

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO



FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES
IZTACALA

"EFECTO DEL PETRÓLEO SOBRE LA DIVERSIDAD
TRÓFICA DE NEMÁTODOS DEL SUELO"

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE

BIÓLOGA

P R E S E N T A

RAMÍREZ MONDRAGÓN CANDÍS DANIELA

DIRECTOR DE TESIS:

DR. SALVADOR RODRÍGUEZ ZARAGOZA

LOS REYES IZTACALA, EDO. DE MÉXICO, FEBRERO, 2010



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

DEDICATORIAS

A mis padres

Juanito y Juanita que me han apoyado incondicionalmente en todas las decisiones que he tomado y nunca han perdido la fe en mi, además de haberme dado todo su amor, confianza y libertad para ser lo que soy y haberme enseñado a luchar para cumplir mis sueños.

A mis hermanitos

Agus y **Lu** que son el mejor ejemplo a seguir y que hemos pasado muchos maravillosos momentos, me han enseñado un amor muy grande por la lectura.

A la pandilla

Especialmente a la banda micro que son mi familia académica (**Laura**, **Sandra**, Tere, Miguel, Alonso, Chuchito, Ana, Abrid, Sergiru, Daniel y Jaime. A los profesores: **Salvador**, Ramón y Víctor; y alas nuevas adquisiciones académicas: Erik, Anahí, Samantha)

A la otra Banda

Ariadna, Francis (Paco), Lupis, Graciela, Jaqueline, Cindy, Monse, Shara, Isabel y Almaneli que estuvieron en momentos difíciles y que compartimos muy buenos momentos en las prácticas de campo dentro y fuera del salón de clases. A Martín Ramírez Pérez que siempre me brindo palabras de aliento y nunca me dejó sola, por soportar muchos de mis momentos de histeria y desesperación.

AGRADECIMIENTOS

Al profesor Salvador un agradecimiento especial por que me mostró el amor por el conocimiento y por el suelo, también por darme la oportunidad de formar parte de su equipo de trabajo, siempre esta lleno de sorpresas (¿Cuál es la pregunta?, ¿para cuando comemos mole?). Y por ser un muy buen amigo. Gracias

A mis sinodales:

Dr. Daniel Muñoz Iniestra

M. en C. Francisco López Galindo

Dr. Víctor Manuel Rivera Aguilar

M. en C. María de los Ángeles Sanabria Espinosa

Gracias Lauris por llevarme a correr todos los días y hacerme adicta a las sonrisas, a los buenos momentos y a compartir conmigo momentos de tu vida.

Sandrilla gracias por estar conmigo y abrirme los ojos para hacerle frente a las situaciones difíciles, por ayudarme con mi trabajo de tesis.

ÍNDICE

| | |
|---|-----------|
| Resumen | |
| Introducción | 1 |
| Antecedentes | 4 |
| Justificación | 5 |
| Hipótesis | 5 |
| Objetivos | 5 |
| Materiales y métodos | 6 |
| ❖ Zona de estudio | 6 |
| ❖ Recolección del suelo para el mesocosmos | 7 |
| ❖ Preparación de los mesocosmos | 8 |
| ❖ Extracción de nemátodos | 8 |
| ❖ Identificación de nemátodos | 9 |
| ❖ Índices ecológicos | 10 |
| Resultados | 12 |
| ❖ Abundancia de los organismos | 12 |
| ❖ Índices ecológicos por tratamiento | 18 |
| ❖ Diversidad de grupos tróficos en cada tratamiento | 20 |
| ❖ Índice de similitud de Sorensen | 22 |
| ❖ Análisis grupal | 23 |
| Discusión | 25 |
| Conclusión | 32 |
| Referencias | 33 |
| Anexos | 37 |

RESUMEN

La estructura de la comunidad de nemátodos proporciona un instrumento eficiente para indagar el funcionamiento del edafón. Los cambios en la comunidad de nemátodos operan en respuesta a impactos ambientales como la contaminación del suelo, producida por derrames petroleros. Por lo tanto el objetivo de este trabajo fue evaluar el efecto de diferentes concentraciones de petróleo sobre la diversidad trófica de nemátodos del suelo. Con una muestra compuesta se realizaron mesocosmos con diferentes concentraciones de petróleo (0, 3000, 6000, 9000, 12000 ppm). Los nemátodos fueron extraídos por el método del embudo de Baerman, se realizaron los siguientes índices ecológicos Shannon-Weaver, Sørensen, Índice de Madurez, Índice de Wasilewska, Índice de Simpson, Relación fungívoro/bacterívoro, Diversidad trófica, Análisis grupal. El número total de organismos encontrados en el estudio fue de 166 los cuales pertenecen a los siguientes grupos tróficos: asociados a raíces (**AR**), ectoparásitos de raíces (**ER**), patógeno (**P**), bacterívoro (**B**), fungívoro (**F**), omnívoro (**O**), omnívoro/alguívoro (**OA**) y depredador (**D**). Los grupos tróficos más frecuentes en todas las concentraciones fueron **B** y **AR**. Lo que se esperaba era una disminución de la diversidad trófica al aumentar la concentración del contaminante. No se observa una pérdida de la diversidad, pero si un cambio en la comunidad de nemátodos. La estructura trófica de la comunidad de nemátodos provee una medida del estado de las condiciones ecológicas del suelo.

INTRODUCCIÓN

El suelo es material no consolidado compuesto por partículas inorgánicas de minerales de varios tamaños, formas y características físicas, materia orgánica, agua, gases, organismos y raíces de las plantas, que juntos interactúan en la formación del suelo; comprende la capa superior de la superficie terrestre hasta diferentes niveles de profundidad. Es la base esencial de la vida humana, sitio de producción agrícola, forestal y un elemento que constituye el paisaje como un reflejo de la historia y cultura de la civilización (Gobat *et al.*, 2004, Paul y Clark, 1989)

De acuerdo con sus funciones naturales, el suelo es un soporte para los organismos vivos, regulador de cambios y flujo de energía en el ecosistema, sitio de transformación de materia orgánica y sistema purificador de sustancias tóxicas (Gobat *et al.*, 2004). Las poblaciones microbianas juegan un papel muy importante en las actividades metabólicas, flujo de energía, ciclo de nutrientes asociado a la producción primaria (Paul y Clark, 1989); dentro del edafón se reconocen cuatro grupos de microorganismos: bacterias, hongos, microalgas y protozoarios (Coleman *et al.*, 2004) los cuales participan significativamente en los procesos de descomposición de materia orgánica del suelo así como en el reciclaje de los nutrientes.

La mesofauna del suelo también juega un papel importante en los efectos físicos y químicos de las propiedades del suelo en los detritos y sobre las estructuras de las comunidades microbianas. Uno de los grupos más importantes de la mesofauna es el de los nemátodos (Paul y Clark, 1989). Estos organismos son los metazoarios más numerosos en el suelo. Su número se estima en aproximadamente un millón por metro cuadrado; tienen un tamaño de 0.05 mm-2 mm de largo (Paul y Clark, 1989); su cuerpo es cilíndrico, cutícula transparente, sus estructuras reproductivas son complejas, y se reproducen sexualmente, el tracto digestivo consiste en un estoma con estilete, intestino,

recto y ano. Los nemátodos de vida libre tienen amplios hábitos alimenticios, por lo que la forma del aparato bucal está relacionada con el tipo de alimentación (Coleman *et al.*, 2004). Los nemátodos han sido clasificados en los siguientes grupos tróficos: bacterívoros, fungívoros, fitoparásitos, depredadores y omnívoros entre otros (Coleman *et al.*, 2004), por lo cual son considerados como buenos indicadores del estado del suelo, además de que poseen ciclos de vida cortos, son muy sensibles a impactos externos (Koehler, 1992).

El análisis de la estructura de la comunidad de nemátodos se usa más como una herramienta en ecología del suelo. La estructura de su comunidad proporciona un instrumento eficiente para las medidas biológicas de la calidad y funcionamiento del edafón. Las diferentes respuestas de las especies que constituyen la comunidad de nemátodos pueden indicar su única y crítica participación en el ciclo de nutrientes y en el flujo de la energía (Porazinska *et al.*, 1999).

Los nemátodos ocupan posiciones en la red trófica del suelo como consumidores primarios, secundarios y/ o terciarios (Wasilewska, 2004). Constituyen uno de los componentes más importantes en la fauna del suelo y se ubican en al menos cinco grupos funcionales mencionados anteriormente (Yeates *et al.*, 1993)

Los nemátodos fitófagos se alimentan de material vegetal, siendo estos organismos los más conocidos a causa del daño que ocasionan a los cultivos. Los nemátodos bacterívoros y fungívoros consumen bacterias y hongos respectivamente y están involucrados indirectamente en la descomposición y mineralización del nitrógeno debido a su interacción con la microfauna y microflora (Neher, 2001; Neher y Campbell, 1994). Los nemátodos depredadores se alimentan de otros grupos funcionales de nemátodos y de invertebrados, mientras que los omnívoros incorporan fuentes de alimentación variada que incluyen organismos de origen vegetal (Yeates *et al.*, 1993).

