

Comunidades de nematodos de vida libre del suelo y su correspondencia con la calidad

Communities of free-living nematodes and correspondence with soil quality

Euriel Millán Romero¹, Elder Eduardo Castilla Díaz² y Carlos Millán Páramo³

Resumen

La evaluación e interpretación de la abundancia y función de la estructura de la comunidad de nematodos del suelo ofrecen una medida *in situ* de los factores disruptivos de la dinámica del suelo. En las localidades Sampués, Corozal y San Juan de Betulia, ubicados en la Subregión Sabana (Sucre, Colombia), se realizó un estudio sobre la abundancia de la nematofauna y las respuestas de estos organismos a las condiciones abióticas del medio en algunas propiedades del suelo. La diversidad de nematodos se utilizó como bioindicador del estado holístico de la calidad del suelo usando el Índice de madurez del suelo (I.M). Utilizando la metodología de Jenkins, se extrajeron 4.683 individuos, se identificaron 22 géneros y uno no determinado (*c.f Dorylaiminae*). Los parámetros edáficos se realizaron con las metodologías del IGAC; los más relacionados con la abundancia y diversidad de estos microorganismos que contribuyen en la mineralización del nitrógeno, flujo de nutrientes y energía del suelo fueron los porcentajes de arena, limo y humedad, su presencia en este sistema vivo está marcada por ellos, ya que, los nematodos son extremadamente sensibles a estrés ocasionado por malas actividades agrícolas, pecuarias y la utilización de agrotóxicos. La presencia de los géneros *c.f Dorylaimnae* y *Criconemella* no está limitada por factores como la textura y la humedad, de las cuales son dependientes otros géneros de nematodos como (*Pratylenchus*, *Tylenchus*, *Rotylenchulus*). Las comunidades de nematodos presentaron mayor relación con el porcentaje de materia orgánica.

Palabras clave: diversidad; nematofauna; parámetros edáficos.

Abstract

The evaluation and interpretation of abundance and function of the community structure of soil nematodes *in situ* provide a measure of the disruptive factors of soil dynamics. A study was conducted on the diversity of nematofauna and their responses of these organisms to abiotic conditions of medium in some physical and chemical parameters of soil. The study was conducted in the localities of Sampués, Corozal and San Juan Betulia, located in the subregion Sabana (Sucre, Colombia). The diversity of nematodes was used as a biomarker of holistic state of soil quality

1 Ing. Agrícola, M.Sc Suelos y Nutrición Vegetal, euriel.millan@unisucra.edu.co, Facultad de Ingeniería, Universidad de Sucre, Colombia.

2 Biólogo, elder.castilla@unisucra.edu.co, Universidad de Sucre, Colombia.

3 Ing. Civil, M.Sc Ingeniería Civil, carlos.millan@unisucra.edu.co, Facultad de Ingeniería, Universidad de Sucre, Colombia.

using the soil maturity index (I.M.). Using the methodology of Jenkins, a total of 4683 individuals were identified using taxonomic keys to 22 genera and one un-determined (*c.f Dorylaiminae*). The soil parameters were performed using the IGAC methodologies. The soil parameters more related to the abundance and diversity of these microorganisms contributors to nitrogen mineralization, flow of nutrients and soil energy were the percentages of sand, silt and humidity. The parameters presence in this living system in marked by the percentages since nematodes are extremely sensitive to stress caused by bad agricultural activities, livestock and the use of agrochemicals. The genera *c.f Dorylaimnae* and *Criconemella*'s presence is not limited by factors such as texture and humidity, of which other dependent on other genera of nematodes as (*Pratylenchus*, *Tylenchus*, *Rotylenchulus*). The nematode communities genera of nematodes such as "such as *Pratylenchus*, *tylenchus*, *Rotylenchulus*" are dependent. The nematode communities showed a higher relation with the percentage of organic matter.

Keywords: diversity; nematofauna; soil parameters.

1. Introducción

Los suelos difieren del aire y el agua, ya que estos dos tienen un estado "puro", que se puede considerar como un estándar de referencia. Las condiciones químicas, físicas y biológicas del aire y del agua se pueden cuantificar con relativa facilidad para determinar la desviación con respecto a su estado puro, lo que permite generar inferencias para usos específicos. Por otro lado, la composición física, química y biológica del suelo varía ampliamente, y no es posible establecer un valor estándar para todos los suelos.

Calidad del suelo es definida, simplemente, como la "capacidad de funcionar de un específico tipo de suelo". En general es evaluada midiendo un grupo mínimo de datos de propiedades del suelo para estimar la capacidad del suelo de realizar funciones básicas (por ej. mantener la productividad, regular y separar agua y flujo de solutos, filtrar y tamponar contra contaminantes, y almacenar y reciclar nutrientes) *Departamento de Agricultura (USDA, 1999)*.

Al medir la calidad del suelo es importante evaluar las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo, las propiedades físicas analizadas incluyen textura, contenido de agua y porosidad del suelo. Como propiedad biológica se encuentra la nematofauna de vida libre y en las químicas están la materia orgánica y el pH del suelo. Sin embargo, no todos los parámetros tienen la misma relevancia para todos los suelos, o situaciones. *Larson & Pierce (1991)*; *Doran y Parkin (1994a)*; *Seybold et al (1997)* propusieron un conjunto de indicadores físicos, químicos y biológicos que ocurren en el suelo para monitorear los cambios.

