

# Dinámica temprana de la macrofauna bajo alternativas de manejo agroecológico de suelo

*Early macrofauna dynamics under agroecological soil management alternatives*

 Sol Santander-Mendoza \* and  Luis A. Gómez-Jorrín

*Instituto de Suelos, Boyeros, La Habana, Cuba. E-mail: [gomezjo@isuelos.cu](mailto:gomezjo@isuelos.cu)*

\*Autora para correspondencia: Sol Santander-Mendoza, e-mail: [sol.santander@isuelo.cu](mailto:sol.santander@isuelo.cu)

**RESUMEN:** El incremento de la biodiversidad es reconocido como uno de los pilares de la transición agroecológica y la sostenibilidad. El componente biológico del suelo posee un elevado dinamismo, expresión de la interacción entre las condiciones físicas y químicas. En el siguiente trabajo se evaluó la respuesta temprana de la macrofauna en un suelo Ferrallítico rojo lixiviado dedicado a la producción de hortalizas a 18 tratamientos que combinan 3 tipos de labranza primaria (arado de vertedera con tracción animal, tiller y multiarado), 2 tipos de enmienda orgánica (estiércol bovino y humus de lombriz) y uso de cobertura (“mulch”). Se empleó una asociación maíz (*Zea mays* L.) - habichuela (*Vigna unguiculata* L. variedad Lina) como cultivo. Se determinaron los porcentajes de: porosidad total, poros capilares, poros de aireación y agregación con la finalidad de describir los aspectos físicos del ecosistema suelo, y se calcularon los índices de diversidad (Shannon), equidad (Pielou) y similitud (Jaccard) correspondientes a diversos morfotipos de la macrofauna del suelo, como componente biótico; encontrándose relación entre ellos y el tipo de manejo. Destaca el impacto favorable del uso de la labranza sin inversión en el incremento de la diversidad y la equidad de la comunidad de macrofauna, debido a su efecto favorable en las condiciones físicas del suelo, y la utilización de la cobertura (“mulch”) como factor diferenciador en el desarrollo y diversificación de dicha comunidad. Estos resultados permiten cuantificar el valor de las estrategias de manejo agroecológico del suelo en la recuperación de su biodiversidad.

**Palabras clave:** biodiversidad, transición agroecológica, labranza, enmiendas orgánicas.

**ABSTRACT:** Increasing biodiversity is recognized as one of the pillars of agroecological transition and sustainability. The biological component of soil has a high dynamism, expression of the interaction between physical and chemical conditions. The following work evaluated the early response of macrofauna in a leached red Ferrallitic soil dedicated to vegetable production to 18 treatments combining 3 types of primary tillage (moldboard plow with animal traction, tiller and multi-plow), 2 types of organic amendment (bovine manure and earthworm humus) and the use of mulch. A corn (*Zea mays* L.) - bean (*Vigna unguiculata* L. variety Lina) association was used as a crop. The percentages of total porosity, capillary pores, aeration pores and aggregation were determined in order to describe the physical aspects of the soil ecosystem, and the indices of diversity (Shannon), equity (Pielou) and similarity (Jaccard) corresponding to different morphotypes of the soil macrofauna, as a biotic component, were calculated; a relationship was found between them and the type of management. The favorable impact of the use of non-inversion tillage on the increase of diversity and equity of the macrofauna community stands out, due to its favorable effect on the physical conditions of the soil, and the use of mulch as a differentiating factor in the development and diversification of this community. These results allow us to quantify the value of agroecological soil management strategies in the recovery of soil biodiversity.

**Keywords:** Biodiversity, Agroecological Transition, Tillage, Organic Amendments.

## INTRODUCCIÓN

La Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO) ha identificado la aplicación de técnicas de labranza inadecuadas como una de las causas de degradación de las tierras agrícolas FAO (2015), ocasionando erosión y pérdida de aptitud productiva de los suelos (Singh et al., 2020; Yang et al., 2020). En el caso de Cuba, la compactación afecta al 23% de los suelos según el Instituto de Suelos (2001), constituyendo uno de los

principales causantes de los bajos rendimientos agrícolas producidos por el uso intensivo de la maquinaria agrícola en el pasado (Martínez-Cañizares et al., 2018).

En este sentido, la agroecología plantea un modelo alternativo de producción utilizando principios que favorecen interacciones biológicas y optimizan sinergias. De este modo, la agrobiodiversidad es capaz de subsidiar por sí misma procesos tales como la acumulación de materia orgánica, fertilidad del suelo, regulación biótica de plagas y productividad de los cultivos (Gliessman, 2002).

Recibido: 05/02/2025

Aceptado: 08/09/2025

Los autores de este trabajo declaran no presentar conflicto de intereses.

La mención de marcas comerciales de equipos, instrumentos o materiales específicos obedece a propósitos de identificación, no existiendo ningún compromiso promocional con relación a los mismos, ni por los autores ni por el editor.



Este artículo se encuentra bajo los términos de la licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial (CC BY-NC 4.0).  
<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>



Altieri & Nicholls (2007) destacan el manejo del suelo y el incremento de la diversidad como pilares fundamentales de la conversión de sistemas de producción hacia modelos agroecológicos. En particular, el impacto negativo de la labranza puede ser mitigado mediante sistemas menos agresivos tales como la labranza reducida con arado de cincel según Barut & Celik (2017) y multiarado, sin inversión de la capa arable. En el primer caso, se trata de una labranza vertical, que facilita la infiltración sin dañar la estructura del suelo; mientras que, en el segundo, se realiza un corte horizontal (Sardiñas, 2014).

Por su parte, el uso de materiales orgánicos como fertilizantes está relacionado con el mantenimiento de la productividad de los suelos agrícolas según Salazar et al. (2003); mediante la mejoría de sus propiedades físicas, químicas y biológicas (Martínez & Gómez, 2015). Finalmente, (Sanabria et al., 2021) encontraron que el uso de coberturas vegetales incrementó los contenidos de materia orgánica y nitrógeno, mejorando además los rendimientos. De acuerdo a Zribi et al. (2011) el “mulching” reduce la evaporación del agua desde la superficie del suelo, manteniendo una mayor humedad, favorece la estabilidad estructural, disminuye la salinización y, amortigua las fluctuaciones de temperatura en él mismo.

