

GRUPOS FUNCIONALES MICROBIANOS EN SUELOS CONTAMINADOS CON TOXAFENO EN EL DEPARTAMENTO DEL CESAR, COLOMBIA

Jorge Andrés Gómez Reyes¹ , Jorge Alberto Luna Fontalvo²  ,

Recibido: 31 de enero de 2017, Aceptado: 04 de julio de 2018, Actualizado: 21 diciembre 2018

DOI: 10.17151/luaz.2019.47.6

RESUMEN

El toxafeno es un plaguicida organoclorado que se empleó por años en el cultivo de algodón. Después de su prohibición, en las antiguas bodegas de Cenalgodón (Caracolicito, Cesar) se realizaron malas prácticas de manejo que generaron la contaminación de suelos. Debido a esta problemática, y a la reconocida importancia de los grupos funcionales microbianos como indicadores de calidad, se realizó un análisis en suelos contaminados y sin contaminar para evaluar el efecto del toxafeno sobre algunas comunidades microbianas durante dos períodos climáticos. Fueron evaluadas algunas poblaciones de microorganismos cultivables relacionados con los ciclos del carbono y nitrógeno por el método de recuento directo en placa y número más probable utilizando medios de cultivos selectivos. Los recuentos totales de las poblaciones de bacterias, hongos (Log UFC/g de suelo) y grupos funcionales microbianos del C y del N (Log NMP/g de suelo) aislados del suelo contaminado con toxafeno fueron inferiores a los registrados para el suelo testigo durante el período de sequía y de lluvias ($p \leq 0,05$). Para ambos suelos algunos grupos de microorganismos se correlacionaron positivamente, lo que indica su participación sinérgica en el ciclado de nutrientes; esto podría favorecer a la recuperación del suelo contaminado y al mantenimiento del ecosistema, siempre y cuando se mejoren las condiciones ambientales y fisicoquímicas del sistema.

PALABRAS CLAVE

Contaminación de suelos, toxafeno, bacterias del ciclo del C y del N, poblaciones heterótrofas.

MICROBIAL FUNCTIONAL GROUPS IN SOILS CONTAMINATED WITH TOXAPHENE IN THE DEPARTMENT OF CESAR, COLOMBIA

ABSTRACT

Toxaphene is an organochlorine pesticide that was used for years in the cultivation of cotton. After its prohibition in the old cellars of Cenalgodon (Caracolicito - Cesar), bad management practices were carried out that generated soil contamination. Due to this problem, and to the well-recognized importance of the functional microbial groups as quality indicators, a soil analysis was performed in contaminated and uncontaminated soils to evaluate the effect of toxaphene on some microbial communities during two climatic periods. Some populations of cultivable microorganisms related to the carbon and nitrogen cycles were evaluated by the method of direct plate count and most probable number using selective culture media. The total counts of the population of bacteria, fungi

(Log CFU / g of soil) and microbial functional groups of C and N (Log NMP / g of soil) isolated from the soil contaminated with toxaphene were lower than those recorded for the control soil during the drought and rain periods ($p \leq 0.05$). Some groups of microorganisms were correlated positively for both soils indicating their synergistic participation in the cycling of nutrients, which could favor the recovery of contaminated soil and the maintenance of the ecosystem as long as the environmental and the physicochemical conditions of the system are improved.

KEY WORDS

Soil contamination, toxaphene, bacteria of cycle C and N, heterotrophic populations.

