

Variaciones de la microfauna del suelo con la implantación de 18 modelos agroecológicos en 6 municipios de Norte de Santander, Colombia

Variations of soil microfauna with the implantation of 18 agroecological models in 6 municipalities of Norte de Santander, Colombia

DOI: <http://doi.org/10.17981/ingecuc.17.1.2021.07>

Artículo de Investigación Científica. Fecha de Recepción: 03/07/2020. Fecha de Aceptación: 23/10/2020.

Leónides Castellanos González 

Universidad de Pamplona. Pamplona (Colombia)
lclcastell@gmail.com

Alfonso Eugenio Capacho Mogollón 

Universidad de Pamplona. Pamplona (Colombia)
aecapacho@unipamplona.edu.co

Leónides Castellanos Hernández 

Universidad de Pamplona. Pamplona (Colombia)
lievcostan@gmail.com

Para citar este artículo:

L. Castellanos González, A. Capacho Mogollón & L. Castellanos Hernández, “Variaciones de la microfauna del suelo con la implantación de 18 modelos agroecológicos en 6 municipios de Norte de Santander, Colombia”, *INGE CUC*, vol. 17, no. 1, pp. 81–95. DOI: <http://doi.org/10.17981/ingecuc.17.1.2021.07>

Resumen

Introducción— La microfauna permite conocer el grado de perturbación en que se ha sometido un suelo por el manejo agrícola.

Objetivo— El objetivo de la investigación fue valorar las variaciones de la microfauna del suelo en el proceso de implementación de 18 modelos agroecológicos en seis municipios de Norte de Santander

Metodología— El presente estudio se desarrolló en 15 fincas de los municipios; Arboledas, Convención, La Playa, La Esperanza, Ocaña y Mutiscua del Departamento de Norte de Santander donde se establecieron 18 modelos agroecológicos (3/municipio). Se valoraron los indicadores de abundancia y diversidad de la microfauna (nematodos, protozoos y rotíferos) antes de establecer los cultivos y al año de implementados los mismos.

Resultados— Al año de establecidos los modelos agroecológicos mejoraron los indicadores de la microfauna en La Esperanza, La Playa, Mutiscua y Ocaña y no en Arboledas y Convención, y en siete de los nueve modelos agroecológicos donde participaba el maíz, dos de los tres donde participaban el cacao y el plátano, en todos donde participaba el frijol y en el de AL-Ci-Z se favorecieron los indicadores de la macrofauna, lo cual no ocurrió en el resto y en el de AL-Mo-TA.

Conclusiones— Los indicadores de abundancia y biodiversidad de la microfauna estuvieron variando con la implementación de los modelos agroecológicos en función de la combinación de cultivos en cada sistema agroforestal, las condiciones edáficas y de clima específicas y generales de cada zona, evidenciando los múltiples factores que influyen en la variación de la microfauna.

Palabras clave— Sistemas agroforestales; nemátodos; rotíferos; protozoos; abundancia; riqueza; equidad

Abstract

Introduction— The microfauna allows knowing the degree of disturbance in which a soil has been submitted by agricultural management.

Objective— The research aimed to assess the variations of the soil microfauna during the implementation process of 18 agroecological models in six municipalities of Norte de Santander

Methodology— The present study was carried out in 15 farms in the municipalities; Arboledas, Convención, La Playa, La Esperanza, Ocaña and Mutiscua of the Norte de Santander Department where 18 agroecological models were established (3 / municipality). The indicators of abundance and diversity of the microfauna (nematodes, protozoa and rotifers) were assessed before establishing the crops and one year after their implementation.

Results— One year after establishing the agroecological models the microfauna indicator improved in La Esperanza, La Playa, Mutiscua and Ocaña and not in Arboledas and Convencion, and in seven of the nine agroecological models where corn participated, two of the three where cocoa and plantain participated, in all where beans participated and in AL-Ci-Z the indicators of the macrofauna were favored, which does not happened in the rest and in AL-Mo-TA model.

Conclusions— The indicators of abundance and biodiversity of the microfauna varied with the implementation of agroecological models based on the combination of crops in each agroforestry system, the edaphic conditions and the specific and general climate of each area, showing the multiple factors that influence in the variation of the microfauna.

Keywords— Agroforestry systems; nematodes; rotifers; protozoa; abundance; wealth; equity

I. INTRODUCCIÓN

La implementación de sistemas agroforestales y sistemas silvopastoriles han sido recomendados por [1], ya que estos ofrecen servicios ambientales, entre ellos alelopatías, protección de polinizadores y biorreguladores naturales de plagas, así como mejoras de la biología del suelo que favorecen la nutrición de las plantas y por tanto los hace más sostenibles y resilientes al cambio climático. El suelo es uno de los ecosistemas más complejos de la naturaleza y uno de los hábitats de mayor diversidad en el planeta: alberga una infinidad de organismos diferentes que interactúan entre sí y contribuyen a los ciclos globales que hacen posible la vida, sirviendo de indicadores de la calidad del suelo [2].

La biota del suelo se divide tradicionalmente en macro, meso y micro biota en dependencia de su tamaño. En el microbiota la mayoría de los autores incluyen la microfauna y microbiota (bacterias, actinomicetes, hongos y algas) los cuales juegan diferentes roles y sirven para evaluar la calidad del suelo [3]. La microfauna la conforman los protozoarios, nemátodos, rotíferos, tardígrados, colémbolos y ácaros pequeños considerándose que su tamaño es menor a 0.2 mm [2].

Los nemátodos son los metazoos más abundantes del planeta, se encuentran en una cantidad inmensa de hábitats. Las funciones ecológicas de los nematodos incluyen la descomposición de la materia orgánica, mineralización de nutrientes, degradación de tóxicos y regulación de patógenos por lo que según la morfología de su cavidad bucal y esófago se determina su hábito trófico, clasificándolos en cinco categorías: bacteriófagos, fungívoros, depredadores, omnívoros y fitófagos [4]. Estos autores utilizan estos grupos para establecer comparaciones entre los manejos de los agroecosistemas, fertilización, el riego y la labranza, así como a las condiciones del suelo, clima y vegetación.

Se informan más de 53 familias de nemátodos de los diferentes grupos y con diferentes hábitos, algunas de las más importantes son las siguientes: Tylenchidae, Pratylenchidae que incluyen a nematodos fitoparásitos, Anguinidae donde se ubican nematodos fitoparásitos y saprófagos, dentro de Rhabdithidae, Neotylenchidae saprófagos y dentro de Diposcapteridae predadores [5].

La abundancia y dinámica de los grupos tróficos de nematodos se ha estudiado en varios ambientes y niveles de disturbio y se propone junto con otros miembros de la microfauna como un instrumento eficiente para el conocimiento de la calidad y función de los suelos [3], [4], [6].

El proyecto Plantar (Desarrollo estratégico agroecológico con uso de TIC para el fortalecimiento de cultivos promisorios en el Departamento de Norte de Santander) [7] tuvo como objetivo establecer sistemas agroforestales con la finalidad de hacer más sostenible y competitivos los agroecosistemas.

A partir de los antecedentes anteriores y la escasez relativa de resultados de estudios realizados a nivel mundial sobre la influencia de la microfauna sobre la calidad del suelo en diferentes ecosistemas agrícolas y particularmente en sistemas agroforestales [8], situación también presente en Colombia y muy específicamente en Norte de Santander, el objetivo de la presente investigación fue valorar las variaciones de la microfauna del suelo en el proceso de implementación de 18 modelos agroecológicos en 6 municipios de Norte de Santander (Colombia).

II. MATERIALES Y MÉTODOS

El presente estudio se desarrolló en seis municipios de Norte de Santander; Arboledas, Convención, La Playa, La Esperanza, Ocaña y Mutiscua. En cada municipio se seleccionaron 15 fincas para posteriormente establecer tres modelos agroecológicos (Tabla 1).

Para la selección de las fincas se tuvo en cuenta la existencia de una población de 1500 familias agricultoras en Norte de Santander, determinándose según lo recomendado [9], que era representativa una muestra de 90 familias considerando un margen error de 10%, un nivel de confianza de 95.

Para determinar la microfauna se realizó un muestreo tomando en cada finca 10 puntos al azar, en los cuales se recolectaron 10 submuestras (100 g) cerca de la zona de gotera de las plantas más dominantes, cada muestra se tomó a una profundidad de 20 cm y posteriormente se depositó en un recipiente de plástico, con el fin de homogenizar las submuestras y

TABLA 1. FINCAS SELECCIONADAS.