Entre las condiciones que deben cumplir los indicadores de calidad del suelo (propiedades físicas, químicas y biológicas) para que sean consideradas indicadores de calidad deben cubrir las siguientes condiciones descritas por *Doran y Parkin (1994b)*; a) describir los procesos del ecosistema; b) integrar propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo; c) reflejar los atributos de sostenibilidad que se quieren medir; d) ser sensibles a variaciones de clima y manejo; e) ser accesibles a muchos usuarios y aplicables a condiciones de campo; f) ser reproducibles; g) ser fáciles de entender; h) ser sensibles a los cambios en el suelo que ocurren como resultado de la degradación antropogénica; i) y, cuando sea posible, ser componentes de una base de datos del suelo ya existente.

El antecedente más importante surgió de la *Organization for Economic Cooperation and Development (OECD, 1991)*, cuando publicó un set preliminar de indicadores ambientales. Posteriormente, otras organizaciones han desarrollado programas donde se establecieron listas de indicadores para evaluar la calidad ambiental, tales como, *FAO, Banco Mundial, UN Development Program, UN Environmental Program*. En la ciencia del suelo, *Blum & Santelises (1994)* describieron el concepto de sustentabilidad y resiliencia del suelo basado en seis funciones ecológicas y humanas: el suelo como productor de biomasa; el suelo como reactor con filtros; el suelo como *buffer* y como transformador de materia para proteger el ambiente, el agua subterránea y la cadena de alimentos de la contaminación; el suelo como hábitat biológico y reserva genética; el suelo como medio físico y el suelo como fuente de recursos y de herencia cultural. Estos conceptos fueron las bases a partir de las cuales la *Soil Science*

Society of America estableció el concepto de calidad del suelo (Karlen, *et al.*, 1997). Doran y Parkin (1994c); Doran *et al.* (1996) establecieron indicadores cuantitativos de calidad del suelo a partir de estos conceptos.

La calidad del suelo no se puede medir directamente, pero se infiere a través de los indicadores de la calidad (estáticos o dinámicos) y de la medición de los atributos que están influenciados por el uso y las prácticas de manejo (Carter, 2002); (Sánchez-Maranon, *et al.*, 2002); (Dexter, 2004).

Las propiedades físicas más útiles como indicadores de la calidad del suelo, observadas en la Universidad de Chile, son las relacionadas con el arreglo de las partículas y los poros y con la estabilidad de los agregados, las cuales reflejan la manera en que el suelo acepta, retiene y transmite agua a las plantas, así como sus limitaciones para la emergencia de las plántulas y el crecimiento de las raíces (Acevedo, 2005).

En Colombia se desarrolló un sistema georreferencial de indicadores de la calidad de los suelos, donde a partir de una base de datos permite su caracterización y combina elementos morfológicos y analíticos (Rubiano, *et al.*, 2004). Los indicadores se conforman mediante un sistema de calificación que permite visualizar el grado y el número de limitaciones del suelo, lo que, integrado a un sistema de información geográfica, puede ser una herramienta en la toma de decisiones de los directivos, el personal técnico e incluso de los productores.

Existe una amplia variedad de indicadores físicos de la calidad del suelo, éstos varían de acuerdo con las características predominantes del lugar en estudio. Doran y Parkin (1994d); Nortcliff (2002) seleccionaron como indicadores la textura, materia orgánica y pH. Es importante considerar que uno de los problemas que presenta la utilización de las propiedades químicas como indicadores de la calidad del suelo es su alta variabilidad estacional. La composición y la cantidad de materia orgánica edáfica juegan un rol fundamental en el funcionamiento y sustentabilidad de los sistemas agropecuarios, debido a que impactan significativamente sobre las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo (Rotenberg, *et al.*, 2007). Entre las propiedades químicas propuestas como indicadores, se señalan aquellas que inciden en la relación suelo-planta como: la calidad del agua (Etchevers, *et al.*, 2009).

Indicadores biológicos de la calidad del suelo

La importancia de la evaluación de las propiedades biológicas del suelo, se relaciona estrechamente con la descomposición de la materia orgánica derivada de los residuos vegetales y animales, así como del reciclaje de la misma, ya que los subproductos de su acción influyen de forma directa en las propiedades físicas y químicas de los suelos (Astier-Calderón, *et al.*, 2002). Generalmente se refieren a la abundancia y subproductos de los organismos, incluidos bacterias, hongos, nematodos, lombrices, anélidos y artrópodos.

Los problemas ambientales que han suscitado interés mundial en los actuales momentos, es la pérdida de biodiversidad como consecuencia de las actividades antrópicas, ya sea de manera directa (sobreexplotación) o indirecta (alteración del hábitat). Actualmente el significado y la importancia de la biodiversidad no están en duda y se han desarrollado diversos métodos para evaluarlos como bioindicador del estado de los sistemas ecológicos, con aplicabilidad práctica para fines de conservación, manejo y monitoreo ambiental (Spellerberg, 1991). Por ende hay mucho interés en la comunidad de nematodos del suelo como un indicador de la calidad del suelo, biodiversidad, perturbación, complejidad de un ecosistema o productividad o sostenibilidad agrícola (McSorley & Frederick, 1996). La mayor contribución de estos organismos en los ecosistemas es la distribución de los nutrientes y minerales, son los responsables de un 30% de la mineralización del nitrógeno en el suelo, siendo el principal servicio que presta en el ecosistema (Ferris, 2010).