INTRODUCCIÓN

El toxafeno es un plaguicida organoclorado conformado por más de 200 compuestos químicos y pertenece al grupo de los compuestos orgánico persistentes (COPs); anteriormente se empleó para el control de plagas en los cultivos de algodón, café, tabaco, frutas y legumbres (Vetter and Oehme, 2000; Kucklick and Helm, 2006; Ministerio de Ambiente, 2007). Algunas de las propiedades tóxicas que posee este pesticida son los efectos nocivos a la salud humana y ambiental (Saleh, 1991; Bovet, 2008); asimismo, pueden bioacumularse y transportarse a largas distancias (Oetjen et al., 1998; Vallack et al., 1988). A principios de los años 70 se restringe el uso del toxafeno y luego es prohibida su aplicación en Estados Unidos (O'Sullivan and Megson, 2013); más tarde, en 2001, la Convención de Estocolmo determinó eliminar una serie de compuestos COPs que incluían al toxafeno (Weber et al., 2011; Xua et al., 2013).

Con la prohibición del toxafeno y de otros compuestos COPs en Colombia se generaron grandes cantidades de pesticidas obsoletos que se almacenaron sin cumplir con las normas de manejo integral de sustancias tóxicas. Como consecuencia, en 1996, en el corregimiento de Caracolito (municipio de El Copey, departamento del Cesar) 153 tambores de toxafeno fueron enterrados bajo tierra o almacenados en las bodegas de Cenalgodón sin ningún tipo de protección al medio ambiente (Ministerio de Ambiente, 2010); esto ocasionó la contaminación de 4913,8 m² de suelo con toxafeno. El área afectada se encuentra en el corregimiento de Caracolito y representa un riesgo para la salud de las poblaciones humanas cercanas debido a que el toxafeno posee diversas propiedades químicas (estabilidad, gran tamaño molecular, alto número de cloros, poca solubilidad en agua y fuerte adsorción al suelo) que limitan su biodegradación (Arbeli, 2009; Luo et al., 2015; Luna y vera, 2017).

Las comunidades microbianas presentes en el suelo ofrecen una variedad de servicios ecosistémicos como, por ejemplo, la degradación de la materia orgánica, el ciclado de nutrientes e interacción con las raíces de las plantas y otros microorganismos (Mora, 2006; Di Ciocco et al., 2014). De esta manera los grupos funcionales microbianos conformados principalmente por bacterias y hongos resultan importantes al momento de evaluar la calidad del suelo debido a que responden de manera sensible a las alteraciones causadas por la introducción de agentes

xenobióticos, quemas o incendios forestales, actividades como labranzas y ganadería, erosión entre otros (Diosma y Balatti, 1998; Torres et al., 2009; Avellaneda y Torres, 2013; Beltrán y Lizarazo, 2013). Igualmente el uso del suelo puede influir en las características fisicoquímicas relacionadas con la textura, humedad, pH, materia orgánica y nutrientes tales como C, N, P, K, que también pueden provocar modificaciones en la estructura y función de las comunidades microbianas (Bear et al., 1992; Mikhnovskaya, Kirichenco and Panchenko, 1993; Montaña et al., 2013).

La dinámica del carbono (C) y del nitrógeno (N) del suelo está orientada a procesos de fijación, mineralización o inmovilización que entre otras cosas dependen de la cantidad y actividad de los microorganismos que componen la microbiota del suelo. Es decir que la estructura de las comunidades microbianas es un factor clave que controla la velocidad de la mineralización del N y del C edáfico (Pilatti et al., 1988; Hassink, 1994). Los grupos funcionales microbianos del ciclo del C y del N que han sido ampliamente estudiados en el suelo corresponden a microorganismos celulolíticos, amilolíticos, ligninolíticos, fijadores de nitrógeno, proteolíticos, amonizantes, nitrificantes y desnitrificantes evaluados a través de la degradación de sustratos específicos (Beltrán-Pineda et al., 2017; Diosma y Balatti, 1998; Sánchez y Sanabria, 2009; Torres y Lizarazo, 2006).