Municipio	Modelos agroecológicos
Arboledas	1 - Cedro-Limón-Maíz (CE-L-M)
	2 - Cedro-Aguacate-Maíz (CE-A-M)
	3 - Cedro-Aguacate-Frijol (CE-A-F)
Convención	1 - Cedro-Limón-Maíz (CE-L-M)
	2 - Cedro-Limón-Maíz/frijol (CE-L-M/F)
	3 - Cedro-Cacao-plátano (CE-C-P)
La Esperanza	1 - Abarco-Aguacate- Maíz/frijol (AB-A-M/F)
	2 - Abarco-Limón-Maíz (AB-L-M)
	3 - Abarco-Cacao-Plátano (AB-C-P)
La Playa	1 - Roble-Aguacate-Frijol (R-A-F)
	2 - Roble-Aguacate-Maíz (R-A-M)
	3 - Roble-Brevo-Maíz (R-B-M)
Mutiscua	1 - Aliso-Ciruelo-maíz (AL-Ci-M)
	2 - Aliso-Ciruelo-zanahoria (AL-Ci-Z)
	3 - Aliso- Mora- Tomate de árbol (AL-Mo-TA)
Ocaña	1 - Nogal cafetero-Aguacate-Frijol (NC-A-F)
	2 - Nogal cafetero-Cacao-Plátano (NC-C P)
	3 - Nogal cafetero-Aguacate-Maíz (NC-A-M)

Fuente: Autores.

tomar una muestra de 500 g representativa de la microfauna presente. Las muestras fueron transportadas al laboratorio en una caja aislada y almacenadas a 4°C para posteriormente hacer su extracción.

A. *Nemátodos libres*

Para la extracción de los nematodos libres, se mezcló la muestra de suelo completamente y se tomó una submuestra de 100 g, la cual se vació en un vaso de precipitado conteniendo 2 L de ADE (agua destilada estéril); se agitó durante 30 segundos y se dejó reposar otros 2 minutos para que las partículas del suelo se sedimentaran. Esta suspensión se pasó a través de tamices de 350 µm a 250 µm, y los nematodos se colectaron directamente en un tamiz de 37 µm.

Finalmente se obtuvo una suspensión la cual se utilizó para realizar el método modificado de extracción de nematodos a través de centrifugación y flotación con azúcar [10]. En este procedimiento, la suspensión se centrifugó a 3.500 rpm durante 5 minutos y luego se descartó el sobrenadante. Posteriormente, el sedimento se suspendió en una solución de sacarosa en una proporción 1:1 y se centrifugó de nuevo a 1.000 rpm durante dos minutos; los nematodos se colectaron a partir del sobrenadante utilizando un tamiz de 37 µm. Los especímenes que se hallaron sobre la malla se lavaron y arrastraron con ADE, y luego se colectaron en una caja de Petri. La suspensión, contenida en el vaso, se distribuyó en tubos de ensayo para su análisis e identificación, la cual se llevó hasta clase y hasta familia.

B. *Protozoarios*

Para la obtención de protozoarios se tomaron tres frascos esterilizados conteniendo ADE y se les colocó 50 g de suelo de la muestra de cada predio, se agitó hasta homogenizar la solución y se dejó reposar durante tres días. Después de este tiempo se tomó una gota del sobrenadante y se colocó sobre una lámina porta objetos y se registró la cantidad y el tipo de protozoarios presentes. La identificación de este grupo se llevó hasta clase.

- *Sarcodina*. Son los protozoos ameboides.
- *Ciliata*. Aparecen rodeados de cilios y presentan una estructura interna compleja pero análoga a los flagelos.
- *Mastigophora*. Se distinguen por la posesión de uno o más flagelos largos.

C. Turbelarios y rotíferos

Para la obtención de turbelarios y rotíferos, teniendo en cuenta su hábitat acuático, se tomaron 50g de suelo y se homogenizaron con 500 mL de ADE, se licuaron por 5 segundos y se pasó la solución por los tamices de 2000 gm, 1000 gm, 450 gm y 300 gm. Finalmente se colocó la solución resultante en cajas de Petri y se visualizaron directamente al estereoscopio y al microscopio. La identificación de estos grupos se llevó hasta clase.

Después de alrededor de 12 meses de establecidos los modelos agroecológicos se realizó un segundo muestreo en cada una de las fincas empleando la misma metodología, procesándose las muestras en el laboratorio de forma similar a la descrita, buscando comparar el impacto que habían tenido sobre estos grupos la intervención de los agricultores al implementar los sistemas agroforestales.

D. Análisis de datos

Con los datos de la abundancia poblacional de cada taxa obtenida por fincas se calcularon los siguientes índices de biodiversidad y ampliamente utilizados en estudios de diversidad y composición de especies [11]:

- Índice de Riqueza: S.
- Índice de diversidad de Margalef= $D_{Mg} = (S-1)/ \ln (N)$.
- Índice de equidad de abundancia: (Shannon-Wiener) $H' = - \sum (p_i) \ln (p_i)$.
- Índice de dominancia de Simpson (D) = $\sum p_i^2$.

Donde: N = número total de individuos de cada taxa, S = número de familias o clases de cada taxa identificados y p_i = proporción de la abundancia de taxa de las familias o clases i , en relación al total de individuos de todas las taxa (familia o clase).

Se obtuvieron los indicadores por modelo agroecológico dentro de cada municipio y a nivel municipal. Se compararon los indicadores obtenidos entre modelos y entre municipios en el año 2019 versus 2018 antes de la implementación de los modelos agroecológicos para ver las variaciones de estos.

III. RESULTADOS

A. Variaciones de los nematodos por municipios en ambos años

Estuvieron presentes seis familias de nemátodos en general en los muestreos realizados en la investigación antes de iniciar el trabajo para el establecimiento de los cultivos agroecológicos (2018) y después de estos establecidos (2019). La situación por municipios muestra la presencia de taxones de las familias Anguinidae y Rhabditidae en los seis municipios en 2018, Neotylenchidae en cuatro municipios, Tylenchidae, y Pratylenchidae, en tres municipios (coincidente solo para Arboledas), y la familia Diploscapteridae solo presente en Arboledas, siendo este el único municipio donde estaban todas las familias al inicio (Fig. 1a).

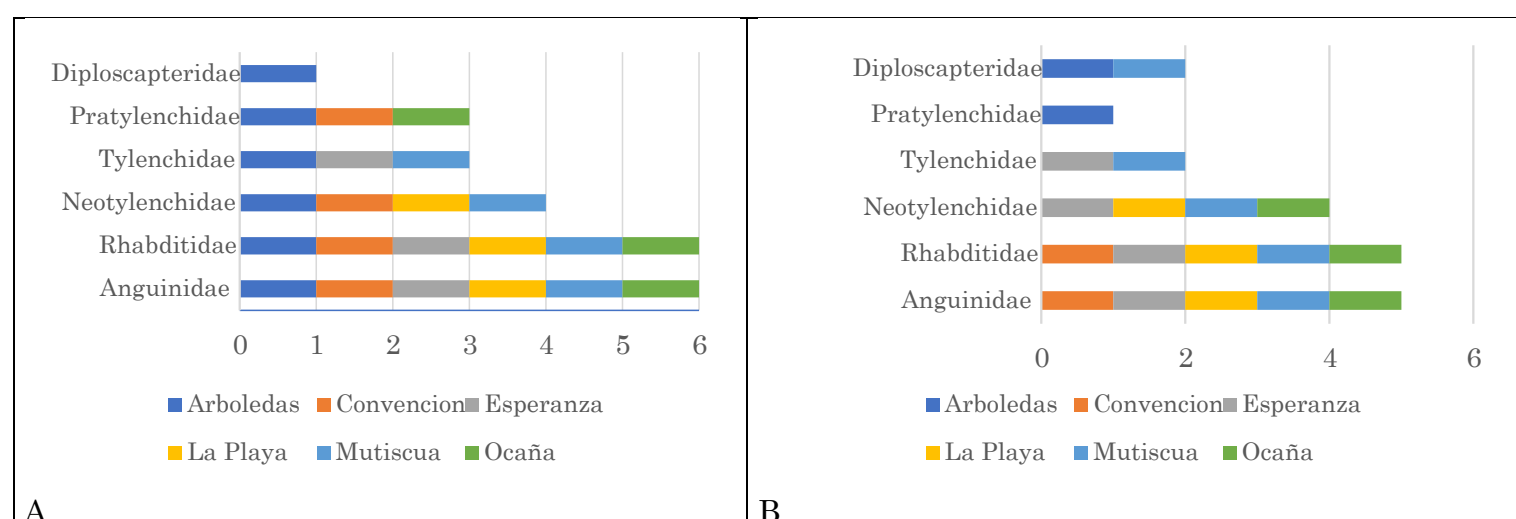


Fig. 1. Familias de nemátodos presentes en los diferentes municipios antes y después del establecimiento de los modelos agroecológicos.

Fuente: Autores.

Se observaron variaciones de las familias presentes durante el segundo muestreo después de establecidos los modelos agroecológicos (2019). Anguinidae y Rhabdithidae fueron la de mayor prevalencia, estuvieron en todos los municipios excepto en Arboledas. Neotylenchidae estuvo de nuevo en cuatro municipios, pero no en Arboledas y si en Ocaña. Tylenchidae y Pratylenchidae, disminuyeron su presencia solo en dos (no en Arboledas) y un municipio (no en Convención y Ocaña) respectivamente. La familia Diposcapteridae estuvo presente en Arboledas y Mutiscua cuando solo estaba en el primer municipio al inicio (Fig. 1b).