Para Muñoz (2011) suelo que no mantenga buenas condiciones en estructura (microporosidad) hacen que los niveles de oxígeno sean más bajos y, en consecuencia, el metabolismo, movimiento e infectividad de los juveniles se afecte, además del efecto negativo sobre el crecimiento y reproducción de las hembras.

En los ecosistemas terrestres se mide su diversidad biológica, para aportar conocimiento a la ecológica de estos organismos y contar con indicadores que nos permitan tomar decisiones o emitir recomendaciones en favor de la conservación de taxones o áreas amenazadas, o monitorear el efecto de las perturbaciones antrópicas en el ambiente.

La composición de las comunidades de nematodos se considera un buen indicador de las alteraciones como la deforestación, la liberación de agroquímicos y desechos industriales y urbanos al ambiente, el arado y el

cultivo del suelo afectan la riqueza de especies, la estructura trófica y el estado de sucesión de la comunidad de nematodos.

Estos cambios están correlacionados con indicadores del funcionamiento del ecosistema, como el aumento de nitrato y fósforo en el suelo, la disminución del carbono y la biomasa microbiana y el cambio en la estructura de las redes tróficas (Culman, *et al.*, 2010). Sánchez-Moreno & Talavera (2013) consideran a los nematodos del suelo como un grupo de invertebrados de elevada importancia ecológica que presentan atributos que les convierte en valiosas herramientas como indicadores biológicos.

El índice de madurez de los suelos (Bongers, 1990) es una medida del estado sucesional ecológico de una comunidad de suelo, valor que se registra en un rango de 1 a 5, valores por debajo de 3 califican mayor disturbio ambiental y de 3 a 5 corresponde suelos con estabilidad ambiental (Hernández, 2013). Se basa en el principio de que los diferentes taxones tienen diferentes sensibilidades al estrés o perturbación de la secuencia sucesional debido a las diferencias de sus características de su ciclo de vida.

El propósito del trabajo fue determinar las comunidades de nematodos de vida libre del suelo y su correspondencia con la calidad agrícola, teniendo en cuenta algunas propiedades físicas y químicas e inferir si los actuales sistemas de manejo están conservando, mejorando o degradando el suelo.

2. Materiales y métodos

Se colectaron en forma de zig-zag cinco muestras de suelos compuestas e indisturbadas (sin afectación del perfil del suelo) por cada uno de los tres municipios correspondiente a diferentes fincas, a una profundidad de 0.20 m. La zona de muestreo correspondió a los municipios de Sampúes (9°11'1.00"N; 75°22'54.12"O), Corozal (9°19'4.01"N; 75°17'44.88"O) y San Juan de Betulia (9°16'32.02"N; 75°14'44.16"O) en el departamento de Sucre, conformado por numerosas sierras y colinas formando ondulaciones que van desde 70 hasta 185 msnm, como lo confirma la *Corporación Autónoma Regional de Sucre* (CARSUCRE, 2002). Los sitios de estudio se escogieron de acuerdo a que las prácticas agrícolas y pecuarias son unas de las principales actividades económicas, de manera que los lugares de muestreo fueron los potreros de las fincas ubicadas en los respectivos municipios.

2.1 Extracción, conteo e identificación de nematodos

Cada una de las muestras de 1 kg se dividió a la mitad, de forma que la extracción de nematodos se hizo a partir de 500 gr de suelo utilizando el método de flotación en azúcar de Jenkins (1964). Extraídos se da muerte y se procede a fijar los nematodos en una solución compuesta de formalina 6%-glicerina 2% implementando el método de (Ryss, 2003); (Seinhorst, 1959). Fijados los nematodos se tomó del vial 1 ml de la suspensión de nematodos, el cual se adicionó a una cámara cuenta nematodos, para proceder con el conteo con la ayuda de un microscopio compuesto Labomed (Lx 400), se repitió el procedimiento dos veces y el promedio de los conteos se multiplicaron por 5 para obtener el número total estimado de nematodos presentes en cada muestra (Coynne, *et al.*, 2007).

Los objetivos de 40X y 100X se utilizó para el conteo, mientras que el de 400X y 1000X se utilizó para la identificación a nivel de género, mediante las claves taxonómicas propuestas por Mai *et al* (1996); Tarjan *et al* (1977); Yeates *et al* (1993) para los análisis de suelo, inicialmente se realizó una descripción del perfil de suelo según *La Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura* (FAO, 2009). Las propiedades físicas-Químicas (porcentaje de humedad, textura, porosidad, pH y materia orgánica) se determinaron teniendo en cuenta la metodología indicada en los métodos analíticos del laboratorio de suelo del *Instituto Geográfico Agustín Codazzi* (IGAC, 2006).

2.2 Índice de madurez total de Yeates (1994)

Este índice se determinó teniendo en cuenta la frecuencia relativa de cada género, los valores c-p asignado y el análisis de los grupos tróficos de la comunidad de nematodos bajo estudio realizados por (Leguizamo & Parada, 2013), los cuales se utilizaron como un indicador holístico del estado general del suelo de los agroecosistemas. Para ello se utilizó la siguiente expresión (1).

$$I. M = \sum_{n=1}^{\infty} v_i * f_i \quad (1)$$

Dónde: v_i = frecuencia relativa del género.
 f_i = valor del c-p para el género.