Además la nematofauna del suelo contribuye hasta con un 19% del nitrógeno (**N**) total disponible en el suelo, con su excreción (Neher, 2001)

Los cambios en la comunidad de nemátodos operan en respuesta a impactos ambientales como la degradación del suelo. La cual propicia a su vez la pérdida de la complejidad del sistema. Dentro de esta problemática encontramos a los compuestos más comúnmente involucrados en la contaminación del suelo como los agroquímicos algunos gases y el petróleo.

El petróleo crudo es una mezcla extremadamente compleja y variable de compuestos orgánicos hidrocarbonatos, que varían en peso molecular desde el gas metano hasta los altos pesos moleculares de alquitranes y bitúmenes. Estos hidrocarburos pueden presentarse en un amplio rango de estructuras moleculares: cadenas lineales y ramificadas, anillos sencillos, condensados o aromáticos.

La transformación y degradación de los compuestos orgánicos en el ambiente está influenciada por un número de factores que se pueden agrupar en aquellos que afectan el crecimiento y metabolismo de los microorganismos y aquellos que afectan al compuesto en sí mismo. La biodegradación de los hidrocarburos está asociada con el metabolismo y crecimiento microbiano, y por lo tanto cualquiera de los factores que afectan al crecimiento microbiano puede influenciar la degradación de los hidrocarburos. Además de que los microorganismos están fuertemente relacionados con la mesofauna y por ende con los nemátodos que se alimentan de dichos organismos (Vargas *et al.*, 2004). Por tal motivo la pregunta que se desea contestar es ¿Cuál es el efecto del petróleo crudo a diferentes concentraciones sobre la diversidad trófica de nemátodos del suelo?

ANTECEDENTES

En estudios de nemátodos de suelo como el realizado por Venette y Ferris (1996) confirmaron que el crecimiento de la población de nemátodos bacterívoros está fuertemente ligado a la ingesta de la biomasa de bacterias. Kuperman (1998) encontró que las diferentes concentraciones de contaminación con metales pesados afectaban de manera negativa las relaciones entre biomasa fúngica/nemátodos fungívoros y entre biomasa bacteriana /nemátodos bacterívoros; esto se debió a que había menos contenido de materia orgánica en el suelo. Porazinska y colaboradores (1999) observaron que al agregar en dos fases y en diferentes épocas del año estiércol en suelos de cultivo de cítricos; la comunidad de nemátodos incrementaba; así mismo evaluaron los grupos tróficos de nemátodos que estaban presentes en las parcelas que fueron sometidas a dicho tratamiento y de qué manera se relacionan con la descomposición del estiércol ya que había un incremento de la materia orgánica y por tanto de biomasa.

JUSTIFICACIÓN

El petróleo afecta de una manera negativa las propiedades biológicas, físicas y químicas del suelo, provocando una baja producción, así como también determina que especies se encuentran en el suelo contaminado, ya que los nemátodos son indicadores y de que manera actúan en el flujo de la energía y como interactúan con otros organismos en la mineralización de nutrientes. Por consiguiente es importante determinar que especies de nemátodos son resistentes para comprender como participan en la degradación de contaminantes como el petróleo y mejorar la productividad del suelo.

HIPÓTESIS

A una mayor concentración de petróleo habrá una disminución de la diversidad trófica de nemátodos del suelo.

OBJETIVO GENERAL

Evaluar el efecto de diferentes concentraciones de petróleo sobre la diversidad trófica de nemátodos del suelo.

OBJETIVOS PARTICULARES

Determinar la diversidad trófica de nemátodos en un suelo contaminado con diferentes concentraciones de petróleo.

Determinar la similitud entre las especies de los grupos tróficos en los diferentes tratamientos.

Comparar la diversidad trófica de especies de nemátodos en un suelo contaminado con diferentes concentraciones de petróleo.

MATERIALES Y METODOS

Zona de estudio

Juan Rodríguez Clara está ubicado en la zona sur del estado de Veracruz, en las coordenadas 18°00' de latitud Norte y 95°24' de longitud Oeste, a una altura de 95 msnm (Fig.1). Limita al Norte con el municipio de Hueyapan de Ocampo; al Este con Acayucan y San Juan Evangelista; al Sur con el Estado de Oaxaca; al Oeste con Playa Vicente e Isla. Su distancia aproximada al Sureste de la capital del Estado es de 335 km por carretera. El clima del municipio es cálido-regular con una temperatura promedio de 25°C; la precipitación promedio anual es de 1,266 mm. La zona de estudio esta ubicada en la zona sur del Estado, en las estribaciones de San Juan a Papaloapan, siendo la morfología variada, predominando las planicies. Se encuentra regado por pequeños ríos, como el San Juan, que son tributarios del río Papaloapan. Los ecosistemas que coexisten en el municipio son el de selva alta perennifolia con chicozapote, zapote mamey, guayacan y hule, donde se desarrolla una fauna compuesta por poblaciones de armadillos, ardillas, conejos y tejones. Su riqueza está representada por minerales como la arena y arcilla. El suelo es de tipo regosol, se caracteriza por no presentar capas distintas, tiene tonalidades claras y es muy susceptible a la erosión. El 60% del territorio municipal es dedicado a la agricultura, un 35% a la ganadería y un 5% para la zona urbana. (<http://emexico.gob.mx/work/EMM04/Veracruz/index.html>).

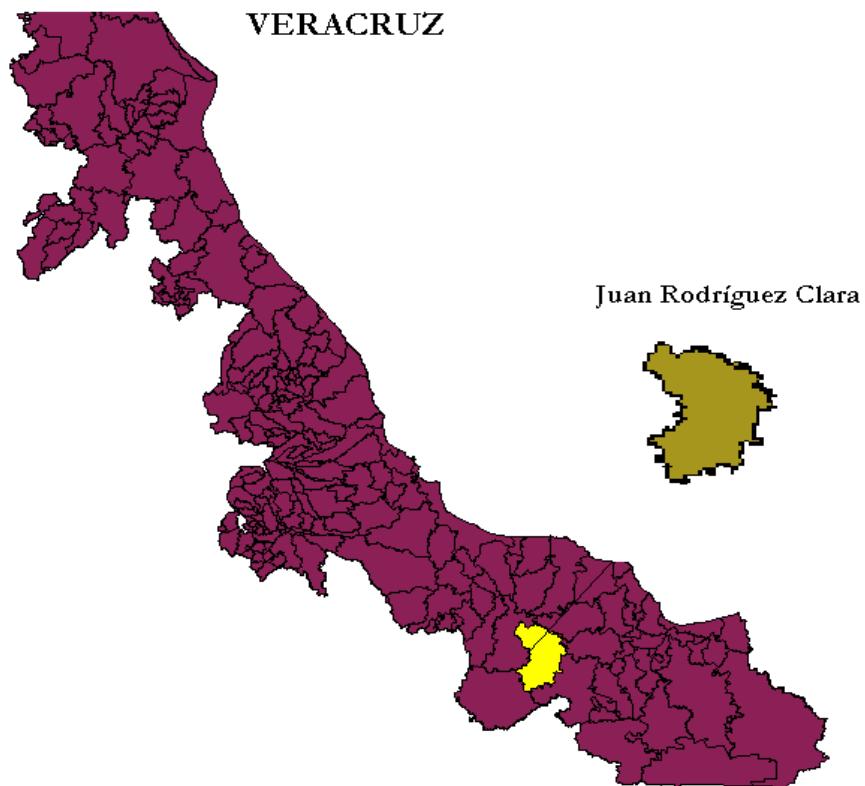


Fig. 1. Zona de estudio

Recolección del suelo para el mesocosmos

Se realizó un muestreo en zig-zag del suelo de cultivo donde se tomaron muestras de seis puntos con una profundidad de 0 a 15 cm. Estas muestras se tamizaron, mezclaron y homogenizaron para así obtener una muestra compuesta del lugar, se depositaron en bolsas de polietileno autosellables en las que se transportaron, al laboratorio de microbiología donde se almacenaron a 4 °C hasta el momento de su análisis.

Preparación de los mesocosmos

La mezcla compuesta de suelo se dividió y cada fracción fue contaminada con diferente concentración de petróleo crudo: 3000, 6000, 9000 y 12000 ppm, además de un control. Estas concentraciones de petróleo fueron elegidas con la finalidad de crear condiciones limitantes para el establecimiento de las plantas.

Posteriormente el suelo contaminado con las diferentes concentraciones de petróleo y el control se colocó en charolas de plástico, realizando tres repeticiones respectivamente dando un total de 15 mesocosmos. En estos mesocosmos fueron sembradas dos especies de semilla: *Brachiaria brizantha* (Gramínea) y *Clitoria ternatea* (leguminosa), con dos ciclos de cultivo por un año bajo condiciones de invernadero. Este suelo y las plantas están siendo utilizados en un proyecto mayor que se realiza en el Laboratorio de Fertilidad de Suelos, del Colegio de Posgraduados. El invernadero se encuentra en las instalaciones de dicho colegio.