Se mantuvieron presentes seis familias de nemátodos en general en los dos muestreos, sin embargo, variaron los grupos en cada municipio con una tendencia a la disminución en el 2019 con relación a 2018 siendo menos representadas las familias Tyenchydae, Pratylenchidae y Diploscapteridae en ambos años.

Según algunos autores la fertilización puede tener efectos adversos sobre la calidad del suelo, se sabe que algunos taxa de nemátodos se pierden con la fertilización y si bien la abundancia total permanece inalterada en un amplio rango de usos del suelo, una fuerte presión ambiental selectiva actúa sobre varios taxa, indicando disminución de la estabilidad del sistema [12] lo cual pudo ocurrir en la presente investigación, ya que aunque se aplicó 50 kg/ha de humus de lombriz, también se aplicó fertilización química N-P-K en el momento de la siembra a los cultivos implementados.

Algunos autores [5] destacan la importancia de los nemátodos en la vida del suelo por que participan en toda la cadena trófica, siempre muy vinculados a fuentes de materia orgánica y que casi siempre viven en gremios, compuestos por lo general de cinco grupos funcionales: parásitos de determinada especie de plantas, bacteriófagos (pueden regular el nitrógeno y el fósforo disponible para las plantas), micófagos (se alimentan de las hifas de diferentes hongos), depredadores (de otros nematodos, microinvertebrados y protozoarios) y omnívoros con la capacidad de alimentarse de cualquier fuente, por lo que pueden fungir como micófagos, bacteriófagos, herbívoros y también como depredadores al alimentarse de otros nemátodos.

B. Variaciones de los protozoos y rotíferos por municipios en ambos años

Con relación a los protozoos se presentaron en los muestreos taxa de cinco clases (Sarcodina, Sporozoa, Ciliata, Oligohymenophorea, Mastigophora) y de rotíferos taxa de dos clases (Monogonta y Seisonidea) tanto en 2018 como 2019, y no se presentaron turbelarios en ninguno de los dos momentos. En 2018 en Arboledas estuvieron presentes individuos de todas las clases, sin embargo, solo se presentaron taxa de Ciliata, Sporozoa y Monogonta en 2019. En Convención se presentaron las mismas cuatro clases en los dos momentos (Sarcodina, Ciliata, Oligohymenophorea y Monogonta), al igual que en La Esperanza (Sarcodina, Ciliata, Mastigophora y Seisonidea) y en Mutiscua (Sarcodina, Ciliata, Oligohymenophorea, y Seisonidea).

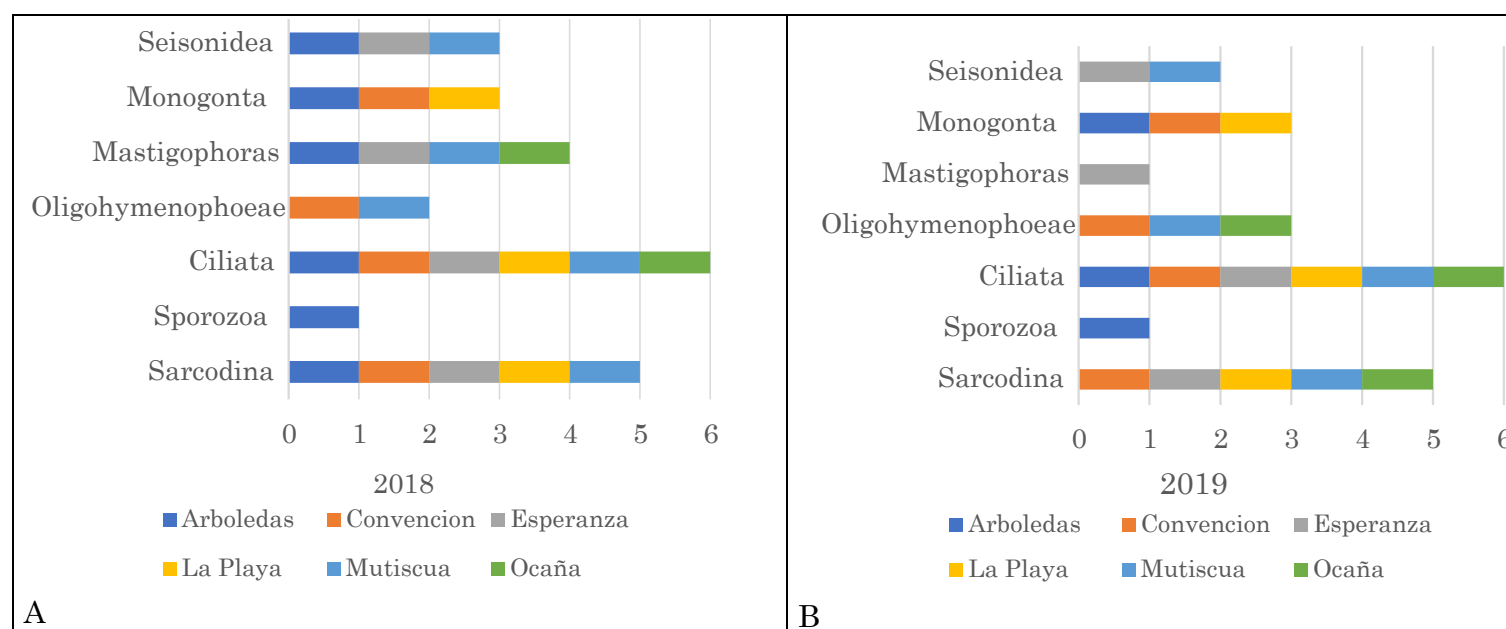


Fig. 2. Clases de protozoos y rotíferos presentes en cada uno de los municipios antes y después del establecimiento de los modelos agroecológicos.

Fuente: Autores.

En La Playa se presentaron tres clases en 2018, que se mantienen en 2019, mientras que en Ocaña se presentaron solo dos clases en 2018 y tres en 2019. De forma general Ciliata estuvo en los seis municipios en 2018 y también en seis en 2019, mientras que Sarcodina estuvo presente en cuatro municipios en 2018 y cinco en 2019 y Mastigophora en cuatro municipios en 2018 y en uno en 2019. Por otra parte, Sporozoa estuvo solo en Mutiscua en los dos momentos. Las variaciones producidas en estas clases en los dos momentos y municipios se presentan en la Fig. 2.

Aunque se mantuvieron presentes siete clases de protozoos y rotíferos en general en los dos muestreos se observaron variaciones de los grupos en los municipios con una tendencia a estar menos representadas en el 2019 con relación a 2018 de las clases Seisonidea y Mastigophoras, y a aumentar la presencia de Sarcodina y Oligohymenophorea.

Una correlación positiva entre diversidad encima del suelo y debajo del suelo puede establecerse a diferentes escalas los agroecosistemas y del clima y a través del historial de perturbaciones ocurridas, sin embargo, esto involucra múltiples relaciones que correlacionan positiva o negativamente incluso con contradicciones a nivel regional y a escala local [13]. Esto puede explicar las contradicciones de los grupos de protozoos y rotíferos y también de los nematodos en cuanto al comportamientos dentro de cada municipio, a veces complejo de comprender, lo que obliga a profundizar localmente para implementar esfuerzos efectivos de conservación de la diversidad de la microfauna del suelo. Por esta misma razón en la literatura se recomienda estudiar las comunidades de la microfauna y no las taxa por separado [8].

En este sentido a pesar de que los modelos agroecológicos se establecieron en fechas muy cercanas en 2018 y se trabajó de darle manejos similares y las mediciones de las poblaciones de la microfauna se realizaron en periodos similares del año en todos los municipios, las condiciones de clima, las precipitaciones y temperatura estuvieron variando de municipio a municipio y tuvieron una repercusión particular en cada caso, entre la más sobresaliente fue un prolongado periodo de sequía previo al segundo muestreo en los municipios Arboledas y Convención que pudieron incidir en la disminución de las poblaciones de la microfauna.

C. Indicadores de abundancia y riqueza, diversidad equidad y dominancia de la microfauna por municipios

Al analizar la abundancia de la microfauna en su conjunto otra es la situación reflejada, en Arboledas y Convención disminuye sensiblemente el número de ejemplares, pero se aumenta ligeramente en cuatro municipios. Por otra parte, la riqueza aumenta en Convención, se mantiene en Arboledas y disminuye en La Esperanza, La Playa, Mutiscua y Ocaña (Fig. 3).