Para verificar si entre los factores edáficos (%H, %M.O, % Porosidad, pH y % Arena, % Arcilla y % limo) existe relación alguna con la diversidad, se reali-

zó un análisis de redundancia (RDA) que permite estudiar la relación entre dos tablas de variables Y y X. (Rao, 1984). Los datos se procesaron en el software R versión 3.3.1. Haciendo uso de la interface gráfico llamado “BiodiversityR” y de complemento el paquete “vegan” utilizado para el análisis de comunidades ecológicas.

3. Resultados y discusión

Los 4683 individuos identificados pertenecen a 22 géneros y uno no determinado (*c.f Dorylaiminae*), los géneros más abundantes fueron *c.f Dorylaiminae* para suelos de textura franco arcilloso, *Criconemella*, *Helycotilencus* para suelos de textura franco arenosas y el menor número de individuo lo expreso el género *amphidelus* con un total de tres individuos presente en suelos de textura arcillosa. La Tabla 1 refleja los géneros identificados en las tres áreas de muestreo.

La abundancia de nematodos está regida por una textura arenosa y por la cubierta vegetal del suelo, que por el contenido de humedad, el sitio La María en San Juan de Betúlia, registro el menor contenido de humedad con 8.63%, sin embargo presentó la mayor abundancia comparado con los sitios Caño Medina en Corozal y La Fe en San Juan de Betúlia, los cuales presentaron mayor contenido de humedad 32.25% y 32.29% (Tabla 2).

Diferentes estudios realizados por: Jaraba-Navas *et al* (2001); Chávez-Velazco & Araya-Vargas (2009); Olabiyi *et al* (2009); Luna-Guerrero *et al* (2011); Gallardo *et al* (2014) comprueban que la mayor abundancia de nematodos registrados es para suelos con tipo de textura franco arenosa, arenosa; contrario a lo que ocurre en suelos con textura arcillosa, donde su ciclo de vida se ve limitado, en estos el diámetro en la microporosidad es reducido, además su elevada capacidad para retener agua; ocasiona poca aireación,

Tabla 1. Taxones de nematodos identificados número de individuos de los géneros registrados.

Géneros	<i>Dorylaiminae</i> * ¿?	<i>Helicotylencus</i> *	<i>Criconemella</i> *	<i>Pratylenchus</i>	<i>Tylenchorynchus</i>	<i>Tylenchus</i>	<i>Criconema</i>	<i>Acrobeles</i>	<i>Trophurus</i>	<i>Aphelenchus</i>	<i>Rhabditis</i>	<i>Amphidelus</i>	<i>Aphelenchooides</i>	<i>Cephalobus</i>	<i>Discolaimus</i>	<i>Ironus</i>	<i>Monhystera</i>	<i>Panagrolaimus</i>	<i>Paratrophurus</i>	<i>Paratylenchus</i>	<i>Psilenchus</i>	<i>Rotylenchulus</i>	<i>Xiphinema</i>
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23

Nota: los números remplazaran los nombres de los géneros en las figuras (1,2 y 3); * más abundantes; ¿?: género no identificado.

Tabla 2. Parámetros edáficos analizados por sitio de muestreo y número de individuos por clase textural de cada sitio.

Parámetros	LOCALIDADES															
	Sampués						Corozal					San Juan de Betúlia				
	Sitios	Berraquera	H. Los Angeles	Pajonal	San Antonio	La Libanesa	Bajo Grande	Caño Medina	La Pereira	Bélgica	Tumbaburro	La María	El Zulia	La Fé	El Divino	La Querrela
Textura	FrAr	ArL	FrAr	ArL	FrAr	FrAr	Ar	FrArL	FrAr	Fr	FrA	ArL	Ar	ArL	FrAr	
# Nema.	175	208	79	29	225	431	332	78	381	484	671	436	163	407	584	
%M.O	1.96	1.99	0.31	1.21	0.67	1.31	1.23	1.18	3.07	2.27	1.94	2.34	1.29	2.89	1.54	
% P.	42.2	40.2	40.5	42	57.2	35.4	45.4	39.9	40.8	47.7	38.2	36.2	42.2	43.6	39.8	
% H.	26.2	28.3	21.4	29.7	29.7	15.3	32.3	26.9	17.7	20.3	8.63	23.6	32.3	29.8	16	
pH	7.42	6.61	6.56	6.33	6.44	6.45	6.35	6.44	6.43	6.61	6.70	6.72	6.41	6.41	6.8	

Nema: Número de nematodos, FrAr: franco arcilloso, ArL: Arcillo limoso, Ar: arcilloso, FrArL: franco arcillo limoso, Fr: franco, FrA: franco arenoso, %M.O: materia orgánica, %P: porosidad, %H: Humedad.

disminución de oxígeno y la reducción en la micro-porosidad limita el desplazamiento de los nematodos en el suelo. Muñoz (2011) considera que estas condiciones hacen que los niveles de oxígeno sean más bajos y, en consecuencia, el metabolismo, movimiento e infectividad de los juveniles se afecte, además del efecto negativo sobre el crecimiento y reproducción de las hembras. Por esto la baja abundancia de nematodos en el sitio La Fé en San Juan de Betúlia con 163 nematodos.