Extracción de nemátodos

Se realizó un submuestreo en los mesocosmos al inicio del segundo ciclo de siembra de las plantas (un año después de contaminados, octubre del 2008). Se tomaron 100 g de suelo de 0-15 cm de profundidad de cada uno de los mesocosmos. El suelo fue colocado en bolsas y transportado al laboratorio de microbiología de la UBIPRO. Para la extracción de los nemátodos el suelo fue tratado por el método del embudo de Baerman (Hall, 1996), que consistió en un embudo de cristal al cual se le conectó un pedazo de manguera flexible asegurada con una abrazadera y un clip de tornillo. Dentro del embudo se colocó un filtro de tela, y se montó en un soporte. Posteriormente se colocaron los 100 g de suelo de las tres repeticiones de cada microcosmos en embudos diferentes y se les agregó agua destilada hasta inundar las muestras. Este dispositivo de filtración se mantuvo por 48 H aproximadamente, posteriormente

se colectaron 100 ml del filtrado en frascos ámbar. El filtrado fue fijado con formol al 4% para la preservación de los nemátodos (Margesin, 2005).

Identificación de nemátodos

De la solución filtrada y fijada se tomaron 5 submuestras de 5 ml cada una. Estas submuestras fueron revisadas con el microscopio invertido a 10x y 20x con la finalidad de contar a los organismos. Posteriormente se tomó a cada individuo observado y se realizaron preparaciones solo con agua destilada para observarlas en el fotomicroscopio de contraste de fases a 10x, 40x y 100x. Para la determinación de las especies se utilizaron las claves interactivas de la Universidad de California¹, y las de Krall (1985) y Mohammad (1992). con base en la morfología del aparato bucal se determinó el grupo trófico de cada individuo (asociados a raíces (**AR**), ectoparásitos de raíces (**ER**), patógeno (**P**), bacterívoro (**B**), fungívoro (**F**), omnívoro (**O**), omnívoro/alguívoro (**OA**) y depredador (**D**)), según la clave de Yeates *et.al.* (1993). En algunos casos, los nemátodos fueron identificados sólo hasta género, y a las especies no identificadas se les denominó como especie (n).

<http://nematode.unl.edu/key/nemakey.htm>

<http://www.ufv.br/dfp/disciplinasG/fip320/claveNematoides/index.html>,

<http://plpnemweb.ucdavis.edu/Nemaplex/Taxadata/Famkey.htm>

<http://plpnemweb.ucdavis.edu/nemaplex/ecology/bioindicators.htm>

ÍNDICES ECOLÓGICOS

Las características de las comunidades de nemátodos se analizaron a través del número de taxa, abundancia absoluta, abundancia relativa y diversidad por grupo trófico y tratamiento con el índice de Shannon-Weaver (H') el cual le da más peso a las especies raras: $H' = \sum -P_i (\log P_i)$, donde el P_i es la proporción de taxa en el total de la población.

Para estimar la similitud entre los diferentes tratamientos se realizó el análisis de similitud de Sørensen con el programa PCORD[®] versión 4 para Windows[®] considerando sólo las categorías presencia-ausencia de las especies encontradas en los tratamientos y el control.

También se calcularon los siguientes índices

a) Índice de Madurez **IM** (Bongers, 1990). Fue calculado como una medida de los valores de los taxa de los nemátodos: $\sum v(i) \cdot f(i)$, donde $v(i)$, es el colonizador-persistente **c-p**, i es el valor asignado a cada taxón y $f(i)$ es la frecuencia del taxón i en la muestra. Para el **IM** fueron omitidas las especies en las cuales no fue posible identificar a que familia pertenecían.

b) Índice de Wasilewska. Calcula la proporción de los grupos tróficos que componen la comunidad de nemátodos; principalmente fungívoros, bacterívoros y parásitos. $WI = (FF+BF)/PP$ (Wasilewska, 2004).

c) Relación fungívoro/bacterívoro (**F/B**), $F/B = FF/BF$ (Twinn, 1974).

d) Diversidad trófica (**T**), $T = 1/\sum P_i^2$ donde P_i es la proporción de **i-t** del grupo trófico de la comunidad de nemátodos (Heip *et al.* 1988).

e) Índice de Simpson, que da más peso a las especies comunes, $S = 1/\sum (n_i/N)^2$.

f) Análisis grupal utilizando el programa PCORD[®] versión 4 para Windows[®]. El programa realizó una determinación de la distancia Euclidiana. Los valores representan la suma de los individuos encontrados en las tres repeticiones para hacer el análisis por grupos.

Finalmente se analizaron las diferencias entre los grupos tróficos de nemátodos con un análisis de varianza (**ANOVA**) utilizando los valores de diversidad del índice de **Shannon-Weaver** y una prueba de **Ji**-cuadrada, que fue utilizada para determinar si existían diferencias significativas entre los distintos tratamientos ($P < 0.05$).

RESULTADOS

Abundancia de los organismos

El número total de organismos encontrados en el estudio fue de 166; la mayor cantidad de ellos se encontró en el control, seguido de la concentración de 6000 ppm, mientras que la menor cantidad de organismos se presentó en la concentración de 3000 ppm. Se encontró diferencia significativa entre el número de individuos de las comunidades de nemátodos de los diferentes tratamientos ($P < 0.05$). La abundancia relativa es 14.67 organismos en el control, 5.33 organismos en la concentración de 3000, 13.67 organismos en la de 6000, 9 organismos en la de 9000 y 12.67 organismos en la concentración de 12000 ppm, todos en 100 g^{-1} de suelo seco (Figura 2).

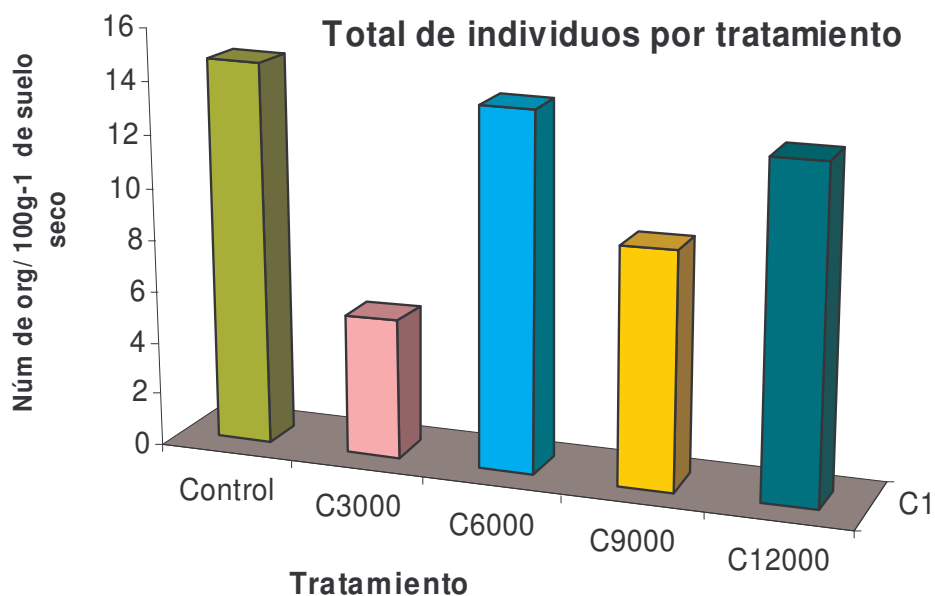


Fig. 2 Número total de organismos en 100 g^{-1} de suelo seco en las diferentes concentraciones de petróleo (C = ppm).

Se identificaron en total ocho grupos tróficos que son los siguientes: asociados a raíces (**AR**), ectoparásitos de raíces (**ER**), patógeno (**P**), bacterívoro (**B**), fungívoro (**F**), omnívoro (**O**), omnívoro/alguívoro (**OA**) y depredador (**D**).

En el **control** se presentaron seis grupos tróficos: **AR**, **ER**, **P**, **B**, **F** y **D**, siendo el grupo **B** el más abundante; **AR** y **ER** son los menos abundantes (Figura 3).

En la concentración de **3000** ppm solo estuvieron presentes tres grupos **AR**, **B** y **OA**. Este último aparece por primera vez en esta concentración, siendo el más raro. El grupo trófico más abundante es el grupo **B**. Desaparecen **ER**, **P** y **F** (Figura 3).

La concentración de **6000** ppm presenta seis grupos, en esta concentración aparece el grupo **O**. Desaparecen los grupos **ER** y **P**. El grupo trófico con mayor número de organismos es el grupo **B** y el grupo menos abundante es el grupo **OA** (Figura 3).

La concentración de **9000** ppm cuenta con cinco grupos tróficos, desaparecen los grupos **ER**, **P** y **D**. El grupo **B** es el más abundante y los menos abundantes son los grupos **O** y **OA**.

La concentración de **12000** ppm presenta seis grupos tróficos donde se observa el mayor número de organismos del grupo **AR** seguido del grupo **F**, por otro lado el grupo **ER** es el menos y desaparecen los grupos **P** y **OA**.