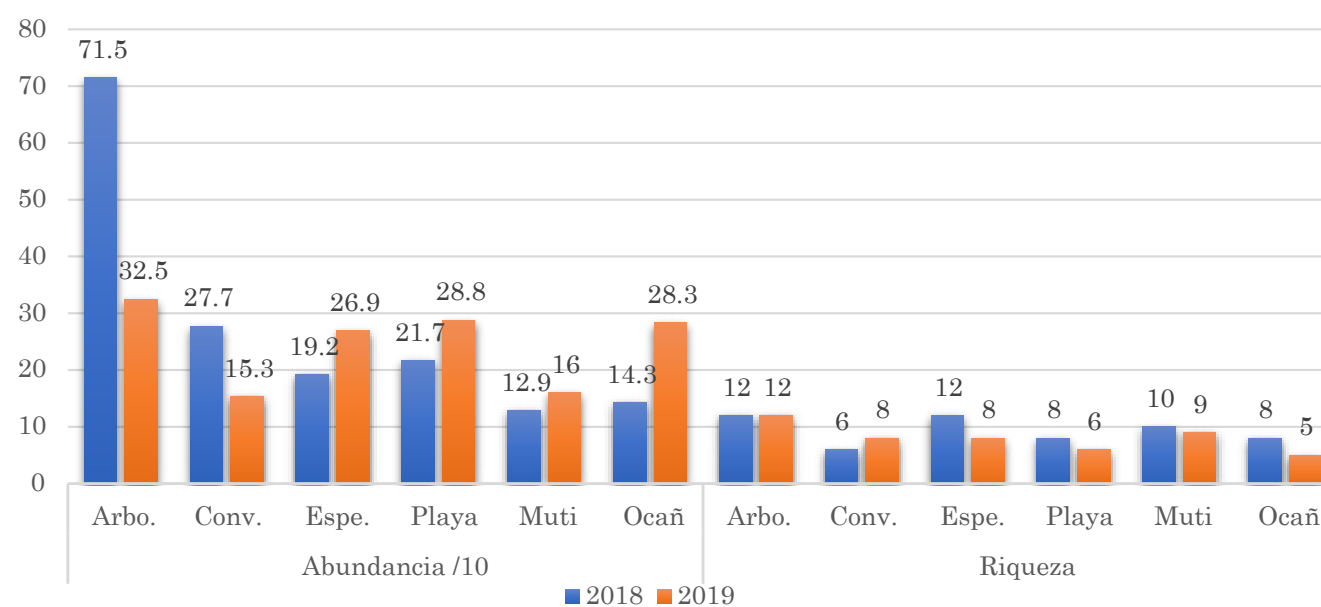


Fig. 3. Variación de la abundancia y riqueza de la microfauna a nivel municipio antes y después de establecidos los modelos agroecológicos.

Fuente: Autores.

La diversidad según Índice de Mangalef aumentó en Esperanza, La Playa y Ocaña, se mantuvo con los mismos valores en Mutiscua, pero disminuyó en Arboledas y Convención. La Equidad de abundancia H' (Shannon-Wiener) aumentó del 2018 al 2019 en La Playa y Ocaña, se mantuvo con el mismo valor en la Esperanza y disminuyó en el resto de los municipios. El Índice de dominancia de Simpson (D) aumentó en Arboledas y La Esperanza (hasta el valor 2,3), en menor medida en La Playa y en Ocaña y se mantiene con valores similares y muy bajos en Mutiscua y en Convención.

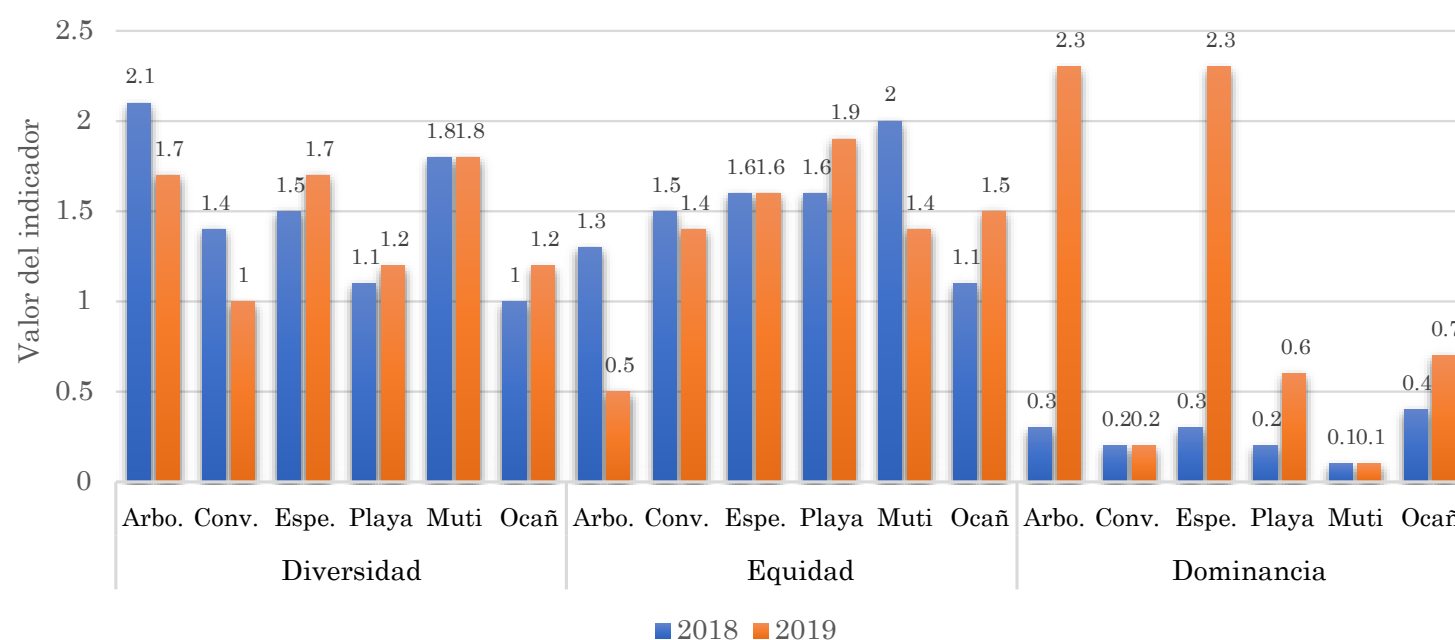


Fig. 4. Variación de la diversidad, la equidad y la dominancia de la microfauna a nivel municipio antes y después de establecidos los modelos agroecológicos.
 Fuente: Autores.

La abundancia de la macrofauna (de las familias de nemátodos y clases de rotíferos y protozoos) disminuyó en dos municipios y aumentó en cuatro, mientras que la riqueza disminuyó en cuatro municipios, se mantuvo Arboledas y solo aumentó en el municipio Convención, sin una relación directa con las variaciones de la abundancia. Por otra parte, la diversidad de la microfauna aumentó en tres municipios, mientras que la equidad aumentó en tres, que mantuvieron o disminuyeron los indicadores de dominancia, aunque este último indicador aumentó, o se mantuvo similar en todos los municipios en el año 2019 con relación al 2018 después de la intervención en los agroecosistemas, al parecer debido al aumento en extensión de las especies sembradas con respecto a la diversidad de la vegetación inicial (Fig. 4).

Estos resultados de las 15 fincas en su conjunto en cada municipio indican que las comunidades de la microfauna presentaban una equidad baja tanto al inicio como después de establecidos los cultivos por presentar un índice de Shannon-Wiener, menor a 2, también considerado como un indicador de diversidad de las especies [14]. Además, según estos autores un valor del índice de Simpson < 0.17 , indica una dominancia baja, calificación no aplicable a ninguno de los municipios ni antes ni después de establecidos los cultivos que presentaron la dominancia por encima de este valor con la excepción de Mutiscua, siendo muy alta en Arboledas y Esperanza que alcanzaron valores mayores de 2 en el año 2019.

D. Indicadores de abundancia la microfauna por finca en los municipios

En el municipio Arboleda se observó una alta variabilidad de las poblaciones de la microfauna entre las fincas tanto antes como después de implementados los cultivos, incluso entre de fincas pertenecientes al mismo modelo. En general las poblaciones de la microfauna tuvieron disminución de sus valores relativos en 13 fincas de las 15 desde 715 ejemplares totales a 430 (Fig. 5). En 2019 la mayor abundancia correspondió a los nematodos con un 81.5% de los individuos totales y el resto de los grupos estuvieron poco representados. Las mayores poblaciones se asociaron a fincas con mayor nivel de humedad y mayor cobertura vegetal.