Por otro lado los estudios microbiológicos en suelos contaminados con plaguicidas u otros compuestos xenobióticos apuntan principalmente a la recuperación de estos a través de la implementación de sistemas de biorremediación (Botero et al., 2001; Lacayo et al., 2005; Baba et al., 2007; Fernández et al., 2006). Sin embargo evaluar las comunidades microbianas relacionadas con los ciclos de nutrientes (C, N) en suelos contaminados permite obtener un diagnóstico sobre su diversidad, abundancia y funcionalidad como también una aproximación a la degradación o movilización del contaminante por actividad microbiana, además de posibilitar el monitoreo de disturbios ambientales (Andrade, 2004; Zamora et al., 2012).

El objetivo de esta investigación fue evaluar los grupos funcionales microbianos relacionados con las poblaciones heterótrofas de los ciclos del C y del N en muestras de suelos contaminadas con toxafeno y sin contaminar presentes en las antiguas bodegas de Cenalgodón (Caracolicito, Cesar) durante la época de sequía y de lluvias de 2015.

MATERIALES Y MÉTODOS

Área de estudio y obtención de muestras

El estudio fue realizado en las antiguas bodegas de Cenalgodón ubicadas en el corregimiento de Caracolicito, municipio de El Copey, al nordeste del departamento del Cesar (10°11'38.1" latitud norte y 73°58'19.31" longitud oeste). Los suelos se caracterizan por presentar textura franco arcillo-arenosa y por tener un elevado contenido de limos, seguido de arenas y arcillas a niveles superficiales entre 0-10 cm (IGAC, 1984; Universidad Nacional, 2010).

Los muestreos se realizaron durante el período de sequía (febrero-abril) y la temporada de lluvias (septiembre-noviembre) de 2015. Para tal fin se seleccionaron cinco puntos de muestreo, siguiendo el método propuesto por el IDEAM (2008). Se tuvieron en cuenta algunas características como la presencia de manchas de color café debido al toxafeno acumulado y compactado en el suelo, olor fuerte e irritante con y sin cobertura vegetal (Universidad Nacional, 2010; Ministerio de Ambiente, 2010). Con ayuda de un barreno y de palustres se colectaron tres muestras compuestas de suelo contaminado sin cobertura vegetal de cada uno de los puntos a una profundidad de 0-20 cm y otra a 20-40 cm. Paralelamente se realizó este mismo procedimiento, obteniéndose tres muestras compuestas de suelo no contaminado sin cobertura vegetal (muestra testigo) de una zona adyacente al área de estudio. Todas las muestras fueron depositadas en bolsas Ziploc de 1 kg debidamente rotuladas y preservadas a 4 °C hasta trasladarlas al Laboratorio de Calidad de Agua de la Universidad del Magdalena. Por otro lado se determinaron algunos parámetros fisicoquímicos del suelo, siguiendo los métodos propuestos por el IGAC (2006), con el propósito de conocer las condiciones ambientales en las que se encuentran las comunidades microbianas (tabla 1). La concentración del toxafeno en el suelo fue determinada en el laboratorio de la Unidad de Saneamiento y Biotecnología Ambiental —USBA— de la Pontificia Universidad Javeriana mediante cromatografía de gases.

Tabla 1. Caracterización de parámetros fisicoquímicos y concentración de toxafeno en muestras de suelos de las antiguas bodegas de Cenalgodón, Caracolcito

Parámetros	Método	Unidad de medida	Suelo no contaminado	Suelo contaminado
Humedad	Gravimétrico	%	6,2	7,5
pH	Potenciométrico		5,2	5,7
Carbono orgánico	Volumétrico	%	1,8	2,5
Materia orgánica	Volumétrico	%	4,0	4,2
Nitrógeno total (% N)	Kjeldahl	%	0,5	0,8
Fosforo (% P)	Olsen	%	32	34
Concentración toxafeno	Cromatografía de gases GC-2014 con detector de captura de electrones (GC-ECD)	ppm	0	292

Fuente: elaboración propia por parte de los autores.