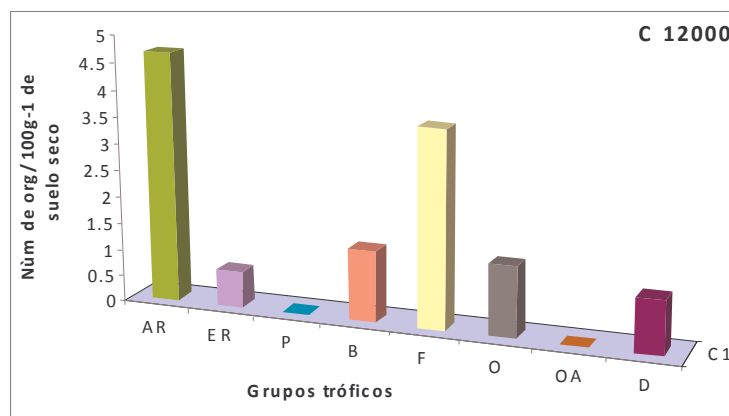
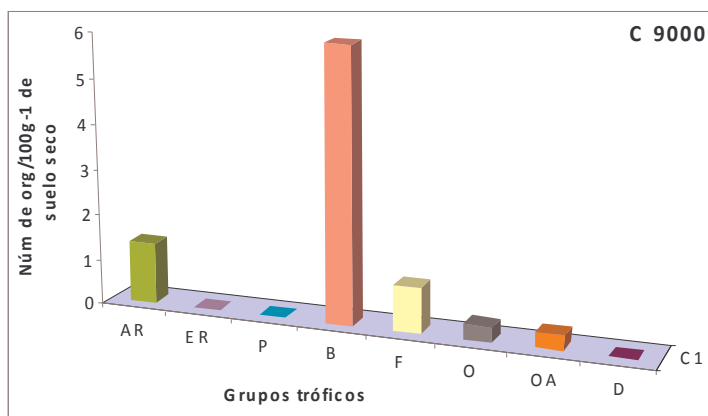
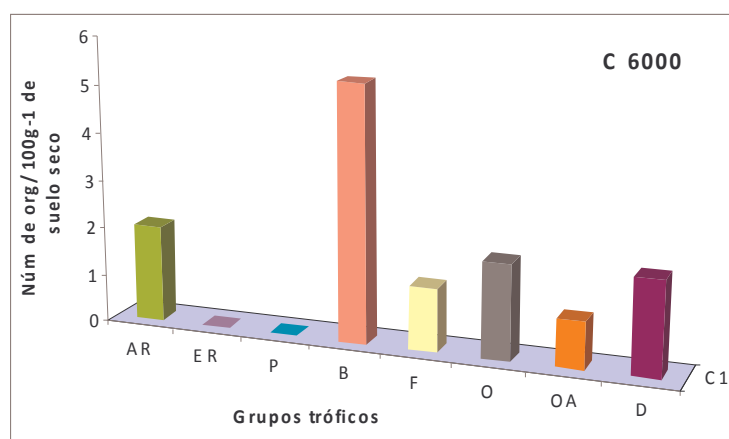
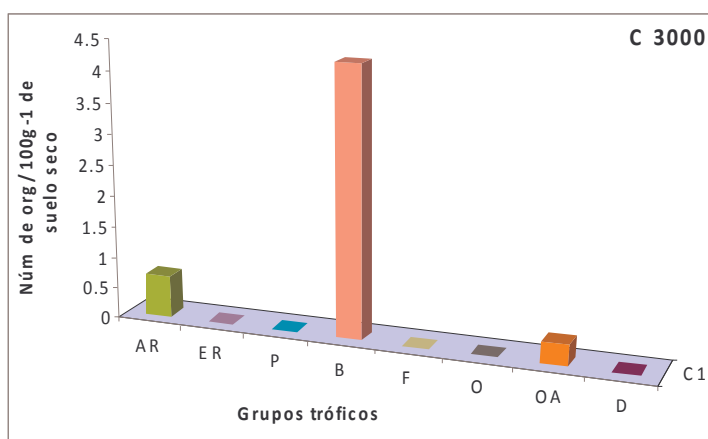
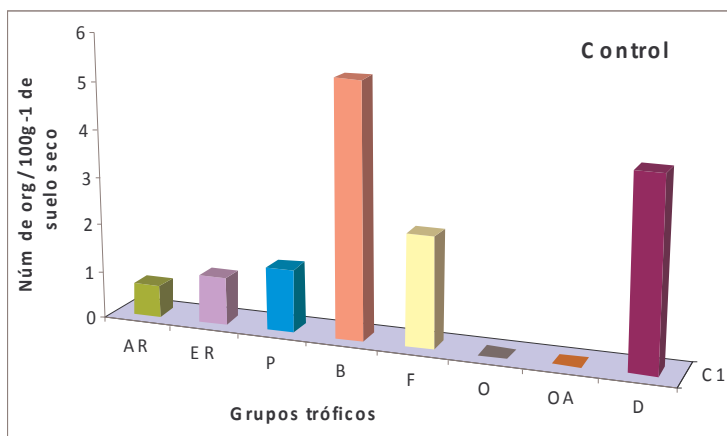


Fig. 3 Densidad de nemátodos del suelo de los grupos tróficos colectados en las muestras de las diferentes concentraciones de petróleo crudo (3000, 6000, 9000 y 12000 ppm) y el control. **AR** asociado a raíz, **ER** ectoparásito de raíz, **P** patógeno, **B** bacterívoro, **F** fungívoro, **O** omnívoro, **OA** omnívoro/alguívoro y **D** depredador.

Se identificaron en total 17 familias y 34 especies de nemátodos; de las cuales 13 son bacterívoros (**B**), 9 asociados a raíz (**AR**), 5 fungívoros (**F**), 1 omnívoro/alguívoro (**OA**), 2 omnívoros (**O**), 1 ectoparásito de raíz (**ER**), 2 depredadores (**D**), 1 patógeno (**P**). La familia con mayor cantidad de especies registradas fue Cephalobidae.

Los valores de *c-p* (colonizadores-persistentes) indican las diferentes estrategias de vida de los nemátodos, los valores van de 1 a 5.

cp1: ciclo de vida corto, huevos pequeños, alta fecundidad, principalmente bacterívoros.

cp2: ciclos de vida largos y baja fecundidad, muy tolerantes a condiciones adversas, continúa con su alimentación aunque haya disminución de recursos, principalmente bacterívoros y fungívoros.

cp3: ciclos de vida largos, gran sensibilidad a condiciones adversas, fungívoros y bacterívoros.

cp4: ciclos de vida largos, baja fecundidad, gran sensibilidad a perturbaciones, tiene varios roles tróficos, especies pequeñas de omnívoros

cp5: ciclos de vida largos, gran tamaño corporal, baja fecundidad, gran sensibilidad a perturbaciones predominantemente depredadores y omnívoros. (Ferris, Bongers y Goede, 2001)

Tabla 1. Listado de especies de nemátodos encontradas en 300g de suelo seco en los diferentes tratamientos, *c-p* tomados de Bongers (1990); clasificación Yeates y King (1997).

| FAMILIA | ESPECIE | C- P | GRUPO TRÓFICO | CONTROL | C 3000 | C 6000 | C 9000 | C 12000 |
|------------------|-----------------------------------|------|---------------|---------|--------|--------|--------|---------|
| Acrobelidae | <i>Acrobeloides butschlii</i> | --- | B | 1 | 4 | ---- | ---- | ---- |
| Aporcelaimidae | <i>Akrotonus vigor</i> | 5 | AR | ---- | ---- | ---- | ---- | 3 |
| Aphelenchoididae | <i>Apelenchoides pusillos</i> | 2 | F | 1 | ---- | 1 | ---- | 3 |
| Aphelenchoididae | <i>Apelenchoides sp 1</i> | 2 | F | 4 | ---- | 1 | ---- | ---- |
| Cephalobidae | <i>Cephalobus sp 1</i> | 2 | B | 9 | 2 | 10 | ---- | ---- |
| Anguinidae | <i>Ditylenchus caudatus</i> | 2 | F | ---- | ---- | 2 | ---- | 8 |
| Anguinidae | <i>Ditylenchus microdens</i> | 2 | F | ---- | ---- | ---- | 3 | ---- |
| Nordiidae | <i>Enchodelus hopedorus</i> | 4 | OA | ---- | 1 | 3 | 1 | ---- |
| Cephalobidae | <i>Eucephalobus laevis</i> | 2 | B | ---- | ---- | ---- | ---- | 4 |
| Cephalobidae | <i>Eucephalobus striatus</i> | 2 | B | ---- | ---- | ---- | 1 | ---- |
| Cephalobidae | <i>Eucephalobus oxyuroides</i> | 2 | B | ---- | 3 | 4 | ---- | ---- |
| Nordiidae | <i>Eudorylaimus subdigitalis</i> | 4 | O | ---- | ---- | 1 | ---- | ---- |
| ----- | <i>Filencholaimus sp.</i> | --- | ER | 3 | ---- | ---- | ---- | 2 |
| Tylenchidae | <i>Filenchus sp.</i> | 2 | AR | ---- | ---- | ---- | ---- | 2 |
| Tylenchidae | <i>Filenchus thornei</i> | 2 | AR | 1 | ---- | 4 | ---- | ---- |
| Hoplolaimidae | <i>Helicotylenchus oligonicus</i> | 3 | AR | 1 | ---- | ---- | ---- | ---- |
| Qudsianematidae | <i>Lordellonema parvum</i> | 4 | AR | ---- | 1 | ---- | ---- | ---- |
| Dorylaimidae | <i>Mesodorylaimus lissus</i> | 4 | O | ---- | ---- | 5 | 1 | 4 |
| Mononchidae | <i>Mylonchulus incurvus</i> | 4 | D | ---- | ---- | 1 | ---- | 3 |
| Odontolaimidae | <i>Odontolaimus sp1</i> | 3 | B | 2 | ---- | ---- | 10 | ---- |
| Plectidae | <i>Plectus rhizophilus</i> | 2 | B | 1 | ---- | ---- | ---- | ---- |
| Plectidae | <i>Plectus asimilis</i> | 2 | B | 1 | ---- | ---- | 1 | ---- |
| Pratilenchidae | <i>Pratylenchus sp1</i> | 3 | AR | ---- | 1 | ---- | 1 | 2 |
| Pratilenchidae | <i>Pratylenchus sp2</i> | 3 | AR | ---- | ---- | ---- | 1 | ---- |
| Pratilenchidae | <i>Pratylenchus flakkensis</i> | 3 | AR | ---- | ---- | ---- | 1 | ---- |
| Pratilenchidae | <i>Pratylenchus penetrans</i> | 3 | AR | ---- | ---- | 2 | 1 | 7 |
| Prismatolaimidae | <i>Prismatolaimus sp</i> | 3 | B | ---- | 4 | 1 | 5 | ---- |

