a cabo una intensa manipulación del perfil del suelo destruyendo el hábitat de las lombrices, dañándolas directamente, es por eso, por lo que en ambos años hubo una disminución en gran medida después de aplicarse estas labores agrícolas tan destructivas; aun cuando las condiciones ambientales como; humedad y temperatura, fueron óptimas para la proliferación de lombrices, concordando con lo descrito por Briones y Schdmit (2017). La LV actúa con una menor intensidad en el suelo, por lo que se observó que la disminución de la población de lombrices fue menor en comparación con la LC

en las mismas condiciones ambientales. El resultado es similar a lo reportado por Torppa y Taylor (2022) en el que la densidad de lombrices por m² fue menor en labranza convencional comparada con tratamientos de labranza reducida y labranza cero.

En la última fecha de muestreo, después de la cosecha, en los dos ciclos de cultivo (2020 y 2021) la población de lombrices disminuyó en el estrato de 0 a 10 cm en la SD, pero aumentó en el de 10 a 20 cm, dicho suceso se dio lugar ya que, ésta última fecha de muestreo fue al final del otoño, cuando las temperaturas y la precipitación

disminuyeron considerablemente; similar a lo reportado por Uvarov (2021) y Singh *et al.* (2019), en donde encontraron que las lombrices no pueden mantenerse en el estrato superficial en presencia de condiciones adversas del ambiente, provocando que estas migren a estratos más profundos donde las condiciones son más óptimas para ellas, con mayor humedad y mayor temperatura y en algunos casos entrando en alguna especie de dormancia en las temperaturas más bajas en invierno, así como en temperaturas más altas en verano, como lo que encontraron Potvin y Lilleskov (2017) en su trabajo de investigación en áreas forestales.

Los sistemas de labranza tuvieron un papel principal en la fluctuación y movimiento de las pobla-

ciones de lombrices, de acuerdo con la intensidad de aplicación de cada sistema. La labranza convencional y labranza vertical disminuyeron la población de lombrices debido a la intensa manipulación de suelo que provocó la destrucción de su hábitat, principalmente durante la preparación del suelo para la siembra y el control mecánico de maleza. La siembra directa fue mejor albergando la población de lombrices ya que en presencia de las condiciones ambientales favorables para su desarrollo, como la precipitación y temperatura promovió el crecimiento de la población comparado con las otras labranzas y conservó ese comportamiento durante los dos años de estudio.

LITERATURA CITADA

- Abail Z, Whalen JK (2018) Corn residue inputs influence earthworm population dynamics in a no-till corn-soybean rotation. *Applied Soil Ecology* 127:120-128.
- Al-Maliki S, Al-Taey DKA, Al-Mammori HZ (2021) Earthworms and eco-consequences: Considerations to soil biological indicators and plant function: A review. *Acta Ecologica Sinica* 41: 512-523.
- Briones MJ, Schmidt O (2017) Conventional tillage decreases the abundance and biomass of earthworms and alters their community structure in a global meta-analysis. *Global Change Biology* 23: 4396-4419.
- Castellanos-Navarrete A, Rodríguez Aragonés C, De Goede RGM, Kooistra MJ, Sayre KD, Brussaard L, Pulleman MM (2012) Earthworm activity and soil structural changes under conservation agriculture in central Mexico. *Soil and Tillage Research* 123: 61-70.
- 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* 194:104334. DOI: 10.1016/j.still.2019.104334.
- Espinosa-Reyes G, Costilla-Salazar R, Pérez-Vázquez FJ, González-Mille DJ, Flores-Ramírez R, Cuevas-Díaz MC, Medellín-Garibay SE, Ilizaliturri-Hernández CA (2019) DNA damage in earthworms by exposure of Persistent Organic Pollutants in low basin of Coatzacoalcos River, Mexico. *Science of the Total Environment* 651: 1236-1242
- Guevara-Macías MJ, Carbajal N, Tuxpan Vargas J (2020) Soil deterioration in the southern Chihuahuan Desert caused by agricultural practices and meteorological events. *Journal of Arid Environments* 176:104097. DOI: 10.1016/j.jaridenv.2019.104097.
- Hallam J, Berdeni D, Grayson R, Guest EJ, Holden J, Lappage MG, Prendergast-Miller MT, Robinson DA, Turner A, Leake JR, Hodson ME (2020) Effect of earthworms on soil physico-hydraulic and chemical properties, herbage production, and wheat growth on arable land converted to ley. *Science of The Total Environment* 713:136491. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2019.136491.
- Jat HS, Choudhary M, Kakraliya SK, Gora MK, Kakraliya M, Kumar V, Priyanka, Poonia T, McDonald AJ, Jat ML, Sharma PC, Abdallah AM (2022) A decade of climate-smart agriculture in major agri-food systems:

- Earthworm Abundance and Soil Physico-Biochemical Properties. *Agronomy* 12(3): 658. DOI: 10.3390/agronomy12030658.
- Johnston ASA, Sibly RM, Hodson ME, Alvarez T, Thorbek P (2015) Effects of agricultural management practices on earthworm populations and crop yield: validation and application of a mechanistic modelling approach. *Journal of Applied Ecology* 52: 1334-1342.
- Kiss TBW, Chen X, Ponting J, Sizmur T, Hodson ME (2021) Dual stresses of flooding and agricultural land use reduce earthworm populations more than the individual stressors. *Science of The Total Environment* 754:142102. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2020.142102.
- Kumar R, Sharma P, Gupta RK, Kumar S, Sharma MMM, Singh S, Pradhan G (2020) Earthworms for eco-friendly resource efficient agriculture. In: Kumar S, Meena RS, Jhariya MK (eds) *Resources use efficiency in agriculture*. Springer Nature. Singapore. pp: 47-84.
- Li Y, Li Z, Cui S, Jagadamma S, Zhang Q, (2019) Residue retention and minimum tillage improve physical environment of the soil in croplands: A global meta-analysis. *Soil & Tillage Research* 194: 104292. DOI: 10.1016/j.still.2019.06.009.
- Mcinga S, Muzangwa L, Janhi K, Mnkeni PNS (2020) Conservation agriculture practices can improve earthworm species richness and abundance in the semi-arid climate of Eastern Cape, South Africa. *Agriculture* 10: 576. DOI: 10.3390/agriculture10120576.
- Ortiz-Ceballos AI, Lara-González R, Cuevas-Díaz MDelC, Martínez-Velázquez KJ (2021) Earthworm services: an agroecological perspective. *Agro Productividad* 14: 99-109.
- Ortiz-Gamino D, Gregorio J, Cunha L, Martínez-Romero E, Fragoso C, Ortiz-Ceballos AI (2020) Population genetics and diversity structure of an invasive earthworm in tropical and temperate pastures from Veracruz, Mexico. *ZooKeys* 941: 49-69.
- Pelosi C, Grandeau G, Capowiez Y (2017) Temporal dynamics of earthworm-related macroporosity in tilled and non-tilled cropping systems. *Geoderma* 289:169-177.
- Perez-Aguilar LY, Plata-Rocha W, Monjardin-Armenta SA, Franco-Ochoa C, Zambrano-Medina YG (2021) The Identification and Classification of Arid Zones through Multicriteria Evaluation and Geographic Information Systems-Case Study: Arid Regions of Northwest Mexico. *ISPRS International Journal of Geo-Information* 10(11): 720. DOI: 10.3390/ijgi10110720.
- Pontifes PA, García-Meneses PM, Gómez-Aíza L, Monterroso-Rivas AI, Caso-Chávez M (2018) Land use/land cover change and extreme climatic events in the arid and semi-arid ecoregions of Mexico. *Atmósfera* 31: 355-372.
- Potvin LR, Lilleskov EA (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
- Prendergast-Miller MT, Jones DT, Berdeni D, Bird S, Chapman PJ, Firbank L, Grayson R, Helgason T, Holden J, Lappage M, Leake J Hodson ME (2021) Arable fields as potential reservoirs of biodiversity: Earthworm populations increase in new leys. *Science of The Total Environment* 789: 147880. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2021.147880.
- Roarty S, Hackett RA, Schmidt O (2017) Earthworm populations in twelve cover crop and weed management combinations. *Applied Soil Ecology* 114: 142-151.

- Rodríguez MP, Domínguez A, Moreira Ferroni M, Wall LG, Bedano JC (2020) The diversification and intensification of crop rotations under no-till promote earthworm abundance and biomass. *Agronomy* 10(7):919. DOI: 10.3390/agronomy10070919.
- Rothwell A, Chaney K, Haydock P, (2011) The impact of cultivation techniques on earthworm populations. In: Karaca A (ed) *Biology of Earthworms*, *Soil Biology* 24: 159-172. DOI: 10.1007/978-3-642-14636-7_10.
- Sherlock E (2018) *Key to the earthworms of the UK and Ireland*. Second Edition. Field Studies Council, AIDGAP volume OP180. United Kingdom. 92p.
- Singh J, Schädler M, Demetrio W, Brown GG, Eisenhauer N (2019) Climate change effects on earthworms - a review. *Soil Org* 91: 114-138.
- Singh J, Cameron E, Reitz T, Schädler M, Eisenhauer N (2021) Grassland management effects on earthworm communities under ambient and future climatic conditions. *European Journal of Soil Science* 72:343-355.
- Torppa KA, Taylor AR (2022) Alternative combinations of tillage practices and crop rotations can foster earthworm density and bioturbation. *Applied Soil Ecology*. 175:104460. DOI: 10.1016/j.apsoil.2022.104460.
- Uvarov AV (2021) The overwinter survival of three earthworm species in mono- and multispecific assemblages. *Biology Bulletin Russian Academy Sciences* 48: 821-828.