Recuento poblacional de bacterias y hongos

Inicialmente se prepararon diluciones seriadas en agua peptonada estéril a 0,1 % (hasta 10^{-5}) y siembras en placas de Petri usando agar Standard Plate Count (SPC) y agar extracto de malta al 5 % (AEM) para el recuento total de bacterias y hongos respectivamente, con tres réplicas para cada una. Las placas de SPC se incubaron a 35 ± 2 °C durante 3 días y las de AEM a 25 ± 2 °C de 3 a 7 días (Wollum, 1982). Transcurrido el tiempo de incubación se procedió a realizar el recuento poblacional de bacterias y hongos, y se les registraron las UFC/g de suelo analizado.

Estimación de los grupos funcionales microbianos

La determinación de los grupos funcionales microbianos relacionados con los ciclos del C y del N se realizaron siguiendo la técnica del número más probable (NMP) en serie de tres tubos (Alexander, 1982) a través de medios de cultivos específicos. Para el aislamiento y recuento de microorganismos celulolíticos se utilizó el medio de cultivo (agar carboximetilcelulosa) propuesto por Suyama et al. (1993); para los microorganismos amilolíticos se empleó el medio de cultivo (caldo almidón) según Wollum (1982); para proteolíticos y amonizantes se manejaron los medios de cultivos (agar gelatina y caldo asparagina respectivamente) propuestos por Levine (1953). Finalmente para el aislamiento y recuento de microorganismos desnitrificantes se utilizó el medio (caldo nitrato glucosa) enunciado por Tiedje (1982). Los cultivos se realizaron por triplicado y fueron incubados a 35 ± 2 °C durante 10 a 20 días, según el tipo de microorganismo. Luego se procedió a realizar el recuento de los cultivos que demostraron actividad cualitativa (hidrólisis, licuefacción, oxidación-reducción) y se expresó el NMP/g de suelo analizado.

Análisis estadísticos

Los recuentos de bacterias, hongos y grupos funcionales microbianos se evaluaron de manera independiente para cada tipo de suelo en los meses establecidos (períodos climáticos) a través de un ANOVA simple con un 95 % de confianza. Posteriormente los parámetros microbiológicos de ambos suelos fueron analizados de manera comparativa con un ANOVA factorial al 95 % en los que el tipo de suelo y períodos climáticos fueron los factores. Adicionalmente se realizaron pruebas de correlación de Pearson entre los grupos funcionales microbianos de cada suelo para conocer las posibles interacciones entre estos. Los análisis se realizaron con el programa IBM SPSS Statistics 21.0.0 v. 20.0. y Statgraphics Plus v.5.1.

RESULTADOS

Las muestras de suelos contaminados con toxafeno y suelo testigo registraron durante el período de lluvias los valores más altos en el recuento poblacional de bacterias y hongos. En el suelo testigo se estimaron poblaciones bacterianas y fúngicas (expresadas en UFC/g de suelo) de $183,24 \times 10^2$ y $96,22 \times 10^2$ respectivamente; mientras que para el suelo contaminado con toxafeno los recuentos de estos parámetros estuvieron por debajo a los señalados anteriormente ([figura 1](#)). El análisis de varianza detectó diferencias significativas ($p \leq 0,05$) en los recuentos de bacterias y hongos en los dos períodos climáticos de los suelos estudiados.

Fuente: elaboración propia por parte de los autores.