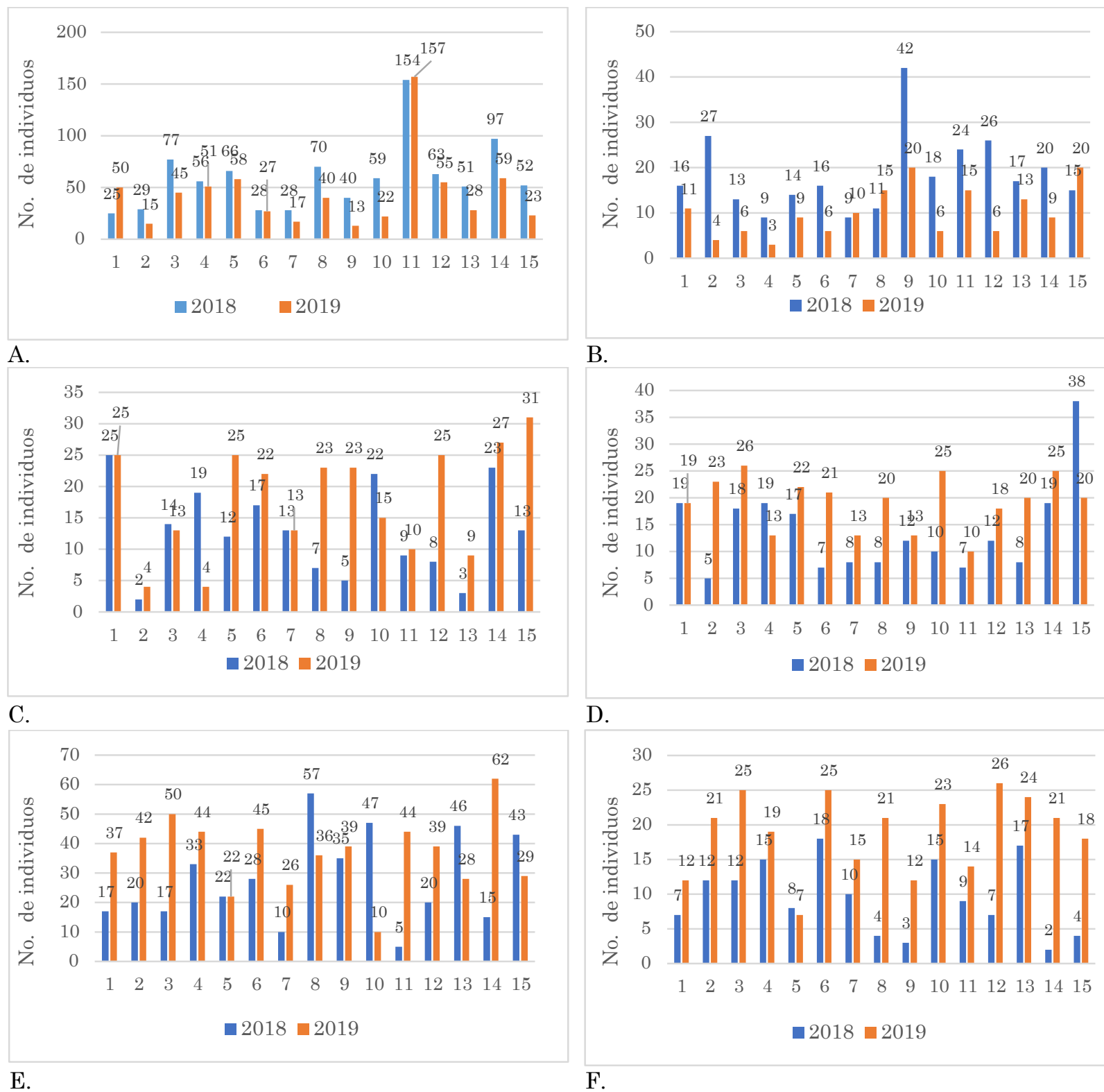


Fig. 5. Variaciones de la microfauna de la microfauna en las 15 fincas de cas municipio antes y después de implementados los modelos agroecológicos: A. Arboledas, B Convención, C. La Esperanza, D. La Playa, E. Mutiscua y F. Ocaña. Fuente: Autores.

La abundancia de la microfauna del suelo en el municipio Convención presentó una disminución, con relación a antes de iniciar con las actividades del proyecto ya que se encontraron 277 ejemplares y posteriormente solo 153. Es bueno resaltar que algunos organismos de la microfauna en Convención se vieron favorecida su abundancia con el establecimiento de los Modelos Agroecológicos, así, los nematodos de la familia Anguinidae, aumentaron de 33 a 87 individuos y los de la clase Ciliata de 6 a 74 representando el 43% de la población del 2019. En general se presentaron variaciones entre fincas en ambos años, pero de forma similar a Arboledas en 12 de las 15 fincas se observó una disminución relativa del número de individuos y en una se mantuvo igual.

Para la abundancia total de la Microfauna en el municipio La Esperanza, se contabilizaron 189 individuos antes de establecer el modelo agroecológico 2018 y 269 en 2019, luego de establecidos los Modelos Agroecológicos, con un valor medio de 12,60 individuos por finca antes de implementar el modelo y un valor medio de 17,93 luego de establecidos. En 13 de las 15 fincas se observó un aumento de la microfauna, perteneciendo el 56,6% a ejemplares de la clase Ciliata y 27% a nematodos.

Respecto a la abundancia de la microfauna en el municipio la Playa se identificaron 184 individuos antes de establecer el modelo agroecológico en los predios y 288 luego de establecido, con un valor medio de 12.26 individuos por predio antes de implementar el modelo y de 19.2 luego de establecido, aunque con amplias diferencias entre valores máximos y mínimos lo que generó alta dispersión. Al comparar la distribución de la abundancia entre los años 2018 y 2019 se observa que 12 de 15 fincas incrementaron sus poblaciones de microfauna, correspondiendo el 49% a nematodos y el 41% a protozoos de la clase Ciliata.

En Mutiscua se contabilizaron 162 individuos de la microfauna antes de establecer los modelos agroecológicos en el total de las fincas y 147 luego de establecer el modelo, con un valor medio de 10.80 individuos por finca antes de implementar el modelo y un valor medio de 9.80, aunque con amplias diferencias entre valores máximos y mínimos lo que generó alta dispersión. En 10 de las 15 fincas se observó un aumento relativo de la población y en dos se mantuvo similar, con mayor representación de los nematodos (76%), seguida de los protozoos de la clase Ciliata (15,6%).

La abundancia de especies de la microfauna del suelo de las fincas de Ocaña presentó un aumento importante al año del establecimiento de los modelos agroecológicos. En 2018 la abundancia fue de 141 individuos y al año se incrementó a más del doble (292 individuos). Este incremento se observó 14 de las 15 fincas donde el 46% de la población correspondía a nematodos y el 45.9% a protozoos de la clase Ciliata.

En general en todos los municipios del proyecto, excepto Arboledas y Convención, se mantuvo o aumentó la abundancia de la microfauna del suelo en el 80% o más de las fincas en 2019 con relación a 2018, o sea, que el número de individuos creció independientemente de que algunas familias de nemátodos o algunas clases de rotíferos y protozoos no estuvieran presentes, lo que corrobora lo planteado en la literatura [12] con relación a la compensación de las poblaciones, aunque varían los taxa. Independientemente del año de muestreo las mayores poblaciones de la microfauna estuvieron asociadas con las fincas donde había más humedad y mayor cobertura vegetal en las parcelas muestreadas. Estos resultados difieren con relación a las variaciones de la abundancia de la macrofauna del suelo en estas mismas fincas, donde en la mayoría disminuyó el número de individuos en 2019 con respecto a 2018 en los seis municipios de referencia [15].

E. Indicadores de abundancia, riqueza, diversidad, equidad y dominancia antes y después del establecimiento de los modelos agroecológico en cada municipio

Al comparar los índices de biodiversidad de la microfauna del suelo en los modelos de los municipios Arboledas en los años 2018 y 2019, se presentó una disminución en cuanto a la abundancia de especies en los tres modelos agroecológicos. En la riqueza, el modelo Cedro-Limón-Maíz disminuyó en 3 valores y los modelos Cedro-Aguacate-Maíz y Cedro-Aguacate-Frijol disminuyeron 2. En cuanto al Índice de Diversidad de Margalef, los 3 modelos disminuyeron con el establecimiento de los cultivos mientras que la equidad aumentó en los tres modelos. Finalmente, la dominancia de Simpson, aumentó en los modelos 1 (Cedro-Limón-Maíz) y 2 (Cedro-Aguacate-Maíz), mientras que en el modelo 3 (Cedro-Aguacate-Frijol) disminuyó (Tabla 2).

TABLA 2. ÍNDICES DE BIODIVERSIDAD DE LA MICROFAUNA DEL SUELO POR MODELO AGROECOLÓGICO EN EL MUNICIPIO DE ARBOLEDAS, NORTE DE SANTANDER.

Microfauna	Modelo 1 (CE-L-M)		Modelo 2 (CE-A-M)		Modelo 3 (CE-A-F)	
	2018	2019	2018	2019	2018	2019
Abundancia (N)	253	219	225	119	417	322
Riqueza específica (S)	8	5	8	6	9	7
Diversidad de especies de Margalef (DMg)	2.17	0.92	2.22	1.25	1.99	1.21
Equidad de Shannon-Wiener (H')	0.83	1.46	0.64	1.45	0.81	1.30
Dominancia (Simpson)	0.11	0.25	0.10	0.27	0.60	0.35

Fuente: Autores.

El comportamiento de la microfauna con relación a los indicadores de abundancia, riqueza específica y equidad de Shannon-Wiener en los 3 modelos agroecológicos de Convención (Cedro-Limón-Maíz, Cedro-Aguacate-Maíz/Frijol y Cedro-Cacao-Plátano) manifestó una tendencia a la disminución de especies después de haber implementado los modelos para el año 2019.