En el presente trabajo se evalúa el efecto del uso de estos tres factores de manejo: labranza, fertilización orgánica y uso de cobertura en la recuperación de la macrofauna en un suelo bajo conversión agroecológica con el objetivo de reconocer la combinación de factores más favorable para ello. En este sentido, se analizará en primer lugar el impacto de los factores mencionados sobre algunas propiedades físicas del suelo, consideradas como el componente abiótico del ecosistema y, posteriormente, la interacción de éste con el componente biótico, evaluado a través de la macrofauna.

## MATERIALES Y MÉTODOS

La finca “El Guayabal” está ubicada a los 22° 58' N y los 82° 09' W, cercana a la población de San José de las Lajas, Mayabeque, Cuba; con suelos Ferralíticos rojos lixiviados de pH 6.8 y un contenido de materia orgánica (MO) de 2,5 %. Se utilizó un diseño experimental de parcelas divididas, con labranza mínima (rotura, mullido y

surcado), asociada a tres tipos de labranza primaria: arado de vertedera con tracción animal (parcela 1), multiarado (parcela 2) y tiller (cincel) en la parcela 3, realizándose la labor secundaria y el surcado con tracción animal. Estas se combinaron, además, con fuentes de materia orgánica (humus de lombriz en dosis de 2 kg/m<sup>2</sup> y estiércol bovino en dosis de 7 kg/m<sup>2</sup>) y el uso de cobertura (“mulch”) como variables de manejo, obteniéndose los siguientes tratamientos (Tabla 1), distribuidos como se muestra (Figura 1):

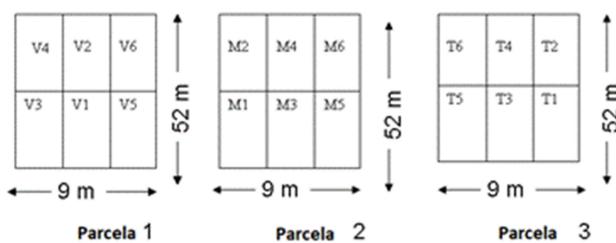


Figura 1. Distribución de los tratamientos en las parcelas.

Se empleó una asociación de habichuela (*Vigna unguiculata* L, variedad Lina) y maíz (*Zea mays*, L) durante dos ciclos de siembra, con un sistema de riego por aspersión. Las labores fitotécnicas (siembra, aporque, deshierbes y cosechas) fueron realizadas de forma manual. Se determinó: porcentaje de agregados estables al agua por las normas NC 1044 (2014), porosidad total, porosidad capilar y poros de aireación por NC 1045 (2014). La macrofauna edáfica fue evaluada empleando los métodos descritos por Cabrera (2017). A partir de estos datos se calcularon los índices de diversidad de Shannon-Wiener, Shannon (1948), equidad de Pielou (1966) y similitud de Jaccard (Real & Vargas, 1996).

Para el análisis estadístico se utilizó el análisis de varianza (ANOVA) con número de muestra variable (se señala en cada caso) y  $\alpha = 0.05$ , empleándose el programa SPSS v.20, con la prueba de Duncan como análisis *post hoc*. En el caso de los porcentajes de porosidad total, capilar y no capilar y de agregados estables al agua, así como los índices de Shannon-Wiener, Pielou y Jaccard se comprobó la normalidad de los datos y se realizó una transformación logarítmica de los mismos.

Tabla 1. Tratamientos experimentales

Arado de Vertedera	Multiarado	Tiller
V1 Vertedera + Humus de lombriz + sin cobertura	M1 Multiarado + Humus de lombriz + sin cobertura	T1 Tiller + Humus de lombriz + sin cobertura
V2 Vertedera + Humus de lombriz + con cobertura	M2 Multiarado + Humus de lombriz + con cobertura	T2 Tiller + Humus de lombriz + con cobertura
V3 Vertedera + Estiércol Vacuno + sin cobertura.	M3 Multiarado + Estiércol Vacuno + sin cobertura.	T3 Tiller + Estiércol Vacuno + sin cobertura.
V4 Vertedera + Estiércol Vacuno + con cobertura.	M4 Multiarado + Estiércol Vacuno + con cobertura.	T4 Tiller + Estiércol Vacuno + con cobertura.
V5 Vertedera + Testigo MO + sin cobertura.	M5 Multiarado + Testigo MO + sin cobertura	T5 Tiller + Testigo MO + sin cobertura
V6 Vertedera + Testigo MO + con cobertura.	M6 Multiarado + Testigo MO + con cobertura	T6 Tiller + Testigo MO + con cobertura



Figura 2. Tipos de labranza empleados.



Figura 3. Asociación maíz-habichuela sin y con cobertura (mulch).

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### I Los factores abióticos

#### 1.- Porcentaje de agregación

El agregado es la unidad estructural del suelo y se encuentra definido por la unión de las partículas de arena, limo y arcilla (Hillel, 2003). Es conocido que los cambios en las propiedades estructurales reflejan rápidamente los efectos de la degradación física de los suelos (García et al., 2018).

En general, Pulleman et al. (2005) señalan que la dinámica de la agregación es influenciada por el manejo del suelo, ya que los agregados resultan afectados por el uso del mismo, el tipo de labranza y la aplicación de materiales orgánicos (Bronick & Lal, 2005).

Específicamente, el menor valor obtenido corresponde a V6 (arado de vertedera + testigo MO + sin cobertura) y el mayor a T2 (tiller + humus de lombriz + cobertura). También se observó que los tratamientos correspondientes al uso del tiller y el multiarado mostraron valores mayores de agregación en relación al arado de vertedera, pero analizados en conjunto, no presentan diferencia significativa entre ellos. Esto corresponde a los resultados obtenidos por Sarmiento-Sarmiento et al. (2022) en un período similar al evaluado en este trabajo (dos ciclos de siembra).

Hillel (2003) afirma que el incremento de la agregación permite el desarrollo del sistema poroso y una mayor estructuración, condición que contribuye al equilibrio de la relación agua - aire en el suelo, mejorando las condiciones abióticas del suelo como hábitat y favoreciendo el aumento de la riqueza y la diversificación de la diversidad en el mismo (Erktan et al., 2020).