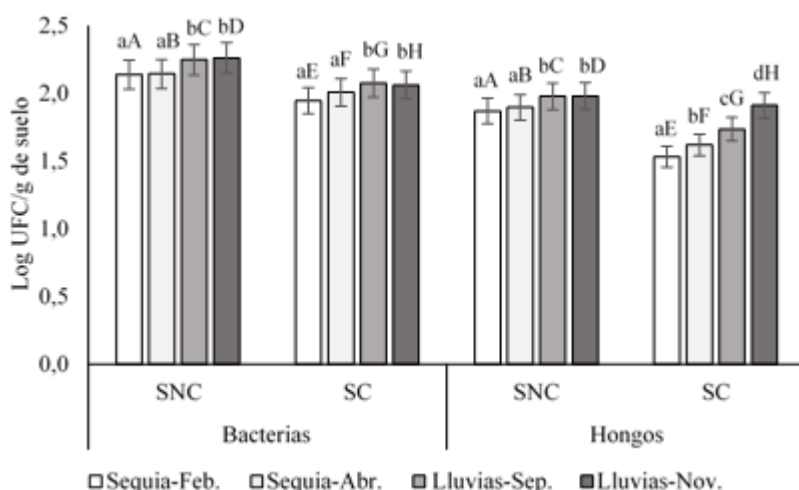


Figura 1. Recuento poblacional de bacterias y hongos en suelos contaminados con toxafeno en las antiguas bodegas de Cenalgodón, Caracolicito. SNC: suelo no contaminado; SC: suelo contaminado. Las barras corresponden a la media con su respectivo error estándar. Letras minúsculas iguales no difieren significativamente entre los períodos climáticos de un mismo suelo; letras mayúsculas iguales no presentan diferencias significativas entre los dos tipos de suelos durante los períodos climáticos.

Las estimaciones más altas de los grupos funcionales microbianos relacionadas con los ciclos del C y del N en las muestras de suelo contaminado con toxafeno se registraron durante el período de lluvias. No obstante, estos resultados están por debajo a los determinados para el suelo sin contaminar en el mismo período climático (figuras 2, 3). Se detectaron diferencias significativas ($p < 0,05$) en el recuento de grupos funcionales microbianos del C y del N en los dos períodos climáticos para cada uno de los suelos y entre estos.

Fuente: elaboración propia por parte de los autores.

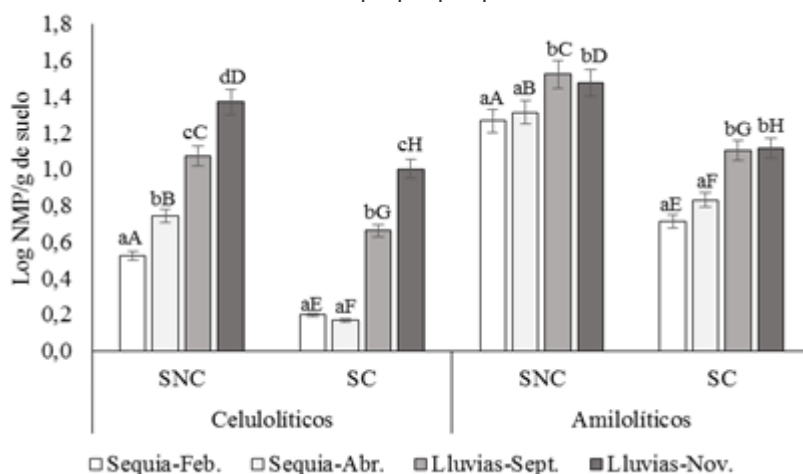


Figura 2. Grupos funcionales microbianos del ciclo del carbono (celulíticos y amilolíticos) en suelos contaminados con toxafeno en las antiguas bodegas de Cenalgodón, Caracolicito.

Fuente: elaboración propia por parte de los autores.