De forma similar, aunque con muy pequeña disminución ocurrió con la diversidad (índice de Margalef) con la excepción del modelo Cedro-Limón-Maíz que no varió entre los años de observación. Sin embargo, los valores obtenidos en el índice de dominancia de Simpson para la microfauna, presentaron una tendencia a aumentar con la implementación de los modelos agroecológico en el municipio (Tabla 3).

TABLA 3. ÍNDICES DE BIODIVERSIDAD GLOBAL DE LA MICROFAUNA DEL SUELO POR MODELO AGROECOLÓGICO EN EL MUNICIPIO DE CONVENCIÓN, NORTE DE SANTANDER

Microfauna	Modelo 1 (CE-L-M)		Modelo 2 (CE-A-M/F)		Modelo 3 (CE-C-P)	
	2018	2019	2018	2019	2018	2019
Abundancia (N)	79	33	96	57	102	63
Riqueza específica (S)	6	5	6	4	6	4
Diversidad de especies de Margalef (DMg)	1.14	1.14	1.09	0.74	1.08	0.72
Equidad de Shannon-Wiener (H')	1.49	1.19	1.62	1.20	1.41	1.24
Dominancia (Simpson)	0.26	0.37	0.21	0.32	0.29	0.31

Fuente: Autores.

Es los tres modelos agroecológicos de Convención la dominancia, índice de Simpson fue > 0.17 tanto antes como después de implementados los modelos agroecológicos, lo cual indica una dominancia media [14].

En general la abundancia de la microfauna aumentó en los tres modelos agroecológicos del municipio La Esperanza. La riqueza específica (S) y el índice de Margalef (diversidad de especies) aumentaron en los modelos AB-L-M y AB-C-P y disminuyó en el AB-A-M. El índice de Shannon (Equidad) tuvo un descenso en el AB-A-M y un aumento en los modelos AB-L-M y AB-C-P, y similar situación se presentó para la dominancia (Tabla 4).

TABLA 4. ÍNDICES DE BIODIVERSIDAD DE LA MICROFAUNA EN EL MUNICIPIO LA ESPERANZA, NORTE DE SANTANDER.

Microfauna	Modelo 1 (AB-A-M)		Modelo 2 (AB-L-M)		Modelo 3 (AB-C-P)	
	2018	2019	2018	2019	2018	2019
Abundancia (N)	69	71	64	96	56	102
Riqueza específica (S)	11	10	10	12	8	13
Diversidad de especies de Margalef (DMg)	2.60	2.35	2.40	2.63	1.99	2.81
Equidad de Shannon-Wiener (H')	1.45	1.37	1.48	1.58	1.43	1.5
Dominancia (Simpson)	0.75	0.71	0.75	0.78	0.72	0.76

Fuente: Autores.

Al comparar los índices de biodiversidad de la microfauna del suelo en el municipio La Playa durante los años 2018 y 2019, se observó un aumento en cuanto a la abundancia de especies en los tres modelos agroecológicos. En la riqueza específica, los modelos Roble-Aguacate-Maíz y Roble-Brevo-Maíz, presentaron un leve aumento (una especie), mientras que en el modelo Roble-Aguacate – Frijol se mantuvo similar. En la diversidad de Margalef, los modelos Modelo Roble-Aguacate-Maíz y Modelo Roble-Brevo-Maíz, presentaron un ligero aumento, mientras que en el modelo Roble-Aguacate-Frijol este indicador disminuyó con el establecimiento de los cultivos. El establecimiento de los cultivos, incrementó la equidad de Shannon y la dominancia de Simpson, ya que los tres modelos registraron un aumento para el año 2019, sin embargo, en los tres modelos agroecológicos de la dominancia, índice de

Simpson, fue > 0.17 tanto antes como después de implementados los modelos agroecológicos, lo cual indica una dominancia media [14] (Tabla 5).

TABLA 5. ÍNDICES DE BIODIVERSIDAD DE LA MICROFAUNA DEL SUELO POR MODELO AGROECOLÓGICO EN EL MUNICIPIO LA PLAYA

Microfauna	Modelo 1 (R-L-M)		Modelo 2 (R-A-F)		Modelo 3 (R-B-M)	
	2018	2019	2018	2019	2018	2019
Abundancia (N)	78	103	45	92	61	93
Riqueza específica (S)	6	6	5	6	6	7
Diversidad de especies de Margalef (DMg)	1.38	1.29	1.31	1.33	1.46	1.54
Equidad de Shannon-Wiener (H')	1.03	1.43	0.68	1.55	0.87	1.57
Dominancia (Simpson)	0.04	0.31	0.02	0.24	0.03	0.28

Fuente: Autores.

Al comparar la distribución de la abundancia entre los años 2018 y 2019 por modelo agroecológico, se obtuvo, que en el primer modelo conformado por Aliso-Ciruelo-Maíz, se presentó un aumento significativo de las poblaciones de microfauna en la finca La Hoyada del Corazón, pasando de 17 a 50 individuos lo que influyó en el incremento en general en este modelo. En el segundo modelo agroecológico, Aliso-Ciruelo-Zanahoria, en dos fincas se presentó una disminución significativa de individuos, caso contrario sucedió con las fincas La Vega, La Laguna y El Caracol que presentaron un aumento en el número de individuos. Para el tercer modelo, Aliso-Mor-Tomate de Árbol, se destacó la microfauna del suelo por modelos en este municipio en los años 2018 y 2019, se presentó una disminución en cuanto a la abundancia de especies en los tres modelos agroecológicos, menos evidente en el modelo 2.

En cuanto a la riqueza, los modelos Aliso-Ciruelo-Maíz y Aliso-Ciruelo-Zanahoria, presentaron un leve aumento, mientras que en el modelo Aliso-Mora-Tomate de Árbol disminuye en 4 individuos. Los índices de diversidad de Margalef y equidad de Shannon, aumentaron en los modelos Aliso-Ciruela-Maíz y Aliso-Ciruelo-Zanahoria con el establecimiento de los cultivos y disminuyeron en el modelo Aliso-Mora-Tomate de Árbol, y de forma contraria ocurrió con la dominancia (Tabla 6) cumpliéndose lo planteado por [11] de que generalmente la equidad es inversamente proporcional a la dominancia.

TABLA 6. ÍNDICES DE BIODIVERSIDAD DE LA MICROFAUNA DEL SUELO POR MODELO AGROECOLÓGICO EN EL MUNICIPIO DE MUTISCUA, NORTE DE SANTANDER.

Microfauna	Modelo 1 (AL-Ci-M)		Modelo 2 (AL-Ci-Z)		Modelo 3 (AL-Mo-TA)	
	2018	2019	2018	2019	2018	2019
Abundancia (N)	20	77	42	43	100	27
Riqueza específica (S)	4	7	5	7	9	5
Diversidad de especies de Margalef (DMg)	1.00	1.38	1.07	1.60	1.74	1.21
Equidad de Shannon-Wiener (H')	1.19	1.79	0.99	1.77	1.82	1.18
Dominancia (Simpson)	0.34	0.18	0.53	0.20	0.20	0.40

Fuente: Autores.

Un aumento importante de la abundancia de nematodos, protozoos y rotíferos se observó en los tres modelos de Ocaña en el año 2019 con respecto al 2018. La riqueza (S) se mantuvo con poca variación en los tres modelos entre ambos años. El índice de diversidad de especies de Margalef (D_{Mg}) disminuyó en los modelos NC-A-M y NC-C-P y aumentó en NC-A-F. El índice de equidad de Shannon-Wiener (H') disminuyó en NC-A-M y aumentó en NC-C-P y NC-A-F. El índice de dominancia (Simpson) presentó un ligero aumento en los modelos NC-A-M y NC-C-P y una disminución en NC-A-F al año del establecimiento de los modelos (Tabla 7).

TABLA 7. ÍNDICES DE BIODIVERSIDAD DE LA MICROFAUNA DEL SUELO POR MODELO AGROECOLÓGICO EN EL MUNICIPIO DE OCAÑA, NORTE DE SANTANDER

Microfauna	Modelo 1 (NC-A-M)		Modelo 2 (NC-C-P)		Modelo 3 (NC-A-F)	
	2018	2019	2018	2019	2018	2019
Abundancia (N)	52	93	50	96	39	103
Riqueza específica (S)	4	3	3	3	4	8
Diversidad (DMg)	1.01	0.66	0.76	0.65	1.09	1.72
Equidad de Shannon-Wiener (H')	1.20	1.02	0.46	0.96	1.08	1.78
Dominancia (Simpson)	0.35	0.38	0.90	0.41	0.38	0.20

Fuente: Autores.