Los fitófagos predominaron con 58.65%, seguido del gremio omnívoro con 37% y un 4.05% entre los gremios bacterívoros, micófagos y predadores; este último refleja suelos perturbados por las intensificación y mal manejo de las actividades agrícolas y pecuarias implementadas en la zona de investigación (Tabla 3). El predominio del gremio fitófago está relacionado al cultivo de pasto *colosuana Bothriochloa pertusa* (*Poacea*) instalados en los sitios de muestreo junto a otras *Fabaceae* (*Samanea saman*, *Senna obtusifolia*, *Senna occidentalis* y *Mimosa pudica*).

Tabla 3. Representación del número de individuos por gremio trófico.

Gremios tróficos	Número de individuos
Bacterívoros	141
Fitófagos	2,747
Micófagos	38
Omnívoros	1,735
Predadores	22
Total	4,683

Pocos sitios reflejan el mantenimiento de sucesionalidad trófica de estos organismos edáficos para contribuir en la distribución de los nutrientes y minerales del suelo. Para Ferris (2010) estos organismos son responsables de un 30% de la mineralización del nitrógeno en el suelo, siendo el principal servicio que presentan en el ecosistema.

No se encontraron diferencias entre los valores de pH; sin embargo se observó un alto porcentaje de suelos con tendencia de ligera acidez. Se registró un rango de pH 6.33-6.82 para el 93,3% de los sitios y solo un sitio con pH 7.42 clasificando un suelo ligeramente alcalino. Molina & Meléndez (2002) considera de 6 a 7 como pH óptimo para el suelo. Por otro lado, Borges *et al* (2012); Depablos *et al* (2009) reportan disminución de fósforo (P) para (pH 5,0-6,5) por ende se puede ver afectada la disponibilidad de P para las plantas.

Se registra que para los suelos estudiados el 33,33% presentaron baja porosidad, el 53,33% registró rangos de 40,18%-45,35% considerándose como niveles aceptables y el 13,33% registraron suelos con buena porosidad (47,71% y 57,22%). Esta propiedad del suelo determina el crecimiento radicular y la dinámica del aire y del agua, por ende el 67% de los suelos estudiados se encuentran bajo condiciones aceptables para la realización de actividades agrícolas y pecuarias. Sin embargo, la reducción de la porosidad del suelo es debido al pisoteo del ganado bovino y a maquinaria para actividades de labranza.

El 73,33% de los suelos presentaron bajos niveles de materia orgánica teniendo en cuenta el protocolo del IGAC (2006), infiriéndose que habrá bajo nivel nutricional con respecto a los elementos C, P, N y S, además la retención de agua del suelo se ve afectada por estos bajos niveles de M.O. Sin la presencia de estos elementos y disponibilidad de agua, el suelo avanza a la degradación por pérdida de fertilidad atribuidos a un manejo inadecuado.

3.1 Correlaciones entre los parámetros físico-químicos y biológicos de los suelos

Materia orgánica

La materia orgánica es la principal fuente de nutrientes para los organismos del suelo. Los valores fueron bajos, pero el 87% de los géneros representados en la Figura 1a, se observa la dependencia de estos microorganismos por esta fuente nutritiva, tanto para su supervivencia como para contribuir en los ciclos biogeoquímicos, a partir del metabolismo de la materia orgánica se contribuye al ciclo de carbono.

Textura

La textura representativa para la zona de estudio, corresponde a franco arcillosa, encontrándose que el 87% de los géneros son dependientes de suelo con textura liviana (Franco Arenosa, Franco y Franco Arcilloso) Figura 1b; con la excepción de los géneros *Criconemella* y *c.f. Dorylaiminae*.

Porosidad

En la Figura 2a se evidencia que la presencia de los géneros *Helycotilenchus*, *Criconemella* y *c.f. Dorylaiminae* no está limitada por este factor físico del suelo.