#### 2.- Análisis de Porosidad

La porosidad es el espacio existente entre los agregados del suelo según Hillel (2003) y de su cantidad y calidad depende la provisión a las plantas de agua (poros capilares) y aire (poros no capilares) en las proporciones adecuadas.

TABLA 2. Porcentajes de agregación

Tratamiento	% agregación	Tratamiento	% agregación	Tratamiento	% agregación
<b>V1</b>	50,21(b, c)	M1	54,32c, d	T1	53,87c,d
<b>V2</b>	54,35(c, d)	M2	60, 06d	T2	63,44e
<b>V3</b>	47,33(b)	M3	50,19b	T3	52,81c
<b>V4</b>	49,08(b)	M4	52,22c	T4	54,87d
<b>V5</b>	41, 78(a)	M5	47,54b	T5	52,23c
<b>V6</b>	46, 51(b)	M6	49,45b, c	T6	55,32

Letras diferentes indican diferencia estadísticamente significativa. ( $n = 3, \alpha = 0.05$ ) para prueba de Duncan. Se destacan en negrita el mayor y el menor valor obtenido.

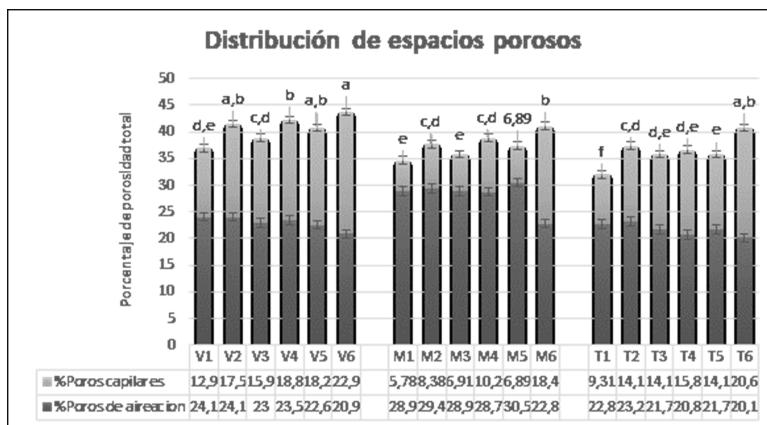
Tratamientos: V1: vertedera-humus-sin cob; V2: vertedera-humus-con cob; V3: vertedera estiércol-sin cob; V4: vertedera-estiércol-con cob; V5: vertedera-sin enmienda-sin cob; V6: vertedera-sin enmienda-con cob; M1: multiarado-humus-sin cob; M2: multiarado-humus-con cob; M3: multiarado estiércol-sin cob; M4: multiarado-estiércol-con cob; M5: multiarado-sin enmienda-sin cob; M6: multiarado-sin enmienda-con cob; T1: tiller-humus-sin cob; T2: tiller-humus-con cob; T3: tiller-estiércol-sin cob; T4: tiller-estiércol-con cob; T5: tiller-sin enmienda-sin cob; T6: tiller-sin enmienda-con cob (Tabla 2).

Los resultados de la Tabla 2 muestran un incremento significativo de la agregación en todos los tratamientos con cobertura; con mayores valores debido a la aplicación de materia orgánica, especialmente humus de lombriz. Estos resultados coinciden con Ochoa et al. (2019), quien atribuye dicho efecto a los polisacáridos que las lombrices añaden al excremento al metabolizar las arcillas y la materia orgánica.

La Figura 4 muestra la distribución de los espacios porosos en los diferentes tratamientos.

En la parcela correspondiente al arado de vertedera, puede observarse aumento significativo en todos los valores de porosidad (total, capilares y de aireación) con el uso del *mulch*. Los poros capilares mantienen valores muy similares con o sin cobertura, mientras que los poros de aireación mostraron un leve aumento. Se evidencia también un discreto efecto de la aplicación de materia orgánica, más acentuado en el humus de lombriz que en el estiércol.

Por su parte, en el multiarado, se repite el incremento de los valores de porosidad total en el área con cobertura. No obstante, se muestran diferencias en la distribución de los porcentajes de macro y microporos, con mayor incidencia sobre los valores de los porcentajes de los segundos con el uso de cobertura. La aplicación de materia orgánica no provocó efectos evidentes. Este comportamiento coincide con lo encontrado por Sardiñas (2014), mientras que



Tratamientos: V1: vertedera-humus-sin cob; V2: vertedera-humus-con cob; V3: vertedera estiércol-sin cob; V4: vertedera estiércol-con cob; V5: vertedera-sin enmienda-sin cob; V6: vertedera-sin enmienda-con cob; M1: multiarado-humus-sin cob; M2: multiarado-humus-con cob; M3: multiarado estiércol-sin cob; M4: multiarado-estiércol-con cob; M5: multiarado-sin enmienda-sin cob; M6: multiarado-sin enmienda-con cob; T1: tiller-humus-sin cob; T2: tiller-humus-con cob; T3: tiller-estiércol-sin cob; T4: tiller-estiércol-con cob; T5: tiller-sin enmienda-sin cob; T6: tiller-sin enmienda-con cob

**Figura 4.** Distribución del sistema poroso después de la labranza. Letras diferentes indican diferencia estadísticamente significativa en la porosidad total. (n=15,  $\alpha = 0.05$ ) para prueba de Duncan.

Brizuela et al., (2006), destacan la reducción de la compactación por efecto del uso de multiarado.

A diferencia de los casos anteriores, con el uso del tiller se observa un leve aumento de los porcentajes de porosidad total en las áreas con cobertura, y valores ligeramente mayores en las parcelas tratadas con enmiendas orgánicas, repitiéndose el comportamiento de la parcela 2 en la distribución de los tipos de poros.

En resumen, podemos decir que no se observa diferencia significativa entre los valores de porosidad por efecto de los implementos, pero sí que existe un mayor desarrollo del sistema poroso en los tratamientos con cobertura. En particular, los resultados muestran también que la labranza con multiarado presentó el mayor desequilibrio poros capilares/ poros no capilares, mientras que los tratamientos con combinación de fertilización orgánica y cobertura mostraron valores que favorecieron el equilibrio agua/aire. Según Jaurixje et al. (2013) los diferentes tamaños de poros corresponden a funciones específicas, los macroporos que facilitan la aeración y la infiltración, y los microporos que retienen el agua en contra de la acción de la gravedad. Erktan et al. (2020) señalan como el equilibrio entre las proporciones de tamaños de poros favorece a la biota del suelo.