El establecimiento de los 18 modelos agroecológicos provocaron variaciones disimiles en de biodiversidad de la microfauna del suelo al año de establecidos los mismos, ya que los modelos CE-L-M, CE-A-M, y CE-A-F en Arboledas y CE-L-M , CE-A-M/F y CE-C-P en Convención desfavorecieron los indicadores de abundancia, riqueza y equidad y favorecieron la dominancia, mientras que el municipio Mutiscua la intervención con los modelos A-Ci-M y A-Ci-Z a diferencia del modelo A-Mo-TA, favorecieron la abundancia, la riqueza y la equidad de la microfauna y disminuyeron la dominancia. Por otra parte en La Esperanza los modelos AB-L-M y AB-C-P y AB-A-M incrementaron los indicadores de abundancia y con excepción del último también favorecieron la riqueza la diversidad, y la equidad, similar situación se observó en La Playa donde los modelos R-L-M, R-L-F y R-B-M incrementaron los indicadores de abundancia y la equidad, pero solo en los dos últimos la riqueza y la diversidad, mientras que en Ocaña los modelos NC-A-F y NC-C-P también aumentaron o mantuvieron la riqueza y aumentaron la abundancia y la equidad, disminuyendo la dominancia, situación que no ocurrió en el modelo NC-A-M.

En general mejoraron los indicadores de abundancia y de biodiversidad de la microfauna en 10 de los 18 modelos agroecológicos. Estos resultados difieren de los que compararon la macrofauna del suelo en estos mismos modelos agroecológicos donde solo mejoraron los indicadores de diversidad en 4 de los 18 modelos agroecológicos [15].

Un análisis más profundo revela que el maíz participaba en nueve modelos agroecológicos y en cinco de ellos (uno en La Esperanza, dos en la Playa, uno en Mutiscua y uno en Ocaña), los indicadores de biodiversidad se mostraron favorables y también aumentó la abundancia. Esto podría explicarse aunque no se informan problemas nematológicos importantes del maíz en Colombia [16], y además tampoco se encontraron en los modelos agroecológicos donde el principal problema fitosanitario fue *Spodoptera frugiperda*, en México se informó que en un sistema de cultivo de conservación de maíz se presentaron 19 géneros de nemátodos de los cinco grupos tróficos [5] donde predominó el grupo de los herbívoros [17], y que en Perú se identificaron a *Helicotylenchus* spp., *Mesocriconema* spp., *Globodera* spp., *Xiphinema* spp., *Rotylenchus* spp. y *Dorylaimus* spp. como nematodos asociados al cultivo del maíz [18]).

Estos resultados apoyan otros obtenidos en México donde se compararon cuatro sistemas de cultivo y aunque la asociación de nematodos en el suelo en el sistema de maíz no se diferenció del del resto en cuanto al índice H' = (Shannon-Wiener), pero quedó intermedio en cuanto al inverso del Índice de dominancia de Simpson (D) = $1/\sum p_i^2$ entre el sistema bosque natural y el sistema pastizal [19].

Por otra parte, de los tres modelos que contemplaban el sistema agroforestal donde participaba el sistema cacao plátano en dos se favorecieron los indicadores de biodiversidad (A-C-P y NC-C-P), pero no en el de CE-C-P de Convención. Desde Perú se informan poblaciones de nemátodos fitoparásitos asociada al sistema de cultivo Cacao-Plátano-Guaba de los géneros *Meloidogyne*, *Helicotylenchus* y *Pratylenchus*, mientras que la población de nemátodos no fitoparásitos estuvo constituida por géneros de los órdenes Dorylaimida y Rhabditida , la cuales se incrementaron en un 530% a través de los años. A pesar de que en Colombia se informan

varias especies de nemátodos migratorios y sedentarios que causan serios daños al banano y al plátano (*Radofolus similis*, *Helicotylenchus multicinctus*, *Pratylenchus* spp. y *Meloidogyne* spp. [20], no se informaron problemas nematológicos en este cultivo durante su primer año en los modelos agroecológicos.

Para otros cultivos transitorios participantes en los modelos agroecológicos como el frijol también se informan nemátodos dañinos en el país como *Meloidogyne* spp. y *Heterodera glycine* [21], en la zanahoria *Meloidogyne* y *Helicotylenchus*, así como en tomate de árbol de los géneros *Meloidogyne*, *Helicotylenchus*, *Pratylenchus*, *Criconemella* y *Paratylenchus*) [22], sin embargo, en ninguno es los cultivos del proyecto en el primer año se informaron perjuicios por nemátodos fitoparásitos.

Por tal razón se considera que la microfauna incluyendo las poblaciones de nemátodos que estaban presentes en ambos muestreos en cada una de las parcelas, con las diferentes combinaciones de cultivos, las condiciones específicas de cada finca y las variaciones del clima en cada zona geográfica estaba reflejando en cada lugar y tiempo las perturbaciones ambientales y de manejos en cada sitio específico, como han señalado muchos autores [4], [6], [23], [24].

Por otra parte, otros autores [25] refieren que la humedad, porosidad, materia orgánica y pH, no presentaron relación con la diversidad de la población de nemátodos de vida libre identificados, sin embargo, la abundancia si se relacionó con la textura del suelo y la diversidad con la fracción limo, mientras que otros nemátodos fitoparásitos como *Criconemella* y *Dorylaiminae* no se relacionaron con estos parámetros edáficos.

Los presentes resultados a pesar de abordar un tema donde la información es escasa a nivel internacional y mucho más en Colombia se realizó solo al año de haber realizado el establecimiento de los modelos agroecológicos, por lo que evaluaciones subsiguientes con mayor edad de los cultivos pudieran arrojar resultados diferentes. Por tal razón es recomendable para futuros investigaciones de este tipo extender las evaluaciones por más tiempo.

Las variaciones de la microfauna no siguieron una tendencia estable con relación a las especies de cultivos plantados lo que corrobora los planteado por otros investigadores con respecto a que mecanismos muy variados pueden conllevar a la existencia de una relación positiva, negativa, o a la no existencia de relación entre la biodiversidad de especies de plantas encima de la tierra y la diversidad de las especies en el suelo, lo cual va a depender de la fuerza y el tipo de interrelación que se presente entre esas especies y las condiciones particulares de cada lugar [8], [13].

No obstante, esta es la primera investigación realizada de este tipo midiendo las variaciones de la microfauna del suelo con la implementación de sistemas agroforestales en Norte de Santander y si bien no hubo una relación directa de las poblaciones con el establecimiento de los modelos agroforestales y con las condiciones edafoclimáticas (pisos térmicos), se debe tener en cuenta que las parcelas aportadas por las fincas participantes dentro de cada municipio presentaban diferencias notables en cuanto al paisaje, pendiente, al uso de suelo y el nivel de laboreo, lo que sin dudas pudo haber influido en los resultados observados en cuanto abundancia y indicadores de biodiversidad después de la intervención antropogénica, lo cual avala lo planteado por otros autores [13].

V. CONCLUSIONES

Los indicadores de abundancia y biodiversidad de la microfauna estuvieron variando con la implementación de los 18 modelos agroecológicos en función de la combinación de cultivos en cada sistema agroforestal, las condiciones edáficas y de clima específicas y generales de cada zona, evidenciando que son múltiples los factores que influyen en la permanencia o no de un taxa de microfauna determinado y sus poblaciones. De forma general se observó que los modelos agroecológicos, al año de establecidos, favorecieron la microfauna en La Esperanza, La Playa, Mutiscua y Ocaña y no en Arboledas y Convención. En 10 de los 18 modelos agroecológicos se incrementó la abundancia de la microfauna, pero solo en ocho se mejoraron los índices de abundancia, riqueza y diversidad, entre ellos cinco modelos donde participaba el maíz, uno donde participaba el frijol, uno del sistema cacao-plátano y en el que se cultivaba zanahoria.

FINANCIAMIENTO

La investigación fue financiada con Recurso del proyecto de Regalías “Desarrollo estratégico agroecológico con uso de TIC para el fortalecimiento de cultivos promisorios en el Departamento de Norte de Santander”. Convenio Especial de Cooperación 00356. BPIN 2016000100030, el cual fue coordinado por la Gobernación de Norte de Santander y operado por la Universidad de Pamplona.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a la Gobernación del departamento Norte de Santander, financista del proyecto: “Desarrollo estratégico agroecológico con uso de las TIC, para el fortalecimiento de cultivos promisorios en el departamento de Norte de Santander, Plantar”, la oportunidad de trabajar en el mismo, lo cual permitió los recursos necesarios para desarrollar la investigación y obtener la información que sirvieron de base al presente artículo.