ÍNDICES ECOLÓGICOS POR TRATAMIENTO

Índice de Shannon-Weaver.

Los tratamientos con mayor índice de diversidad fueron la concentración de 6000 ppm ($H' 1.351$, $F = 0.05$) y el control ($H' 1.518$, $F = 0.05$). El menos diverso esta en la concentración de 3000 ppm ($H' 0.633$, $F = 0.05$). Se encontraron diferencias significativas entre los valores de los tratamientos con respecto a la diversidad

($P = 0.05$) (Tabla 2).

Índice de madurez

Este índice no muestra diferencias significativas entre los tratamientos; pero se observa que a 6000 ppm hubo un mayor valor de madurez, lo que indica que hay un gran número de organismos pertenecientes al grupo bacterívoro. Los demás tratamientos, incluyendo el control, mostraron que los nemátodos tolerantes a condiciones adversas son los grupos bacterívoro, fungívoro y asociados a raíces (Tabla 2).

Índice de Wasilewska

Los valores más elevados en este índice se muestran en las concentraciones de 3000 y 6000 ppm; a pesar de ello, no hubo diferencias significativas entre los distintos tratamientos (Tabla 2).

Relación F/B

La relación es diferente en las concentraciones de petróleo; en la concentración de 3000 ppm no pudo ser calculado ya que no hubo presencia del grupo trófico fungívoro, pero se observó que en la concentración 9000 ppm y 12000 ppm la relación fue mayor; a pesar de esto no hay diferencias significativas entre los tratamientos (Tabla 2).

Diversidad trófica (T)

No existen diferencias significativas entre los tratamientos, se aprecia un rango de cambio entre los distintos tratamientos: cuanto mayor es la diversidad trófica menor es el valor obtenido, ya que hay presencia de un mayor número de grupos tróficos que conforman la comunidad (Tabla 2).

Índice de Simpson (S)

El control presentó una mayor riqueza de especies, seguido de la concentración de 6000 ppm y 9000 ppm, los valores más bajos en cuanto a riqueza fueron los tratamientos de 3000 ppm y 12000 ppm (Tabla 2).

Tabla 2. Valores de los índices ecológicos obtenidos en los diferentes tratamientos de petróleo.

| Índices | Control | C3000 | C6000 | C9000 | C12000 |
|------------------------|---------|--------|--------|--------|--------|
| Shannon-Weaver (H') | 1.518 | 0.633 | 1.351 | 1.080 | 0.694 |
| Índice de madurez (IM) | 2.375 | 2.75 | 3 | 2.858 | 2.8 |
| Índice de Wasilewska | 3.33 | 2 | 3.5 | 1.5 | 0.75 |
| Relación F/B | 0.43 | ND | 0.75 | 5 | 2 |
| Diversidad trófica (T) | 3.4615 | 9.1494 | 5.9211 | 5.1136 | 9.375 |
| Índice de Simpson (S) | 6.0 | 2.3 | 5.7 | 4.3 | 3.0 |

DIVERSIDAD DE GRUPOS TRÓFICOS EN CADA TRATAMIENTO

Control

El grupo más diverso fue el **B** con $H' = 0.485$, seguido del grupo **F** con $H' = 0.415$ y el grupo **AR** con $H' = 0.301$.

Concentración 3000 ppm

El más diverso es el grupo **B** con $H' = 0.587$ y el **AR** con un $H' = 0.259$.

Concentración 6000 ppm

El **F** es el más diverso con un $H' = 0.451$, seguido del grupo **O** con un $H' = 0.405$, el grupo **B** con un $H' = 0.353$ y el menos diverso que fue el **AR** con un $H' = 0.276$.

Concentración 9000 ppm

Solo se registraron dos grupos el **AR** con un $H' = 0.602$ y el grupo **B** con un $H' = 0.435$. El grupo trófico más diverso fue **AR** en la concentración de 9000 ppm.

Concentración 12 000 ppm

Se registraron dos grupos el **AR** con un $H' = 0.535$ y el grupo **F** con un $H' = 0.254$. En la concentración de 12000 ppm el grupo trófico más diverso fue **AR**.

Tabla 3. Valores de diversidad de especies de Shannon- Weaver (H') entre los grupos tróficos obtenidos en las diferentes concentraciones de petróleo.

| H' | AR | ER | P | B | F | O | OA | D |
|-----------|-------------|-----------|----------|-------------|-------------|-------------|-----------|----------|
| Control | 0.301029996 | 0 | 0 | 0.484826956 | 0.414981395 | 0 | 0 | 0 |
| 3000 | 0.259269059 | 0 | 0 | 0.587004465 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 6000 | 0.276384367 | 0 | 0 | 0.353289796 | 0.451544993 | 0.405930727 | 0 | 0 |
| 9000 | 0.602059991 | 0 | 0 | 0.435734928 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 12000 | 0.535258345 | 0 | 0 | 0 | 0.254497112 | 0 | 0 | 0 |

Índice de similitud de Sørensen

Se observa que la similitud más alta está presente en la comparación del control y los tratamientos de C9000 y C12000 ppm ($3.7556 e^{-01}$), al llevar a cabo la comparación entre los demás tratamientos observamos que el valor obtenido en la comparación de C3000 con C6000 es igual que el resultado obtenido al comparar la C6000 con C9000; posteriormente al comparar C3000 con C9000 podemos observar que es el mismo resultado obtenido al comparar C9000 con C12000.

Tabla 4. Valores de similitud entre los tratamientos **C3000, C6000, C9000, C12000** y el control.

| | Control | C3000 | C6000 | C9000 | C12000 |
|---------|---------|-----------------|------------------|------------------|------------------|
| Control | ----- | $2.3993e^{-01}$ | $2.2222 e^{-01}$ | $3.7556 e^{-01}$ | $3.7556 e^{-01}$ |
| C3000 | ----- | ----- | $2.5510 e^{-01}$ | $2.8125 e^{-01}$ | $4.0500 e^{-01}$ |
| C6000 | ----- | ----- | ----- | $2.5510 e^{-01}$ | $2.0663 e^{-01}$ |
| C9000 | ----- | ----- | ----- | ----- | $2.8125 e^{-01}$ |

Análisis grupal

Se observa que los tratamientos iguales son la **M3** (concentración 6000) y **M5** (concentración 12000) y que estos solo comparten alrededor del 70% de la información con la **M4** (concentración 9000) y el menos parecido es el **M1** (control); seguido de la **M2** (concentración 3000).

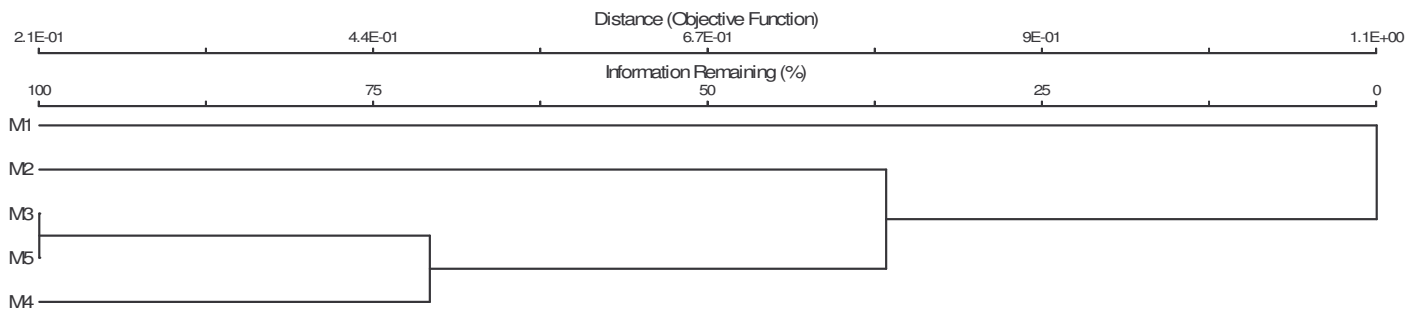


Figura 4. Análisis grupal de la comunidad de nemátodos en las muestras de suelo **M1** control, **M2** concentración 3000, **M3** concentración 6000, **M4** concentración 9000, **M5** concentración 12000.