## II Los factores bióticos

### 2.1.- Abundancia de la macrofauna

De acuerdo a (Cabrera, 2012, 2017) la macrofauna está compuesta por invertebrados que poseen una longitud mayor de 10 mm y un ancho de cuerpo mayor de 2 mm, y se divide en grupos como las lombrices de tierra, moluscos, cochinillas, milpiés, ciempiés, arácnidos y diversos insectos, denominados morfotipos. Estos ejercen funciones vitales con respecto a la estructura del suelo y

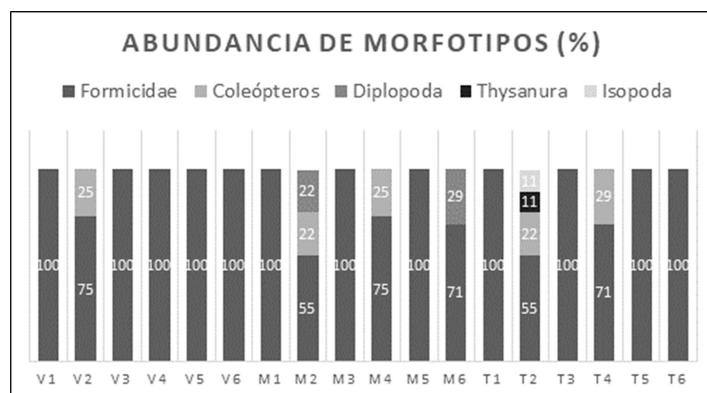
al ciclo de nutrientes Lavelle et al. (2006), procesos que son afectados por la disminución de su abundancia y las variaciones de la estructura comunitaria (Figura 5).

En la Figura 5 se observa la abundancia de los morfotipos en los diferentes tratamientos. En los correspondientes al arado de vertedera (V1 - V6) se observa poca diversificación, observándose sólo *Formicidae* y *Coleóptera*, en un área tratada con humus de lombriz y cobertura (V2), lo que evidencia los efectos negativos de la inversión de la capa arable realizada por este implemento.

La presencia de sólo el morfotipo *Formicidae* se repitió en los tratamientos de multiarado sin cobertura (M1, M3 y M5), mientras que, en las áreas con cobertura (M2, M4 y M6), se encontró una pequeña diversificación de la macrofauna, con presencia de *Diplópodos*, *Isópodos*, *Coleópteros* y *Thysanura*, lo que puede deberse al corte horizontal que realiza el multiarado, por lo que no existe translocación de los horizontes edáficos ni exposición de los organismos a la luz solar, factores que afectan su desarrollo.

Finalmente, en la parcela 3 (tiller), se observaron *Coleópteros* y *Formicidae* en los tratamientos sin cobertura; y *Thysanuras* e *Isópodos* en las áreas con cobertura y adición de materia orgánica. El tiller, al igual que el multiarado, no realiza inversión de la capa arable, pero a diferencia de éste, hace un corte vertical, labor que parece afectar a la macrofauna en menor medida.

Estos resultados coinciden con Decaëns et al. (1994), quienes señalan que la incorporación de fertilización orgánica estimula la diversidad y actividad de la macrofauna, como consecuencia del incremento de la agregación y de fuentes de carbono y nitrógeno. Noguera-Talavera et al. (2017) destacó la influencia de las prácticas agrícolas sobre la composición de la macrofauna, y Bottinelli et al. (2015) afirmó que las prácticas de labranza conservacionistas promueven su incremento, mediante procesos como el control de la infiltración del agua y la protección de la materia orgánica.



Tratamientos: V1: vertedera-humus-sin cob; V2: vertedera-humus-con cob; V3: vertedera estiércol-sin cob; V4: vertedera estiércol-con cob; V5: vertedera-sin enmienda-sin cob; V6: vertedera-sin enmienda-con cob; M1: multiarado-humus-sin cob; M2: multiarado-humus-con cob; M3: multiarado estiércol-sin cob; M4: multiarado-estiércol-con cob; M5: multiarado-sin enmienda-sin cob; M6: multiarado-sin enmienda-con cob; T1: tiller-humus-sin cob; T2: tiller-humus-con cob; T3: tiller-estiércol-sin cob; T4: tiller-estiércol-con cob; T5: tiller-sin enmienda-sin cob; T6: tiller-sin enmienda-con cob

**Figura 5.** Abundancia de Morfotipos por tratamiento.

No obstante, en todos los casos, los valores reportados son bajos, tanto en diversidad de morfotipos como en riqueza; lo que revela, poca biodiversidad tanto taxonómica como funcional, y, por tanto, afectación de las cadenas tróficas edáficas, base del ciclo de nutrientes en el suelo. En resumen, se observa predominancia de *Formicidae*, quienes actúan como primeras consumidoras de los desechos orgánicos, cortándolos y transportándolos; permitiendo así la acción de los transformadores de la hojarasca (Cabrera, 2012). De acuerdo a Cabrera-Mireles et al. (2019) una gran densidad poblacional de este grupo, revela desequilibrio del ecosistema y escasa materia orgánica en el mismo, lo que es reiterado por Cabrera-Mireles et al. (2019); Hernández-Fundora et al. (2020) al evaluar sistemas productivos en suelos rojos cubanos.

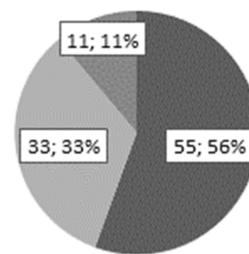
Por otra parte, se observó un escaso número de transformadores de la hojarasca (*Diplopodos*), los cuales son detritívoros, lucifugos e higrófilos, aspectos que pueden explicar que sólo hayan sido observados en una parcela con *mulch*. Junto a los *Isópoda* y los *Thysanura*, microherbívoros, constituyen componentes importantes en el ciclo de la materia orgánica y requieren de la existencia de microhábitats favorables (Cabrera, 2012). Estas razones pueden explicar su aparición, aún en números insuficientes, en áreas con cobertura y el humus como enmienda orgánica preferente, resultados similares a los obtenidos por Bedano et al. (2016) al evaluar sistemas de manejo de suelo contrastantes.