REFERENCIAS

- [1] C.I Nicholls & M.A. Altieri, “Bases agroecológicas para la adaptación de la agricultura al cambio climático,” *UNED Res J*, vol. 11, no. 1, pp. 55–61, Mar. 2019. <https://doi.org/10.22458/urj.v11i1.2322>
- [2] FAO, *Suelos y biodiversidad*. RO, IT: FAO, 2015. Available: <http://www.fao.org/3/a-i4551s.pdf>
- [3] Y. García, W. Ramírez & S. Sánchez, “Indicadores de la calidad de los suelos: una nueva manera de evaluar este recurso,” *Pastos y Forrajes*, vol. 35, no. 2, pp. 125–137, 2012. Available: <https://biblat.unam.mx/es/revista/pastos-y-forrajes/articulo/indicadores-de-la-calidad-de-los-suelos-una-nueva-mana-nera-de-evaluar-este-recurso>
- [4] C. V. Azpilicueta & M. C. Aruani, “Nematodos: ¿qué beneficios aportan al suelo?,” *Experticia*, no. 11, 2016. Available: <http://experticia.fca.uncu.edu.ar/component/content/article?id=205:nematodosque-beneficios-aportan-al-suelo>
- [5] M.S. Moreira, E.J. Huising & D.E. Bignell, *Manual de biología de suelos tropicales. Muestreo y caracterización de la biodiversidad bajo suelo*, CDMX, MX: INE, 2012. Available: http://cambioclimatico.gob.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/publicaciones/217/667_2012_Manual_biologia_suelos_tropicales.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- [6] C. Azpilicueta, M. Aruani, E. Chaves & P.D. Reeb, “Soil nematode responses to fertilization with ammonium nitrate after six years of unfertilized apple orchard,” *Span J Agric Res*, vol. 12, no. 2, pp. 353–363, 2014. <https://doi.org/10.5424/sjar/2014122-4634>
- [7] Gobernación Norte de Santander, “Desarrollo estratégico agroecológico con uso de TICs para el fortalecimiento de cultivos promisorios en el Departamento de Norte de Santander,” *Proyecto plantar*, [online], 2018. Available: <http://plantar.gov.co/>
- [8] C. Marsden, A. Martin-Chave, J. Cortet, M. Hedde & Y. Capowiez, “How agroforestry systems influence soil fauna and their functions - a review,” *Plant Soil*, no. 453, pp. 29 – 44, Aug. 2020. <https://doi.org/10.1007/s11104-019-04322-4>
- [9] D. J., Helmer, A.M. Cubides-Munévar, M. C. López, E.M. Pinzón-Gómez, P. Filigrana-Villegas, y C. Cassiani-Miranda & C. Muestreo, “Por conglomerados en encuestas poblacionales,” *Rev Salud Pub = J Public Health*, vol. 13, no. 1, pp. 141–151, Feb. 2011. Available: <https://search.proquest.com/docview/1677642138?accountid=47900>
- [10] W. R. Jenkins , “A rapid centrifugal flotation technique for separating nematodes from soil,” *Plant Disease Reporter*, vol. 48, no 9, pp. 662–665, 1964. Available: <https://www.cabdirect.org/cabdirect/abstract/19650801105>
- [11] C.E. Moreno, *Métodos para medir la biodiversidad*, ZAR, ES: Sea, 2001.
- [12] C. Mulder, A.J. Schouten, K. Hund-Rinke & A.M. Breure, “The use of nematodes in ecological soil classification and assessment concepts,” *Ecotox Env Saf*, vol. 62, no. 2, pp. 278–289, Oct. 2005. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2005.03.028>
- [13] D. U. Hooper, D. E. Bignell, V. Brown, L. Brussaard, J. M. Dangerfield, D. A. Wardle, D. C. Coleman, K. E. Giller, P. Lavelle, W. H. Der Putten, P. C. De Ruiter, J. Rusek, W. L. Silver, J. M. Tiedje & W. Wolters, “Aboveground and patterns, mechanisms, and feedback,” *BioScience* , vol. 50, no. 12, pp. 1049–1061, Dec. 2000. [https://doi.org/10.1641/0006-3568\(2000\)050\[1049:IBAABB\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1641/0006-3568(2000)050[1049:IBAABB]2.0.CO;2)
- [14] M. de J. Medrano, F. J. Hernández, S. Corral & J. A. Nájera, “Diversidad arbórea a diferentes niveles de altitud en la región de El Salto, Durango,” *Rev Mex Cs Forestales*, vol. 8, no. 40, pp. 57–68, Feb. 2017. Disponible en <https://biblat.unam.mx/es/revista/revista-mexicana-de-ciencias-forestales/articulo/diversidad-arborea-a-diferentes-niveles-de-altitud-en-la-region-de-el-salto-durango>
- [15] L. Castellanos, A.F. González & A.E. Capacho , “Influencia de los sistemas agroforestales del Proyecto Plantar sobre la macrofauna del suelo,” *BISTUA*, vol. 17, no. 3, pp. 105–116, 2019. Available: https://www.researchgate.net/publication/338198239_Influencia_de_los_sistemas_agroforestales_del_Proyecto_Plantar_sobre_la_macrofauna_del_suelo_Influence_of_agroforestry_systems_of_the_Plantar_Project_on_soil_macrofauna_Revista_Bistua_Facultad_de_Cien
- [16] F. Varón & G. A. Sarria, “Enfermedades del maíz y su manejo,” *FENALCE*, PAL, CO: ICA, pp. 1 – 57, 2007. Disponible en <http://bibliotecadigital.agronet.gov.co/handle/11348/6414>

- [17] D. Montiel & E. Segundo, “Nematodos asociados a maíz bajo un sistema de agricultura de conservación,” *CONAMTI 2017*, vol. 4, no. 12, pp. 55–57, Oct. 30, 2017. Recuperado de http://200.79.179.163/conamti/descargas/2017/15_MONTIEL_SEGUNDO_2017.pdf
- [18] I. Lima-Medina, R.Y. Bravo & M.I. Aguilar-Gomez, “Nematodos fitoparasitos asociados al cultivo de maíz (*Zea mais* L.) en las regiones de Puno y Cusco,” *Rev Investig Altoandin*, vol. 20, no 2, pp. 31–38, 2018. <https://doi.org/10.18271/ria.2018.328>
- [19] F. Franco-Navarro & D. Godinez-Vidal, “Soil nematodes associated with different land uses in the Los Tuxtlas Biosphere Reserve, Veracruz, Mexico,” *Rev Mex Biodivers*, vol. 88, no. 1, pp. 136–145, 2017. <https://doi.org/10.1016/j.rmb.2017.01.002>
- [20] M. Torrado-Jaime & J. Castaño-Zapata, “Incidencia de nematodos en plátano en distintos estados fenológicos,” *Agron Colomb*, vol. 27, no. 2, pp. 237–244, 2009. Disponible en <https://revistas.unal.edu.co/index.php/agrocol/article/view/11199>
- [21] D. Hernández-Ochandía, M.G. Rodríguez & R. Holgado, “Nemátodos parásitos que afectan *Phaseolus vulgaris* L.- en Latinoamérica y Cuba: especies, daños y tácticas evaluadas para su manejo,” *Rev Protec Veg*, vol. 33, no. 3, pp. 1–17, 2018. Disponible en <http://revistas.censa.edu.cu/index.php/RPV/article/view/976>
- [22] A.T. Mosquera–Espinosa, “Fitonematodos asociados a *Cyphomandra betacea* (Cav.) Sendtn., *Solanum quitoense* Lam. y *Daucus carota* L. en el departamento de Boyacá, Colombia,” *Acta Agronómica*, vol. 65, no. 1, pp. 87–97, 2016. <https://doi.org/10.15446/acag.v65n1.45180>
- [23] C. Salomé, P. Coll, E. Lardo, A. Metay, C. Villenave, C. Marsden, E. Blanchart, Ph. Hinsinger & E. Le Cadre, “The soil quality concept as a framework to assess management practices in vulnerable agroecosystems: A case study in Mediterranean vineyards,” *Ecol Indic*, vol. 61, part. 2, pp. 456–465, Feb. 2016. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2015.09.047>
- [24] S. Sánchez-Moreno & M. Talavera , “Los nemátodos como indicadores ambientales en agroecosistemas,” *Ecosistemas*, vol. 22, no. 1, pp. 50–55, 2013. <https://doi.org/10.7818/ECOS.2013.22-1.09>
- [25] E. E. Castilla-Díaz, E. Millán-Romero, J. Mercado-Ordóñez & C. Millán-Páramo, “Relación de parámetros edáficos sobre la diversidad y distribución espacial de nemátodos de vida libre,” *Tecnol. Marcha*, vol. 30, no. 3, pp. 24–34, 2017. <https://doi.org/10.18845/tm.v30i3.3270>

Leónides Castellanos González es ingeniero agrónomo en la Universidad Central de Las Villas (Cuba). Magister en Ciencias Agrícolas en la Universidad Agraria de la Habana (Cuba) y Dr. en Ciencias Agrícolas en la Universidad Central de Las Villas (Cuba). Posdoctorado en Metodología de la investigación científica en la Universidad de Cienfuegos (Cuba) y en Nutrición de Plantas en la UNESP (Brasil). Investigador Senior de Colciencias y profesor de la Universidad de Pamplona (Colombia). <http://orcid.org/0000-0001-9285-4879>

Leónides Castellanos Hernández es Dr. en medicina de la Universidad de Ciencias Médicas de Cienfuegos Central de Las Villas (Cuba). Especialista de primer grado en Hematología en 2016 en la Universidad de Ciencias Médicas de La Habana (Cuba). Profesor de la Universidad de Pamplona (Colombia). <https://orcid.org/0000-0002-5649-4068>