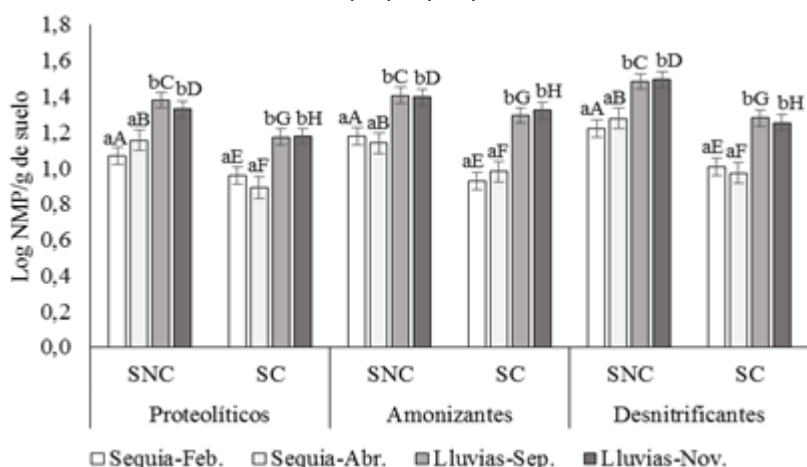


Figura 3. Grupos funcionales microbianos del ciclo del nitrógeno (proteolíticos, amonizantes y desnitrificantes) en suelos contaminados con toxafeno en las antiguas bodegas de Cenalgodón.

Las correlaciones encontradas entre los grupos funcionales microbianos de los dos suelos estudiados durante los períodos de sequía y de lluvias resultaron estadísticamente significativas entre algunos de ellos (tablas 2, 3). En el período de sequía para el suelo contaminado con toxafeno se correlacionaron significativamente los microorganismos amilolíticos con proteolíticos y el recuento total de bacterias con los microorganismos celulolíticos y amonizantes; mientras que para el período de lluvias solo se correlacionaron el recuento total de hongos con los microorganismos celulolíticos y los microorganismos amonizantes con los desnitrificantes.

Tabla 2. Correlación lineal entre los parámetros microbiológicos evaluados en las muestras de suelos de las antiguas bodegas de Cenalgodón durante el período de sequía

Suelo contaminado con toxafeno						Suelo no contaminado					
A	Am	C	D	P	B	A	Am	C	D	P	B
A						A					
r=0						r=0,08					
p=1						p=0,650					
C						C					
r=-0,268						r=0,281					
r=-0,119						r=-0,019					
p=0,152						p=0,133					
p=0,532						p=0,919					
D						D					
r=0,156						r=0,561					
r=-0,169						r=-0,096					
r=0,16						r=0,205					
p=0,411						p=0,001*					
p=0,372						p=0,615					
p=0,384						p=0,276					
P						P					
r=-0,438						r=0,074					
r=0,194						r=-0,370					
r=0,300						r=0,070					
r=-0,301						r=0,149					
p=0,015*						p=0,699					
p=0,304						p=0,044*					
p=0,107						p=0,714					
p=0,105						p=0,431					
B						B					
r=-0,147						r=0,219					
r=0,476						r=0,096					
r=-0,424						r=-0,136					
r=0,047						r=0,206					
r=0,106						r=0,055					
p=0,438						p=0,246					
p=0,008*						p=0,614					
p=0,002*						p=0,474					
p=0,804						p=0,275					
p=0,576						p=0,773					
H						H					
r=0,195						r=-0,044					
r=0,041						r=0,089					
r=-0,072						r=0,334					
r=0,276						r=0,079					
r=-0,315						r=-0,1275					
r=0,013						r=-0,4579					
p=0,303						p=0,816					
p=0,828						p=0,639					
p=0,705						p=0,071					
p=0,136						p=0,679					
p=0,0315						p=0,502					
p=0,013						p=0,011*					

Nota: B: recuento total de bacterias; H: recuento total de hongos; C: microorganismos celulolíticos; A: microorganismos amilolíticos; P: microorganismos proteolíticos; Am: microorganismos amonizantes; D: microorganismos desnitrificantes; r: coeficiente de correlación de Pearson; p: valor de P; *: correlación significativa.

Fuente: elaboración propia por parte de los autores.