Destaca la no observación de lombrices de tierra, quienes constituyen un grupo taxonómico de gran importancia en el suelo, debido a su influencia en la descomposición de la materia orgánica y el desarrollo de la estructura (Marín & Feijoo, 2007). Según Altieri & Nicholls (2007) éstas disminuyen debido a procesos de compactación y al uso de pesticidas, condiciones desfavorables de temperatura y humedad, o escasa materia orgánica, y tampoco fueron observadas por (Hernández-Fundora et al., 2020) en otros huertos intensivos cubanos.

Por otra parte, la fauna edáfica también se puede separar en grupos funcionales: detritívoros, fungívoros, herbívoros, depredadores y omnívoros; de acuerdo a su hábito alimentario y su contribución al funcionamiento de las redes tróficas en el ecosistema (Frøslev et al., 2022; Zerbino et al., 2008). En la Figura 6 se muestra la distribución de grupos funcionales de la macrofauna del suelo en el tratamiento con mayor cantidad de morfotipos en la figura anterior (T2: tiller + humus de lombriz + cobertura).

## DISTRIBUCIÓN DE GRUPOS FUNCIONALES

■ Depredadores ■ Herbívoros ■ Detritívoros



**Figura 6.** Distribución de grupos funcionales en el tratamiento con mayor cantidad de morfotipos (T2).

Puede observarse que, aún en la comunidad más diversificada de los 18 tratamientos evaluados, existe predominio de los depredadores. Según Cabrera (2014) una menor proporción de organismos detritívoros corresponde a procesos de descomposición de la materia orgánica y reciclaje de nutrientes más lentos. De acuerdo a Lavelle et al. (2006); Ruiz et al. (2008) y Tapia et al. (2016) las variaciones en las comunidades de la macrofauna del suelo dependen principalmente del cambio y la intensidad del uso de la tierra, condicionados a su vez, por factores edáficos como temperatura, humedad, estatus nutricional y contenido de materia orgánica.

## 2.2.- Estructura Comunitaria

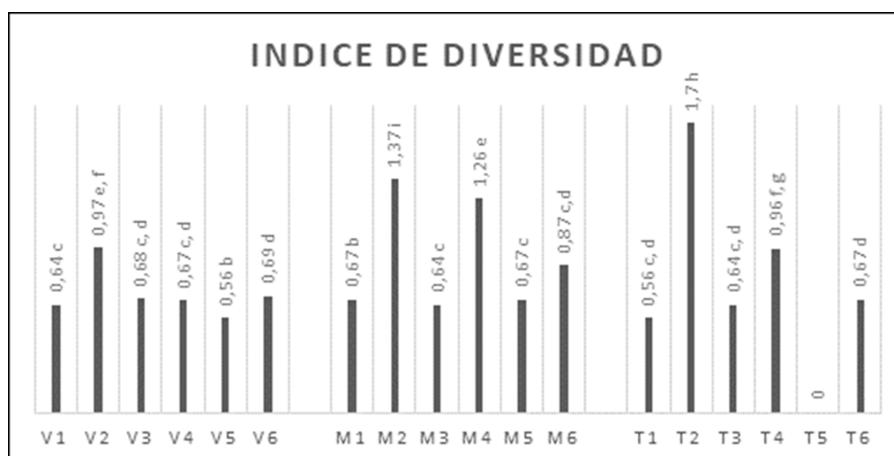
La estructura de una comunidad ecológica es uno de los atributos de la diversidad Noss (1990), corresponde al ensamblaje del conjunto de las poblaciones que la constituyen Ladau & Eloe-Fadros (2019) y se fundamenta en la riqueza (número de especies), las abundancias relativas de los organismos y el grado de uniformidad de su distribución (Höfer et al., 2001 y Horn, & Smucker, 2005).

Existen diversos métodos para cuantificar la estructura comunitaria. Los más conocidos son los índices ecológicos, los cuales consideran la relación entre la riqueza y la distribución de sus abundancias, encontrándose el índice de diversidad de Shannon ( $H = \sum pi \ln pi$ ), con  $pi$ = número de individuos del morfotipo  $i$  / número total; y el de equidad de Pielou ( $J = H' / \log_2 S$ ), con  $H'$  como la máxima diversidad esperada y  $S$  = riqueza de especies, entre los más utilizados. Los resultados obtenidos en su cálculo se muestran en la Figura 7 y la Tabla 3.

Los mayores valores de diversidad (Shannon) encontrados están asociados a tratamientos con cobertura

y labranza sin inversión. La prueba de Duncan (*post hoc*) los dividió en 9 grupos, con los menores valores asociados a tratamientos con arados de vertedera y la no utilización de cobertura, y los mayores, relacionados con los correspondientes al uso de tiller y multiarado, uso de cobertura y humus de lombriz como enmienda orgánica, resultados que coinciden con lo encontrado por Murillo-Cuevas et al. (2022).

Por su parte, los valores del índice de equidad de Pielou muestran que la comunidad más equitativa corresponde al tratamiento T2 con un valor de 1.792, seguida por los tratamientos M2 y M4 con un valor de 1.386, todos ellos con uso de cobertura. Los menores valores, relacionados con comunidades con mayores relaciones de dominancia se encontraron en los tratamientos, M1, M3, M5, T1, T3 y T5 con 0.693. Podemos inferir que la labranza no tuvo incidencia en este atributo comunitario, pero si la mayor disponibilidad de recursos en forma de la incorporación de fuentes orgánicas y uso de cobertura, lo cual correspondió a lo encontrado por Murillo-Cuevas et al. (2022) en este mismo cultivo.



Tratamientos: V1: vertedera-humus-sin cob; V2: vertedera-humus-con cob; V3: vertedera estiércol-sin cob; V4: vertedera estiércol-con cob; V5: vertedera-sin enmienda-sin cob; V6: vertedera-sin enmienda-con cob; M1: multiarado-humus-sin cob; M2: multiarado-humus-con cob; M3: multiarado estiércol-sin cob; M4: multiarado-estiércol-con cob; M5: multiarado-sin enmienda-sin cob; M6: multiarado-sin enmienda-con cob; T1: tiller-humus-sin cob; T2: tiller-humus-con cob; T3: tiller-estiércol-sin cob; T4: tiller-estiércol-con cob; T5: tiller-sin enmienda-sin cob; T6: tiller-sin enmienda-con cob

**Figura 7.** Índice de Diversidad de Shannon. Letras diferentes indican diferencia estadísticamente significativa. ( $\alpha = 0.05$ ), empleando prueba de Duncan.