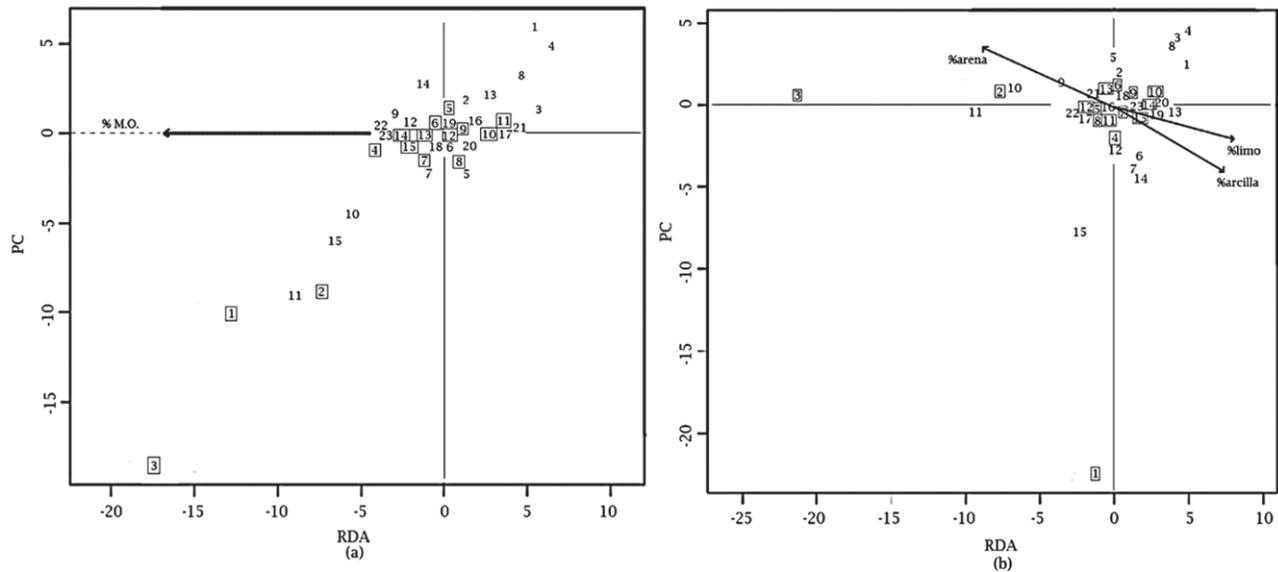


Figura 1. (a) Distribución de los géneros de nematodos con respecto a la materia orgánica del suelo; (b) Distribución de los géneros de nematodos con respecto a la textura del suelo. RDA: Análisis de redundancia, PC: Componente principal. Fincas, 1: nematodos.

Contenido de humedad

El 87% de los géneros identificados son dependiente de este factor para sobrevivir y mantener su relevancia en el ecosistema suelo y así contribuir en la estabilidad física, química, nutricional, y sostenibilidad (Figura 2b).

pH

Los pH registrados para la zona de estudio, califica suelos con reacción ligeramente ácidos. El 78,2% de los géneros encontrados son sensibles a ligeros cam-

bios de pH del suelo, la presencia de los géneros *Tylenchorynchus* y *Rotylenchulus*, en el ecosistema suelo está determinada si el pH del medio es el óptimo para cumplir su ciclo biológico; mientras que los géneros *Helycotilenchus*, *Criconemella* y *c.f. Dorylaimidae*, su presencia en el suelo, no va a estar limitada por leves variaciones de pH (Figura 3).

I.M

El índice de madurez para el agro-ecosistema de San Juan de Betúlia oscilan de 3,15 a 3,74, la locali-

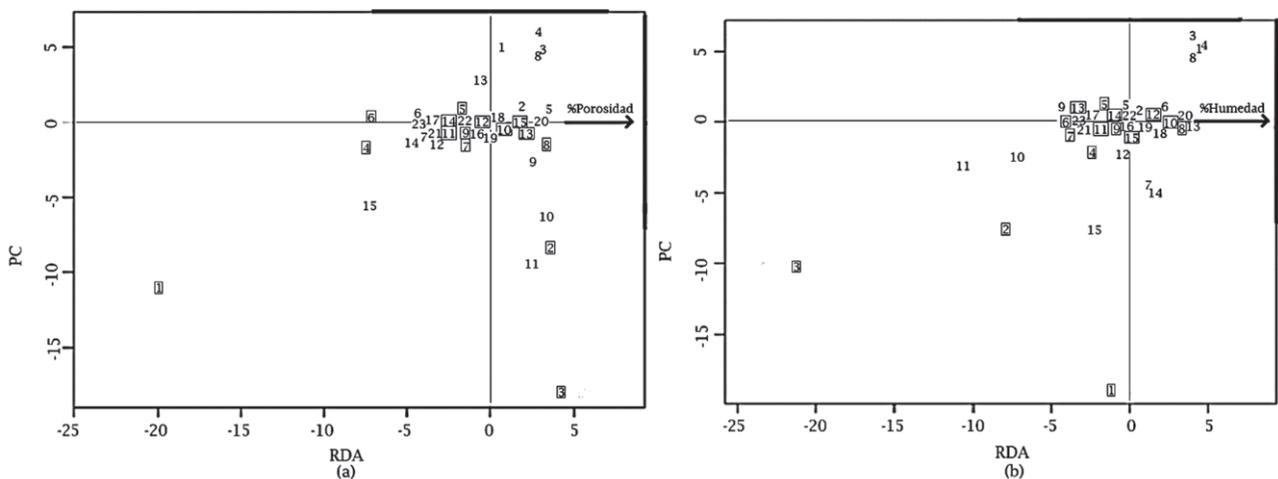


Figura 2. (a) Distribución de los géneros de nematodos con respecto a la porosidad del suelo; (b) Distribución de los géneros de nematodos con respecto a la humedad del suelo. RDA: Análisis de redundancia, PC: Componente principal. Fincas, 1: nematodos.

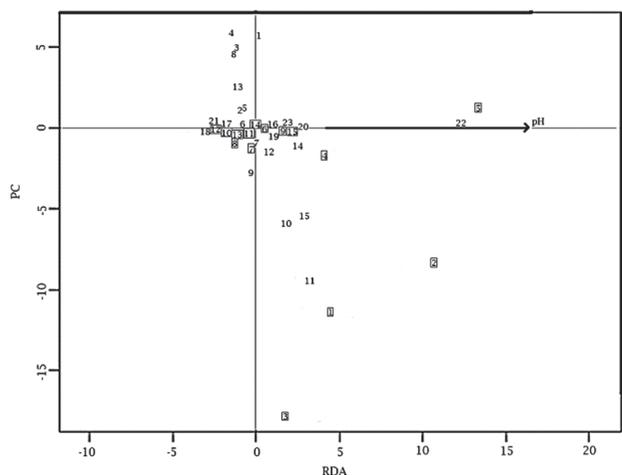


Figura 3. Distribución de los géneros de nematodos con respecto al pH del suelo. RDA. Análisis de redundancia, PC: Componente principal. Fincas, 1: nematodos.

dad de Corozal con rango de 3,12 a 3,56 y Sampués con rango de 3,0 a 3,39 presentaron suelo no perturbados a excepción del agroecosistema San Antonio con valor de 2,34 presentando suelo perturbado (Figura 4). Navas *et al* (2010) expusieron cómo los índices de diversidad clásicos aplicados a las comunidades de nematodos edáficos y los índices de madurez responden a la contaminación del suelo por metales pesados.