Los grupos tróficos más parecidos entre los tratamientos son el **AR** y **ER** seguido del **P** y el **B**; los grupos tróficos menos parecidos entre los tratamientos son el **D** seguido del **OA** y el **O**. La similitud entre los grupos tróficos cambia en forma de gradiente lo cual significa que no hay un solo factor por que un cambio drástico de la composición de los grupos tróficos.

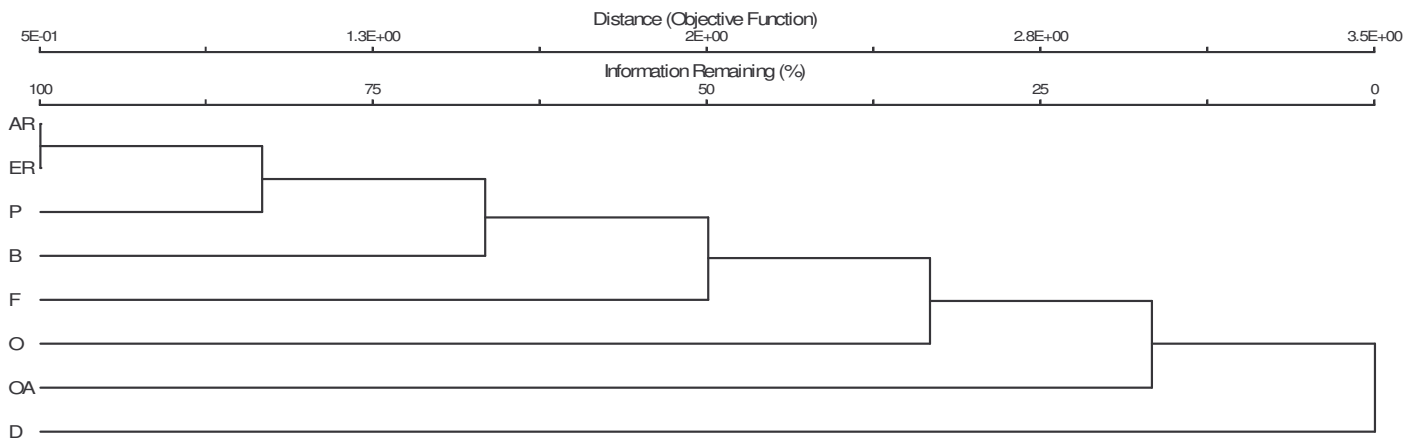


Figura 5. Análisis de los grupos tróficos reportados en los diferentes tratamientos: **AR**, asociado a raíz; **ER**, ectoparásito de raíz; **P**, patógeno; **B**, bacteívoro; **F**, fungívoro; **O**, omnívoro; **OA**, omnívoro/algívoro y **D**, depredador.

DISCUSIÓN

Los nemátodos junto con los protozoarios son los principales consumidores de bacterias del suelo y las interacciones entre los nemátodos y las bacterias tienen consecuencias importantes en la disponibilidad de nutrientes del suelo (Blanc *et al.*, 2006)

Las pruebas estadísticas aplicadas mostraron que no hay diferencias significativas en las diferentes concentraciones de contaminante. Sin embargo, se observó la modificación en la estructura de especies en los suelos expuestos a las diferentes concentraciones de petróleo crudo ya que se presentaron especies únicas en los tratamientos. En el suelo **Control** se presentó: *Helicotylenchus oligonicus* AR; *Sauertilenchus maximus* P; este patógeno no vuelve a aparecer en los tratamientos posiblemente porque la raíz se modifica por condiciones adversas debidas al hidrocarburo y este organismo no tiene la capacidad de penetrarla y de infectar a la raíz; además puede ser que las condiciones presentes en los demás microcosmos le resulten tóxicas y por lo tanto no puede habitar en lugares con algún grado de contaminación, *Plectus rhizophilus* B posiblemente se encuentre en bajas concentraciones ya que es una especie que responde de una manera positiva cuando hay materia orgánica como lo es el estiércol, *Tylencholaimus sp* F, *Especie 3* B y *Especie 4* B; estas especies de bacterívoros no tienen la capacidad de tolerar altas concentraciones de petróleo crudo ya que solo aparecen en el control.

Concentración 3000 ppm: *Lordellonema parvum* AR, es una especie que posiblemente sólo sea capaz de tolerar concentraciones bajas de contaminación y tome dicha concentración como un recurso. **Concentración 6000 ppm:** *Eudorylaimus subdigitalis* O, *Especie 2* B. **Concentración 9000 ppm:** *Ditylenchus microdens* F, esta especie se alimenta solo de hongos que están pegados en la raíz ya que estos hongos se encuentran embebidos en dicha estructura. *Eucephalobus striatus* B, *Especie 1* B son participantes en el circuito

microbiano alimentándose de bacterias que degradan al petróleo, *Pratylenchus flakkensis* AR y *Pratylenchus sp2* AR; por ultimo la **Concentración de 12000 ppm**: *Akrotonus vigor* AR, *Eucephalobus lavéis* B es una especie que tiene la capacidad de tolerar concentraciones altas de petróleo, a pesar de ello observamos que no es muy abundante; *Filenchus sp* AR (Tabla 1). La mayoría de las especies que aparecen solamente una vez, son especies pertenecientes al grupo trófico asociado a raíz (AR), esto indica que posiblemente la raíz de las gramíneas es de mayor tamaño y por lo tanto tiene una capacidad de carga mayor y por ello la concentración de petróleo más alta presenta más nemátodos asociados a raíz en comparación con las demás concentraciones.

También se observa que hay especies que se repiten en al menos tres tratamientos de las diferentes concentraciones de petróleo las cuales son: ***Aphelenchoides pusillus* F**: control, concentración de 6000 ppm y 12000 ppm, esta especie tiene la capacidad de incrementar sus poblaciones bajo condiciones de estrés especialmente con Cu ó con otras perturbaciones (Sachs, 1950), dando como resultado una aceleración en la descomposición (Huhta *et. al.*, 1979); estas ideas apoyan lo encontrado en el presente estudio por que a pesar de que la especie no es muy abundante sí se encuentra en el suelo con concentraciones altas de petróleo.

***Cephalobus sp1* B**: control, 3000 ppm y 6000 ppm posee la característica de tener tiempos de generación cortos y por tal motivo es tolerante a condiciones de perturbación altas ó bajas. ***Enchodelus hoppedorus* OA**: 3000 ppm, 6000 ppm y 9000 ppm, ***Mesodorylaimus lissus* O**: 6000 ppm, 9000 ppm y 12000 ppm. Estas últimas especies son muy sensibles a perturbaciones ya que poseen una cutícula permeable y estadios sésiles, pero a pesar de ello las encontramos en concentraciones altas y bajas posiblemente por que al ser especies omnívoras tienen la capacidad de alimentarse de cualquier alimento que les sea palatable.

Pratylenchus sp1* AR:** 3000ppm, 9000 ppm y 12000 ppm; ***Pratylenchus penetrans* AR:** 6000 ppm, 9000 ppm y 12000 ppm. Esta especie presenta fases migratorias en su ciclo de vida y por lo tanto estadios de resistencia, estas características podrían ser las que le confieren la capacidad de estar presentes en las concentraciones más altas y tolerar los cambios en su ruta migratoria. ***Prismatolaimus sp B: 3000 ppm, 6000 ppm y 9000 ppm posiblemente esta especie se encuentra en estas concentraciones por que es un nemátodo poco sensible al hidrocarburo (Tabla 1).

Podemos observar que en el control y las concentraciones de petróleo 3000 ppm, 6000 ppm y 9000 ppm el grupo que se encuentra con mayor abundancia es el bacterívoro; Wasilewska (1997) menciona que un aumento en la abundancia de este grupo es indicativo de una alta actividad microbiana, especialmente cuando se aplica nitrógeno en el ambiente. Cabe señalar que el suelo de los mesocosmos utilizados en este estudio está siendo empleado para otras investigaciones que involucran las leguminosas fijadoras de nitrógeno que fueron sembradas en ellos. La presencia de estas plantas y de su actividad fijadora, podría explicar el mayor número de nemátodos bacterívoros, ya que al haber más nitrógeno en el suelo, se favorece la proliferación de las bacterias y con ellas, la de sus depredadores.