**Tabla 3.** Índice de Equidad de Pielou

	Equidad		Equidad		Equidad
<b>V1</b>	0,923b	<b>M1</b>	0,693a	<b>T1</b>	0,693a
<b>V2</b>	0,883a	<b>M2</b>	1,386d	<b>T2</b>	1,792e
<b>V3</b>	0,981b	<b>M3</b>	0,693a	<b>T3</b>	0,693a
<b>V4</b>	0,967b	<b>M4</b>	1,386d	<b>T4</b>	1,099c
<b>V5</b>	0,808a	<b>M5</b>	0,693a	<b>T5</b>	0,693a
<b>V6</b>	0,995b,c	<b>M6</b>	1,099c	<b>T6</b>	0,693a

Letras diferentes indican diferencia estadísticamente significativa. ( $\alpha = 0.05$ ), empleando prueba de Duncan. Se destacan en negrita el mayor y el menor valor obtenido.

Tratamientos: V1: vertedera-humus-sin cob; V2: vertedera-humus-con cob; V3: vertedera estiércol-sin cob; V4: vertedera-estiércol-con cob; V5: vertedera-sin enmienda-sin cob; V6: vertedera-sin enmienda-con cob; M1: multiarado-humus-sin cob; M2: multiarado-humus-con cob; M3: multiarado estiércol-sin cob; M4: multiarado-estiércol-con cob; M5: multiarado-sin enmienda-sin cob; M6: multiarado-sin enmienda-con cob; T1: tiller-humus-sin cob; T2: tiller-humus-con cob; T3: tiller-estiércol-sin cob; T4: tiller-estiércol-con cob; T5: tiller-sin enmienda-sin cob; T6: tiller-sin enmienda-con cob

### 2.3.- Diferenciación entre Comunidades

En la **Tabla 4** se muestra la matriz construida con los valores obtenidos en el índice de similitud de Jaccard, el cual evalúa las distancias existentes entre dos comunidades en términos de su similitud/disimilitud, con valores entre 1 y 0, respectivamente (Real & Vargas, 1996).

Los resultados muestran que T2 (tiller + humus + cobertura) y T5 (tiller + testigo + sin cobertura) fueron las comunidades menos similares con un valor de 0.17. Destacan también los pares T2 (tiller + humus + cobertura) y M4 (multiarado + estiércol vacuno + cobertura) y T5 (tiller + testigo + sin cobertura) con relación a M2 (multiarado + humus de lombriz + cobertura) y M4 (multiarado + estiércol vacuno + cobertura) con valores de 0.25.

Tales resultados muestran que: i) el uso de cobertura fue el principal factor diferenciador, ii) el tipo de enmienda orgánica fue el segundo factor diferenciador, iii) no obstante, en los tratamientos bajo arado de vertedera la acción de ambos factores no fue suficiente para lograr diferenciar la composición de las comunidades de macrofauna, por lo que el cambio del tipo de labranza resulta el componente fundamental que impulsa la sucesión ecológica, con el correspondiente incremento de riqueza y diversificación de morfotipos.

### CONCLUSIONES

Al comparar 18 tratamientos que combinan tipos de implementos utilizados para la labranza primaria (arado de vertedera, multiarado y tiller), dos fuentes de fertilización orgánica (estiércol bovino y humus de lombriz) y el uso de cobertura se encontró que i) la labranza sin inversión de la capa arable tiene un efecto favorable en las condiciones físicas del suelo, favoreciendo su condición como hábitat de la biodiversidad edáfica, ii) no se han encontrado diferencias significativas entre el uso de tiller y multiarado en el período de tiempo evaluado y, iii) el uso de cobertura actuó como un factor diferenciador en el desarrollo y diversificación de la comunidad de macrofauna

edáfica asociada. Estos resultados hacen necesario realizar experimentos de este tipo a mediano y largo plazo, a fin de evaluar la dinámica ecológica en un período mayor de tiempo, y evidenciar patrones diferenciadores.

### REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Altieri, M. A., & Nicholls, C. I. (2007). Conversión agroecológica de sistemas convencionales de producción: Teoría, estrategias y evaluación. *Ecosistemas*, 16(1).
- Barut, Z., & Celik, I. (2017). Tillage effects on some soil physical properties in a semi-arid Mediterranean region of Turkey. *Chemical Engineering Transactions*, 58, 217-222. <http://doi.org/10.3303/CET1758037>
- Bedano, J. C., Domínguez, A., Arolfo, R., & Wall, L. G. (2016). Effect of Good Agricultural Practices under no-till on litter and soil invertebrates in areas with different soil types. *Soil and Tillage Research*, 158, 100-109, <https://doi.org/10.1016/j.still.2015.12.005>
- Bottinelli, N., Jouquet, P., Capowiez, Y., Podwojewski, P., Grimaldi, M., & Peng, X. (2015). Why is the influence of soil macrofauna on soil structure only considered by soil ecologists? *Soil and Tillage Research*, 146, 118-124, <https://doi.org/10.1016/j.still.2014.01.007>
- Brizuela, M., Ríos, A., Villarino, L., Cañizares, J., & Ramos, R. (2006). *Tecnologías para las producciones agrícolas en Cuba* (AGRINFOR). Ministerio de la Agricultura, Ed. AGRINFOR, La Habana, Cuba.
- Bronick, C. J., & Lal, R. (2005). Soil structure and management: A review. *Geoderma*, 124(1-2), 3-22, <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2004.03.005>
- Cabrera, G. (2012). La macrofauna edáfica como indicador biológico del estado de conservación/perturbación del suelo. Resultados obtenidos en Cuba. *Pastos y forrajes*, 35(4), 346-363,
- Cabrera, G. (2014). Manual práctico sobre la macrofauna edáfica como indicador biológico de la calidad del suelo, según resultados en Cuba. *Fundación Rufford (RSGF, para la Conservación de la Naturaleza)*.