4. Conclusiones

Los nematodos de vida libre demuestran ser dependientes de la materia orgánica, para su supervivencia; la gran mayoría de los géneros se presentan con mayor abundancia en suelos de textura liviana (Franco Arenosa, Franco y Franco Arcilloso) en comparación con texturas pesadas. Los géneros encontrados son sensibles a ligeros cambios de pH del suelo, presentan dependencia de la porosidad y humedad del suelo. Los suelos estudiados registraron perturbación de acuerdo al índice de madurez, se recomienda medidas correctivas de manejo para la recuperación, conservación y sostenibilidad del suelo.

5. Referencias bibliográficas

Acevedo, E. 2005. Criterios de calidad de suelo agrícola. Ministro de la Agricultura. Servicio agrícola y ganadero. Gobierno de Chile. 205 p. http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1405-31952009000400009

Astier-Calderón M., Maass-Moreno M. y Etchevers-Barra J. 2002. Derivación de indicadores de calidad de suelos en el contexto de la agricultura sustentable. *Agrociencia*, 36(5):605-620

Blum, W. E. H., Santelises. A. A., 1994. A concept of sustainability and resilience based on soil functions. pp. 535-542. In: DJ Greenland & I Szboles (ed.). *Soil Resilience and Sustainable Land use* CAB Int., Wallingford, Oxon, UK.

Bongers, T., 1990. The maturity index: an ecological measure of environmental disturbance based on nematode species composition. *Oecologia*, 83(1):14-19.

Carter, R., 2002 Soil quality for sustainable land management: organic matter and aggregation interactions that maintain soil functions. *Agronomy Journal*. 94:38.

Chávez-Velazco, C., & Araya-Vargas, M. 2009. Correlación entre las características del suelo y los nematodos de las raíces del banano (*Musa AAA*) en Ecuador. *Agronomía mesoamericana*, 20(2):361-369.

CARSUCRE., 2002. Corporación Autónoma Regional de Sucre. Plan de gestión ambiental regional.

Coyne, D. L., Nicol, J. M., & Claudius-Cole, B. (2007). *Nematología práctica: Una guía de campo y de laboratorio*. IITA.

Culman, S. W., Young-Mathews, A., Hollander, A. D., Ferris, H., Sánchez-Moreno, S., O'Geen, A. T., Jackson, L. E., 2010. Biodiversity is associated with indicators of soil ecosystem functions over a landscape gradient of agricultural intensification. *Landscape ecology*, 25(9):1333-1348.

Depablos, L., Godoy, S., Chicco, C., Ordoñez. J., 2009. Nutrición mineral en sistemas ganaderos de las sabanas centrales de Venezuela. *Zoot. Trop.* 27(1):27-35.

Dexter, A. R., 2004. Soil physical quality. Part I. Theory, effect of soil texture, density and organic matter, and effect on root growth. *Geoderma*. 120:201.

Doran, J. W., Parkin T. B., 1994. a,b,c,d. Defining and assessing soil quality. In: Doran J. W., Coleman D. C., Bezdicek D. C. y Stewart B. A. (eds). 1994. *Defining and Assessing Soil Quality for Sustainable Environment*. Soil Science Society