Por otra parte observamos que el grupo trófico fungívoro no es muy abundante en la mayoría de los tratamientos; pero en la concentración de 12000 ppm es uno de los grupos tróficos más abundantes junto con el grupo AR (Figura 3), debido posiblemente a que los nemátodos fungívoros participan en las últimas etapas de la descomposición de la materia orgánica, y sus poblaciones son mayores en suelos con subsidios orgánicos con alta relación C:N (Ferris y Matute, 2003). En el presente trabajo el nitrógeno fue aportado por las leguminosas que estaban presentes en los microcosmos; como ya era el segundo ciclo de cultivo de leguminosas y el nitrógeno que estaba disponible fue

liberado al realizarse la cosecha del primer ciclo de cultivo, el nitrógeno facilitó la colonización y proliferación de los nemátodos fungívoros.

Observamos que la concentración de 12000 ppm es la que presenta un alto número del grupo trófico asociado a raíz; toman esta estructura no solo para protegerse sino también como fuente de alimentos ya que hay especies sedentarias y migratorias que poseen la característica de poder alimentarse de distintas partes de la raíz como por ejemplo de células epidermales, pelos radiculares entre otros, (Yeates, *et. al.* 1993). Piskiewicz *et. al.*, (2008) observó que los nemátodos asociados a raíz preferían a *Ammophila arenaria* sin el agregado de microorganismos. Este estudio estaría apoyando la idea de que al no haber ningún otro organismo que tolere una mayor cantidad de contaminante, el que si lo tolera, en este caso los nematodos, se ve favorecido debido a que no tiene que compartir su alimento con ningún otro grupo de organismos.

Al aumentar la concentración de los xenobióticos se incrementa el daño a las bacterias (12000ppm), de tal manera que al disminuir su cantidad baja el número de nemátodos bacterívoros y aumenta el número de nemátodos fungívoros reflejando microhábitats más favorables en cuanto a humedad en el suelo. Eitminavicate (*et al.*, 1976), mencionan que cuando la materia orgánica en el suelo ya no está disponible para las bacterias se incrementa la abundancia de nemátodos fungívoros ya que los hongos descomponen la materia orgánica más recalcitrante que no pueden descomponer las bacterias y por lo tanto decrece el número de nemátodos bacterívoros

Los suelos con mayor cantidad de agua presentan más abundancia de nemátodos fitoparásitos en los primeros estratos (Gobbi, Brugni, 1996) sin embargo, observamos que en este estudio no hay una predominancia de este grupo (ectoparásito de raíz).

El análisis de los grupos funcionales permite determinar cómo afecta los procesos del ecosistema cada grupo trófico (Chapín *et al.*, 1992). La identificación a nivel de familia provee información considerable para tener un mejor entendimiento del funcionamiento del suelo (Bongers y Bongers, 1998).

Por ejemplo Korthals *et al.*, (1996) encontró que los nemátodos omnívoros y depredadores son muy sensibles a efectos provocados por cobre, níquel y zinc. En el presente estudio se observa un efecto contrario con el grupo trófico depredador en las concentraciones de 6000 ppm, 12000 ppm; por otra parte también se observa que el grupo trófico omnívoro está presente en las concentraciones de 6000 ppm, 9000 ppm y 12000 ppm, este último grupo indica la condiciones del suelo (Porazinska *et al.*, 1999).

Algunos nemátodos presentan adaptaciones morfológicas como cutículas muy gruesas, o que los estiletes varían en forma y tamaño de acuerdo a la estrategia alimenticia. Estas estrategias junto con otras, les permiten comportarse como estrategias *c* (colonizadores, corresponde a estrategias *r*) y sobrevivir bajo condiciones alteradas del suelo (Leguizamo, Parada, 2008).

La familia **Dorylaimidae** es particularmente sensible a sitios perturbados y es considerada como *p* o persistente (estrategia *k*). Esta familia se encontró en las concentraciones de 6000 ppm, 9000 ppm y 12000 ppm dando como resultado un efecto contrario a lo reportado por Korthals *et al.*, (1996) y (Bongers y Bongers, 1998) ya que las especies pertenecientes a esta familia pueden resistir condiciones de estrés en un alto grado en el sistema. Los nemátodos pertenecientes a la familia **Tilenchidae** responden rápidamente a los cambios en la disponibilidad de agua. Por ello, se explica el bajo número de individuos encontrados ya que el petróleo afecta de manera negativa las propiedades físicas y químicas del suelo haciendo que el agua no esté disponible o que se encuentre en cantidades que los miembros de esta familia no toleran tal condición; la familia **Cephalobidae** se encuentra tanto en condiciones de

ambiente pobres como ricos en nutrientes (Bongers y Bongers, 1998). Esta familia nos está mostrando que tiene la capacidad de apropiarse del recurso y que posiblemente también tiene la capacidad de cambiar de estrategias para obtener su alimento.

La perturbación en los microcosmos podría estar actuando como subsidio ya que observamos que a pesar de no haber diferencias estadísticamente significativas hay una mayor diversidad en las concentraciones de petróleo de 6000 ppm, 9000 ppm y 12000 ppm, lo que estaría indicando que estas concentraciones sirven más como un subsidio y no como una perturbación para los nemátodos (Fig. 3).

El petróleo es un contaminante orgánico que aporta una fuente de carbono a los microorganismos y estimula el desarrollo de algunas poblaciones microbianas, las cuales pueden degradar al contaminante a formas más sencillas o menos tóxicas.

En la proporción F/B se observó que en la concentración 9000 ppm, la proporción de bacterívoros fue mayor con respecto al grupo fungívoro y en la concentración de 12000 ppm sucedió que hay un mayor número de fungívoros con relación al grupo bacterívoro. En ambos casos se debió a la mayor diversidad de fuentes de materia orgánica sobre las cuales actúan estos organismos en los procesos de descomposición y mineralización, particularmente de elementos como el carbono y el nitrógeno (Griffiths, 2004). Azpilicueta *et al.*, (2007), también observó que esta relación describe la contribución de los nemátodos bacterívoros y fungívoros en los procesos de descomposición del suelo; mostrando que la descomposición de la materia orgánica fue realizada principalmente por bacterias. La proporción F/B observada en este estudio coincide con los estudios anteriormente señalados ya que en los tratamientos y el control hay un alto número de nemátodos fungívoros y bacterívoros realizando la descomposición de la materia orgánica.

En el presente trabajo la especie ***Cephalobus*** se presentó en dos tratamientos de baja concentración de contaminante y en el control, siendo ésta la especie con una mayor cantidad de individuos (21). Algunas especies de nemátodos como ***Cephalobus*** (bacterívoro) no son fuertes colonizadores ($c-p= 2$) ya que son considerados como nemátodos oportunistas que responden a la combinación de factores (abundancia y tipo de comida, efectos de la temperatura y humedad del suelo sobre la materia orgánica, características del suelo natural) (Bongers, 1990). A pesar de ser una especie considerada como oportunista, ésta tiene la capacidad de habitar en suelos con un alto grado de perturbación; ***Aphelenchoides*** (fungívoros) no es considerado colonizador estricto pero sí el fungívoro más común y podría tener una menor especialización en sus hábitos alimenticios (Porazinska *et al.*, 1999). En los resultados obtenidos se observa que no es un nemátodo común posiblemente por que las condiciones presentes en el sistema no favorecían a esta especie. Típicamente los nemátodos bacterívoros y fungívoros están asociados con la descomposición y mineralización de los nutrientes (Freckman, 1988; Ingham *et al.*, 1985). La respuesta de estos nemátodos puede indicar el incremento en la descomposición, posiblemente mejorando el resultado de la mineralización del nitrógeno y otros nutrientes (Porazinska *et. al.*, 1999).

De acuerdo con Bongers (1990,1998) un valor de índice de madurez de 2.8 indica hábitats con condiciones de perturbación baja, estado acorde con las condiciones presentes en las concentraciones de 9000 ppm y 12000 ppm, los organismos presentes en estos tratamientos permiten preservar condiciones apropiadas para el mantenimiento y la actividad de las cadenas tróficas en el suelo; un valor de IM de 2.58 nos da condiciones moderadas.

Acrobelloides es más tolerante a una perturbación (Korthals *et,al.*, 1996), sin embargo en este estudio observamos que esta especie se encuentra en

condiciones de perturbación baja (Concentración de 3000 ppm y control) esto estaría indicando que esta especie tiene la capacidad de estar presente en ambos tipos de ambiente y que al igual que especies pertenecientes a la familia **Cephalobidae** también tiene la capacidad de cambiar de estrategias para obtener su recurso (Tabla 1).

En el análisis grupal (dendrograma figura 4) los tratamientos no exhiben diferencias, sin embargo observamos que los tratamientos más parecidos entre sí son la M3 y M5 (concentración 6000 y concentración 12000) ya que presentan la mayor cantidad de grupos tróficos posiblemente por que el contaminante hace que las condiciones sean más homogéneas y por lo tanto hace que se parezcan mas los grupos tróficos entre las diferentes concentraciones de petróleo que en el control.

CONCLUSIÓN

No se cumple la hipótesis ya que no se observa una pérdida de la diversidad trófica, pero si se observa un cambio en la comunidad de nemátodos.

La estructura trófica de la comunidad de nemátodos nos indica el estado de las condiciones ecológicas del suelo. Los índices ecológicos son herramientas útiles que no solo proveen medidas cuantitativas para caracterizar un ecosistema sino también para comparar diferentes sistemas ecológicos.

REFERENCIAS.