**Tabla 4.** Matriz de similitud, empleando índice de Jaccard

	V1	V2	V3	V4	V5	V6	M1	M2	M3	M4	M5	M6	T1	T2	T3	T4	T5	T6
V1	*	0,67	1	1	1	1	0,5	1	0,5	1	0,67	1	0,33	1	0,67	0,5	1	
V2	*	1	1	1	1	1	0,5	1	0,5	1	0,67	1	0,33	1	0,67	0,5	1	
V3	*	1	1	1	1	1	0,5	1	0,5	1	0,67	1	0,33	1	0,67	0,5	1	
V4	*	1	1	1	1	0,5	1	0,5	1	0,67	1	0,33	1	0,67	0,5	1		
V5	*	1	1	0,5	1	0,5	1	0,5	1	0,67	1	0,33	1	0,67	0,5	1		
V6	*	1	0,5	1	0,5	1	0,5	1	0,5	1	0,67	1	0,33	1	0,67	0,5	1	
M1			*	0,5	1	0,5	1	0,5	1	0,67	1	0,33	1	0,67	0,5	1		
M2			*	0,5	0,33	0,5	0,4	0,5	0,37	0,5	0,4	0,33	1	0,67	0,25	0,5		
M3			*	0,5	1	0,67	1	0,5	1	0,67	1	0,67	1	1				
M4			*	0,5	0,4	0,5	0,25	0,5	0,5	0,75	0,25	0,5						
M5			*	0,5	0,67	1	0,33	1	0,67	0,5	0,67	1						
M6			*	0,5	0,67	0,5	0,67	0,5	0,67	0,5	0,67	0,5	0,33	0,67				
T1			*	0,33	1	0,67	0,5	0,67	0,5	0,67	0,5	0,67	0,5	1				
T2			*	0,33	1	0,29	0,17	0,33	1	0,67	0,5	1						
T3			*	0,67	0,5	1	0,33	0,67	0,5	1								
T4			*	0,33	1	0,67	0,5	0,67	0,5	0,67	0,5	0,67	0,67					
T5			*	0,67	0,5	1	0,33	0,67	0,5	1								
T6			*	0,5	1	0,67	0,5	0,67	0,5	0,67	0,5	0,67	0,5					

- Cabrera, G.; Socarrás, A.A.; Gutiérrez, E.; Tcherva, T.; Martínez, C.A.; & Lozada, A. (2017). Fauna del suelo, 254-283. En: Diversidad biológica de Cuba: métodos de inventario, monitoreo y colecciones biológicas (CA Mancina y DD Cruz, Eds.), Editorial AMA, La Habana, 502. ISBN 978-959-300-130-4.
- Cabrera-Mireles, H., Murillo-Cuevas, F. D., Villanueva-Jiménez, J., & Adame-García, J. (2019). Oribátidos, colémbolos y hormigas como indicadores de perturbación del suelo en sistemas de producción agrícola. *Ecosistemas y recursos agropecuarios*, 6(17), 231-241.
- Decaëns, T., Lavelle, P., Jimenez Jaen, J., Escobar, G., & Rippstein, G. (1994). *Impact of land management on soil macrofauna in the oriental Llanos of Colombia*.
- Erktan, A., Or, D., & Scheu, S. (2020). The physical structure of soil: Determinant and consequence of trophic interactions. *Soil Biology and Biochemistry*, 148, 107876, <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2020.107876>
- FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y Alimentación). (2015). Estado Mundial del Recurso Suelo. Roma, Italia. 92 p. ISBN. 978-92-5-308960-4. Disponible en: <https://openknowledge.fao.org/server/api/core/bitstreams/07a444e7-97a3-4e1f-b5d9-ddd84ad129c6/content>
- Frøslev, T. G., Nielsen, I. B., Santos, S. S., Barnes, C. J., Bruun, H. H., & Ejrnæs, R. (2022). The biodiversity effect of reduced tillage on soil microbiota. *Ambio*, 51(4), 1022-1033, <https://doi.org/10.1007/s13280-021-01611-0>
- García, D. Y., Cárdenas, J. F., & Parra, A. S. (2018). Evaluación de sistemas de labranza sobre propiedades físico-químicas y microbiológicas en un Inceptisol. *Revista de Ciencias Agrícolas*, 35(1), 16-25, <http://dx.doi.org/10.22267/>
- Gliessman, S. R. (2002). *Agroecología: Procesos ecológicos en agricultura sostenible*. Catie.
- Hernández-Fundora, Y., Hernández-Jiménez, A., Cabrera-Dávila, G., & Socarrás, A. A. (2020). Impactos del cultivo continuado en la fauna del suelo FRL en huertos intensivos de la agricultura urbana del municipio Boyeros. *Nuevos resultados sobre el cambio de las propiedades de los suelos Ferralíticos Rojos Lixiviados de la "Llanura Roja de la Habana"*.
- Hillel, D. (2003). *Introduction to environmental soil physics*. Elsevier.
- Höfer, H., Hanagarth, W., Garcia, M., Martius, C., Franklin, E., Römbke, J., & Beck, L. (2001). Structure and function of soil fauna communities in Amazonian anthropogenic and natural ecosystems. *European Journal of Soil Biology*, 37(4), 229-235.
- Horn, R.; & Smucker, A. (2005). Structure formation and its consequences for gas and water transport in unsaturated arable and forest soils. *Soil and Tillage Research*, 82, 5-14, DOI: <https://doi.org/10.1016/j.still.2005.01.002>
- Instituto de Suelos. (2001). *Programa Nacional de mejoramiento y conservación de suelos*.
- Jaurixje, M., Torres, D., Mendoza, B., Henríquez, M., & Contreras, J. (2013). Propiedades físicas y químicas del suelo y su relación con la actividad biológica bajo diferentes manejos en la zona de Quíbor, Estado Lara. *Bioagro*, 25(1), 47-56, ISSN: 1316-3361, Publisher: Universidad Centroccidental&quot; Lisandro Alvarado&quot;(UCLA).
- Ladau, J., & Eloe-Fadrosh, E. A. (2019). Spatial, temporal, and phylogenetic scales of microbial ecology. *Trends in Microbiology*, 27(8), 662-669, <https://doi.org/10.1016/j.tim.2019.03.003>
- Lavelle, P., Decaëns, T., Aubert, M., Barot, S., Blouin, M., Bureau, F., Margerie, P., Mora, P., & Rossi, J.-P. (2006). Soil invertebrates and ecosystem services. *European journal of soil biology*, 42, S3-S15, <https://doi.org/10.1016/j.ejsobi.2006.10.002>
- Marín, E. P., & Feijoo, A. (2007). Efecto de la labranza sobre macroinvertebrados del suelo en vertisoles de un área de Colombia. *Terra Latinoamericana*, 25(3), 297-310.
- Martínez, F., & Gómez, L. (2015). *La fertilización de los cultivos bajo una perspectiva agroecológica* (Sembrando en Tierra Viva. Manual de Agroecología, Vol. 64). Coordinación editorial: Iñaki Liceaga Edición, diseño y composición: Eduardo Martínez Oliva Corrección científica: Fernando Funes Aguilar.
- Martínez-Cañizares, J. A., Rodríguez-González, A., & Wong-Barreiro, M. (2018). Influencia de dos sistemas de labranza sobre las propiedades físicas de un suelo Ferralítico rojo. *Ingeniería Agrícola*, 8(1), 41-46.
- Murillo-Cuevas, F. D., Cabrera-Mireles, H., Adame-García, J., Uribe-Gómez, S., & Villegas-Narváez, J. (2022). Effect of soil conservation tillage on the structure of edaphic fauna communities. *Agrociencia*. <https://doi.org/10.47163/agrociencia.v56i3.2795>
- NC 1044. (2014). *Calidad de suelo. Determinación de la porosidad*. Oficina Nacional de Normalización La Habana, Cuba.
- NC 1045. (2014). *Calidad de suelo: Determinación de la estabilidad estructural*. Oficina Nacional de Normalización La Habana, Cuba.
- Noguera-Talavera, Á., Reyes-Sánchez, N., Mendieta-Araica, B., & Salgado-Duarte, M. M. (2017). Macrofauna edáfica como indicador de conversión agroecológica de un sistema productivo de Moringa oleifera Lam. En Nicaragua. *Pastos y Forrajes*, 40(4), 184-187.
- Noss, R. F. (1990). Indicators for monitoring biodiversity: A hierarchical approach. *Conservation biology*, 4(4), 355-364, <https://doi.org/10.1111/j.1523-1739.1990.tb00309.xREV>
- Ochoa, M. F., Calderón, A. D. A., Moreno, S. F., Herrera, E. F., & Ochoa, A. (2019). Fertilización orgánica y su impacto en la calidad del suelo. *Biotecnia*, 21(1), 87-92, <https://doi.org/10.18633/biotecnia.v21i1.817>