- of America. Special Publication 35. Madison, Wisconsin, USA.
- Etchevers, J., Hidalgo, C., Vergara, M., Bautista, M., Padilla, J. 2009. Calidad de suelo: conceptos, indicadores y aplicación en agricultura. En: López Blanco J. y Rodríguez-Gamiño M. de L. 2009. Desarrollo de indicadores ambientales y de sostenibilidad en México. Ed. Universidad Nacional Autónoma de México UNAM Colección Geografía para el siglo XXI. Serie Libros de Investigación, No. 3. 196 p.
- FAO, 2009. Guía para la descripción de suelos. Consultado en. <http://www.fao.org/3/a-a0541s.pdf>
- Ferris, H., 2010. Contribution of nematodes to the structure and function of the soil food web. *Journal of nematology*, 42(1):63.
- Gallardo, J. A. M., Valdés, T. D., Ruvalcaba, L. P., Molar, R. A., Torres, J. B. V., Fasio, J. A. C. 2014. Nematodos fitoparásitos y su relación con factores edáficos de papaya en Colima, México. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 6(1):251-257.
- USDA., 1999. Guía para la evaluación de la calidad y salud del suelo. Departamento de Agricultura.
- Hernández, M. S. A. E. 2013. Nematodos como indicadores ambientales. Consultado en. <http://www.repositorio.una.ac.cr/handle/11056/7460>
- IGAC., 2006. Métodos analíticos del laboratorio de suelo. (6ta Edición).
- Jaraba-Navas, J. D., Guzmán Plazola, R., Caswell Chen, E., Zavaleta Mejía, E., Cid del Prado Vera, I., 2001. Especies y razas de *Meloidogyne* asociadas al cultivo del tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) en el Estado de Morelos, México. Colegio de Posgraduados, Campus Montecillo, Instituto de Fitosanidad, Especialidad en Fitopatología.
- Jenkins, W. 1964. A rapid centrifugal-flotation technique for separating nematodes from soil. *Plant disease reporter*, 48(9):692.
- Karlen, D. L., Mausbach, M. J., Doran, J. W., Cline, R. G., Harris, R. F., & Schuman, G. E. 1997. Soil quality: a concept, definition, and framework for evaluation (a guest editorial). *Soil Science Society of America Journal*, 61(1):4-10.
- Larson, W. E., Pierce, F. J. 1991. Conservation and Enhancement of Soil Quality. In Evaluation for sustainable land management in the developing world. En Proc. of the Int. Work-shop on Evaluation for Sustainable Land Management in the Developing World, Chiang Rai. pp. 175-203. 15-21. Int. Board of Soil Res. and Manage., Bangkok, Thailand.
- Leguizamó, M. C., Parada, J. C. 2013. Nematodos del suelo en el sistema maíz-soya y en hábitats naturales adyacentes de la Altillanura colombiana Meta. *Revista Corpoica Ciencia y Tecnología Agropecuaria*, 9(1):61-65.
- Luna-Guerrero, A. Y., Roberto Montes-Belmont, Talavera-Rubia, M. F., Flores-Moctezuma, H. E., Bravo-Luna, L. 2011. Preliminary study of biotic and abiotic factors associated with peach tree death in morelos, México. *Nematropica*, 41(2):254-262.
- Mai, W. F., Lyon, H. H., 1962. Pictorial key to genera of plant parasitic nematodes. Pictorial key to genera of plant parasitic nematodes.
- McSorley, R., and J.J. Frederick. 1996. Nematode community structure in rows and between rows of a soybean field. *Fundamental and Applied Nematology* 19:251-261.
- Molina, E., Meléndez, G. 2002. Tabla de interpretación de análisis de suelos. Centro de Investigaciones Agronómicas, Universidad de Costa Rica. Mimeo.
- Muñoz, N. L. A. 2011. Efecto del tipo de suelo, la concentración de materia orgánica y la incorporación de un hidrogel en la infestación de *Meloidogyne hapla* Chitwood, 1949. Tesis doctoral. Universidad Austral de Chile. 60 p.
- Navas, A., Flores-Romero, P., Sánchez-Moreno, S., Camargo, J. A., McGawley, E. C. 2010. Effects of heavy metal soil pollution on nematode communities after the Aznalcóllar mining spill. *Nematropica*, 40(1): 13-30.
- Nortcliff, S. 2002. Standardisation of soil quality attributes. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 88:161-168.
- OECD., 1991. Organization for Economic Co-Operation and Development Environmental indicators for agriculture. Methods and Results. Organization for Economic Co-Operation and Development, Paris, Francia.

- Olabiya, T. I., Olayiwola, A. O., Oyediran, G. O., 2009. Influence of soil textures on distribution of phytone-matodes in the south western Nigeria. *World Journal of Agricultural Sciences*, 5(5):557-560
- Sánchez-Maranon, M. and others. 2002. Soil quality in Mediterranean mountain environments: effects of land use change. *Soil Science Society of America Journal*, 66:948.
- Sánchez-Moreno, S., Talavera, M., 2013. Los nematodos como indicadores ambientales en agroecosistemas. *Revista Ecosistemas*, 22(1):50-55.
- Rao, C. R., 1984. The use and interpretation of principal components analysis and applied research. *Sankhya*, 26:329-358.
- Rotenberg, D. A., Jiménez-Wells, E. J., Chapman, A. E., Whitfield, R. M., Goodman, L. R., 2007. Soil properties associated with organic matter-mediated suppression of bean root rot in field soil amended with fresh and composted paper mill residuals. *Soil Biol. Biochem.* 39:2936-2948.
- Rubiano, Y., and others. 2004. Sistema georreferenciado de indicadores de calidad de suelos para los llanos orientales de Colombia, estudio del caso: municipio de Puerto López, Meta. En: *Memorias XVI Congreso Latinoamericano-XII Congreso Colombiano de la Ciencia del Suelo*. Colombia.
- Ryss, A. Y. 2003. Express technique to prepare permanent collection slides of nematodes. *Zoosystematica Rossica*, 11(2):257-260.
- Seinhorst, J. W. 1959. A rapid method for the transfer of nematodes from fixative to anhydrous glycerin. *Nematologica*, 4(1):67-69.
- Seybold, C. A., Mausbach, M. J., Karlen, D. L., Rogers, H. H., 1997. Quantification of Soil Quality. En *Soil Process and the Carbon Cycle* (eds. Lal, R., Kimble, J.M., Follet, R.F. y Stewart, B.A.), pp. 387-403, CRC Press, Boca Raton, Florida.
- Spellerberg, I. F. 1991. *Monitoring ecological change*. Cambridge University Press, UK, 334 pp.
- Tarjan., Armen., Esser., Robert, & Shih, C. (1977). *Interactive Diagnostic Key to Nematodes*
- Yeates, G. W., Bongers, T., De Goede, R. G. M., Freckman, D. W., Georgieva, S. S., 1993. Feeding Habits in Soil Nematode Families and Genera-An Outline for Soil Ecologists. *Journal of Nematology*, 25(3):315-331.
- Yeates, G.W. 1994. Modification and qualification of the nematode maturity index. *Pedobiología*, 38:97-101.