- Azpilicueta, C. V., Aruani, M. C., Reeb, P. D., Sánchez, E. E., 2007, Estructura de la comunidad de nemátodos del suelo bajo dos niveles de fertilización nitrogenada en Alto Valle de Río Negro, Argentina, *Nematropica* 38:75-86.
- Blanc, C. M., Digal, Sy. D., Brauman, A., Normand, P., Villenave, C., 2006, Nutrition on bacteria by bacterial- feeding nematodes and consequences on the structure of soil bacterial community, *European Journal Of Soil Biology* 42: 70-78.
- Bongers, T., 1990, The maturity index an ecological measure of environmental disturbance based on nematode species composition, *Oecologia* 83: 14-19.
- Bongers, T., Bongers, M., 1998, Functional diversity of nematodes, *Applied Soil Ecology* 10, 239-251.
- Chapin, F. S., Schulze, E. D., Mooney, H. A., 1992, Biodiversity and ecosystem processes. *Trends in Ecology and Evolution* 7: 107-108.
- Coleman, D.C., Crossley, Jr. D.A., Hendrix, P. F., 2004, *Fundamentals of soil ecology*, Ed 2°, 386pp.
- Department of Nematology, University of California, disponible en:
- www.nematode.unl.edu/key/nemakey.htm
- www.ufv.br/dfp/disciplinasG/fip320/claveNematoides/index.html
- www.plpnemweb.ucdavis.edu/Nemaplex/Taxadata/Famkey.htm
- www.plpnemweb.ucdavis.edu/nemaplex/ecology/bioindicators.htm
- Eitminavicute, I., Bagdanaviciene, Z., Kadyte, B., Lazauskiene, L., Sukackiene, I., 1976, Characteristic successions of microorganisms and soil invertebrates in the decomposition process of straw and lupine, *Pedobiologia* 16:106-115.
- Enciclopedia de los Municipios de México. Centro Nacional de Desarrollo Municipal, Gobierno del Estado de Veracruz, 2000, disponible en: <http://emexico.gob.mx/work/EMM04/Veracruz/index.html>

- Ferris, H., Venette, R. C., Lau, S.S., 1996, Dynamics of nematode communities in tomatoes grown in conventional and organic farming systems, and their impact on soil fertility, *Applied Soil Ecology* 3: 161-175.
- Ferris, H., Bongers, T., de Goede, R. G. M., 2001, A framework for soil food web diagnostics: extension of the nematode faunal analysis concept, *Applied Soil Ecology* 18: 13-29.
- Ferris, H., Matute, M. M., 2003, Structural and functional succession in the nematode fauna of a soil food web, *Applied Soil Ecology* 23: 93-110.
- Freckman, D. W., 1988, Bacterivorous nematodes and organic matter decomposition. *Agriculture Ecosystem Environmental* 24:195-217.
- Gobat, J.M., Aragno, M., Matthey, W., 2004, *The living soil, fundamentals of soil science and soil biology*, Science publishers, 602pp.
- Gobbi, M. E., Brugini, N., 1996, Fluctuación estacional de grupos tróficos de nemátodos en un bosque central de *Austrocedrus chilensis* en Argentina, *Bosque* 17(1): 21-27.
- Griffiths, B. S., 2004, *The role of nematodes in the mineralization of nutrients from terrestrial ecosystems*, Soil Plant Dynamics Unit, Scottish Crop Research Institute
- Hall, G. S., 1996, *Methods for the examination of organismal diversity in soil and sediments*, CAB. INTERNATUONAL, Cap.18, 227-240p.
- Heip, C., Herman, P. M. J., Soetaert, K., 1988, Data processing, evaluation and analysis. In: Higgins RP, Thiel H (eds). *Introduction to the study of Meiofauna*, Smithsonian Institution Press, Washington, 197-231 pp.
- Huhta, V., Ikonen, E., Vilkkamaa, P., 1979, Succession of invertebrate populations in artificial soil made of sewage sludge and crushed bark, *Annual Zoology Fenn* 16:223-270.
- Ingham, R. E., Trofymow, J. A., Ingham, R. E, Coleman, D.C., 1985, Interactions of bacteria, fungi and their nematode grazers: effects on nutrient cycling and plant growth, *Ecology Monograph* 55:119-140.

- Koehler, H. H., 1992, The use of soil mesofauna for the judgment of chemical impact on ecosystems. *Agriculture, Ecosystems & Environment* [AGRIC. ECOSYST. ENVIRON.], Vol. 40, No. 1-4, pp, 193-205.
- Korthals, G., Lexmond, T., Kammenga, J., Bongers, T., 1996, Long-term effects of copper and pH on the nematode community in an agroecosystem, *Environmental Toxicology Chemistry*, 15:979-985.
- Krall, E. L., 1985, *Root parasitic nematodes: Family Hoplolaimidae*, Brill, Holanda, 573pp
- Kuperman, R., Williams, G., Parmelee, R., 1998, Spatial variability in the soil food webs in a contaminated grassland ecosystem, *Applied Soil Ecology* 9: 509-514.
- Leguízamo, M. C., Parada, J. C., 2008, Nematodos de 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.
- Margesin, R., Schinner, F., Zaos, T., 2005, *Manual of soil analysis monitoring and assessing soil bioremediation*. Springer, 366 pp.
- Mohammad, S. J., Wasim, A., 1992, *Dorylaimida: Free- living, predaceous and plant-parasitic nematodes*, Brill, Holanda, 449 pp.
- Neher, D. A., 2001, Role of nematodes in soil health and their use as indicators, *Journal of Nematology* 33 (4): 161-168.
- Neher, D. A., Campbell, C. L., 1994, Nematode communities and microbial biomass in soils with annual and perennial crops. *Applied Soil Ecology* 1:17-28.
- Paul, E. A. Clark, F. E., 1989, *Soil microbiology and biochemistry*. Academic press, Inc. San Diego California, USA, 275 pp.
- Piskiewicz, A. M., Duyts, H., van der Putten, W. H., 2008, Soil microorganisms in coastal foredunes control the ectoparasitic root-feeding nematode *Tylechorhynchus ventralis* by local interactions, *Function Ecology* (in press).
- Porazinskaa D.L., Duncanb, L.W., McSorleyc, R., Grahamb J.H., 1999, Nematode communities as indicators of status and processes of a soil

ecosystem influenced by agricultural management practices, *Applied Soil Ecology* 13: 69-86.

- Sachs, H. G., 1950, Die Nematodenfauna der Rinderexkremente, *Zool, Jahrb, (Syst.)* 79: 209-272.
- Twinn D.C., 1974, Nematodes. In: Dickinson CH, Pugh GJF (eds) *Biology of plant litter decomposition*. Academic Press, London, 421-465 pp.
- Vargas, G. P. A., Cuellar, R. R., Dussán, J., 2004, Biorremediación de residuos del petróleo, *Apuntes Científicos Andinos*, 42 pp.
- Wasilewska, L., 1997, Soil invertebrates as bioindicators, with special reference to soil-inhabiting nematodes, *Russian Journal of Nematology* 5(2): 113-126
- Wasilewska, L., 2004, Nematofauna of the shelterbelts in the agricultural landscape, *Polish Journal of Ecology* 52 (2): 99-113
- 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* 24: 315-331
- Yeates G. W., King K. L., 1997, Soil nematodes as indicators of the effect of management on grasslands in the New England Tablelands (NSW): comparison of native and improved grasslands, *Pedobiologia* 41:526-536.

ANEXO 2

Fotos de algunas especies de nemátodos. Microscopio de contraste de fases 40x.

Eucephalobus oxyuroides (Bacterívoro)

Parte cefálica 40x



Parte caudal 40x

Eudorylaimus subdigitalis (Omnívoro)

Parte cefálica 40x



Parte caudal 40x

Acrobeloides butschlii (Bacterívoro)

Parte cefálica 40x



Parte caudal 40x

Especie 1 (Bacterívoro)



Parte cefálica 40x



Parte caudal 40x

Especie 2 (Bacterívoro)



Parte cefálica 40x



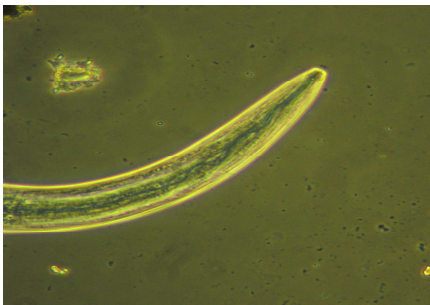
Parte caudal 40x

Especie 3 (Bacterívoro)

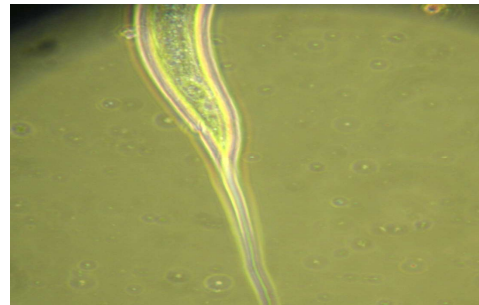


Organismo de cuerpo completo a 40x

Especie 4 (Bacterívoro)



Parte cefálica 40x



Parte caudal 40x