- Pielou, E. C. (1966). Shannon's formula as a measure of specific diversity: Its use and misuse. *The American Naturalist*, 100(914), 463-465.
- Pulleman, M., Six, J., Uyl, A., Marinissen, J., & Jongmans, A. (2005). Earthworms and management affect organic matter incorporation and microaggregate formation in agricultural soils. *Applied Soil Ecology*, 29(1), 1-15, <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2004.10.003>
- Real, R., & Vargas, J. (1996). The Probabilistic Basis of Jaccard's Index of Similarity. *Systematic Biology*, 45, 380-385, DOI: <https://doi.org/10.1093/sysbio/45.3.380>.
- Ruiz, N., Lavelle, P., & Jiménez, J. (2008). *Soil macrofauna field manual*.
- Salazar, E., Fortis, M., Vázquez, A., & Vázquez, C. (2003). *Abonos orgánicos y plasticultura*. Palacio, México, Facultad de Agricultura y Zootecnia de la UJED, Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo, COCyTED.
- Sanabria, S., Mendoza, K., Sangay, S., & Cosme, R. C. (2021). *Uso de coberturas vegetales en el manejo sostenible del suelo asociado al cultivo de maíz amiláceo (Zea mays L.)*. <https://doi.org/10.17268/sci.agropecu.2021.036>
- Sardiñas, L. M. H. (2014). Mejoramiento de un suelo degradado utilizando el multiarado. *Ingeniería Agrícola*, 4(1), 3-7.
- Sarmiento-Sarmiento, G., Peña-Dávila, J., & Medina-Dávila, H. (2022). Impacto de tres sistemas de labranza en la fertilidad de un suelo entisol en zonas aridas. *Chilean journal of agricultural & animal sciences*, 38(1), 104-113, <https://doi.org/10.29393/chjaas38-10itgh30010>.
- Shannon, C. E. (1948). A mathematical theory of communication. *The Bell system technical journal*, 27(3), 379-423,
- Singh, D., Lenka, S., Lenka, N. K., Trivedi, S. K., Bhattacharjya, S., Sahoo, S., Saha, J. K., & Patra, A. K. (2020). Effect of reversal of conservation tillage on soil nutrient availability and crop nutrient uptake in soybean in the vertisols of central India. *Sustainability*, 12(16), 6608, <https://doi.org/10.3390/su12166608>
- Tapia, S., Teixeira, A., Velásquez, E., & Waldez, F. (2016). Macroinvertebrados del suelo y sus aportes a los servicios ecosistémicos, una visión de su importancia y comportamiento. *Revista Colombiana de Ciencia Animal-REClA*, 8, 260-267, <https://doi.org/10.24188/reclia.v8.n0.2016.380>
- Yang, C., Geng, Y., Fu, X. Z., Coulter, J. A., & Chai, Q. (2020). The effects of wind erosion depending on cropping system and tillage method in a semi-arid region. *Agronomy*, 10(5), 732, <https://doi.org/10.3390/agronomy10050732>
- Zerbino, S., Altier, N., Morón, A., & Rodríguez, C. (2008). Evaluación de la macrofauna del suelo en sistemas de producción en siembra directa y con pastoreo. *Agrociencia Uruguay*, 12(1), 44-55, <https://doi.org/10.31285/AGRO.12.744>
- Zribi, W., Faci, J., & Aragüés, R. (2011). Efectos del acolchado sobre la humedad, temperatura, estructura y salinidad de suelos agrícolas. *Información técnica económica agraria*, 107(2), 148-162.