Tabla 3. Correlación lineal entre los parámetros microbiológicos evaluados en las muestras de suelos de las antiguas bodegas de Cenalgodón durante el período de lluvias

Suelo contaminado con toxafeno						Suelo no contaminado							
A	Am	C	D	P	B	A	Am	C	D	P	B		
A						A							
A	r=0,06					A	r=0,077						
m	8					m							
	p=0,7						p=0,68						
	23						6						
C	r=0,09	r=0,312				C	r=-	r=0,13					
	3						0,083	7					
	p=0,6	p=0,09					p=0,66	p=0,47					
	25	3					3	2					
D	r=0,25	r=0,373	r=-			D	r=0,271	r=-	r=0,053				
	8		0,064					0,027					
	p=0,1	p=0,04	p=0,73				p=0,14	p=0,88	p=0,78				
	69	2*	8				7	9	2				
P	r=0,01	r=0,166	r=0,113	r=-		P	r=0,289	r=-	r=-	r=0,23			
	6		9	0,344				0,348	0,423	7			
	p=0,9	p=0,38	p=0,46	p=0,06			p=0,12	p=0,05	p=0,01	p=0,2			
	33	0	5	3			2	9	8*	07			
B	r=0,03	r=0,326	r=0,03	r=-	r=-	B	r=-	r=0,02	r=-	r=0,05	r=0,103		
	0		4	0,016	0,088		0,184	6	0,007	6			
	p=0,8	p=0,07	p=0,85	p=0,93	p=0,64		p=0,33	p=0,89	p=0,97	p=0,7	p=0,58		
	76	9	7	2	5		0	2	0	68	6		
H	r=0,06	r=0,144	r=0,72	r=-	r=-	r=0,04	H	r=0,508	r=-	r=-	r=0,25	r=0,391	r=0,06
	5		7	0,047	0,218	5			0,262	0,002	9		8
	p=0,7	p=0,44	p=0,00	p=0,80	p=0,24	p=0,8		p=0,00	p=0,16	p=0,99	p=0,1	p=0,03	p=0,7
	34	7	*	6	6	12		4*	1	2	67	3*	23

Fuente: elaboración propia por parte de los autores.

DISCUSIÓN

Los resultados de los recuentos poblacionales de microorganismos evaluados en este estudio sugieren que la presencia del toxafeno (concentración de 292 ppm) en el suelo genera condiciones no favorables para el crecimiento de las comunidades microbianas; por esta razón, se encontró que los recuentos poblacionales de microorganismos y grupos funcionales eran mayores en las muestras de suelo no contaminado. Asimismo, se evidenció que estos parámetros microbiológicos para ambas muestras de suelo incrementaron durante el período de lluvias (septiembre y noviembre). Esto concuerda parcialmente con un estudio realizado por Bezchlebová et al. (2007), quienes determinaron que en altas concentraciones de toxafeno (1000 mg/kg) presentes en muestras de suelo disminuyen la biomasa y respiración microbiana; de igual manera estos autores mencionan que el toxafeno inhibe totalmente algunos grupos funcionales microbianos relacionados con el N (amonificación y nitrificación). Por otro lado Mosquera y Peñuela (2009) mencionan que los recuentos de bacterias obtenidos en un suelo contaminado con malatión (2,5µg/g de suelo) disminuyeron notablemente hasta en un 40 % comparado con un suelo sin contaminar, efecto que fue relacionado con la adsorción del contaminante al suelo y a la no disponibilidad de materia orgánica.

Igualmente Levanon (1993) y Mosquera y Peñuela (2009) determinaron el efecto que tienen algunos plaguicidas (atrazina, alacloro y malatión) en reducir las poblaciones fúngicas y bacterianas presentes en un suelo contaminado; no obstante, cuando las comunidades microbianas actúan de manera sinérgica y en condiciones óptimas ambientales demostraron capacidad degradadora. El otro factor que influyó en las variaciones de las densidades de bacterias y hongos fue la temporada de lluvias; esto indica que durante las épocas de precipitaciones, las condiciones fisicoquímicas del suelo son mejores y ello permite que ocurra una mayor diversidad funcional de los microorganismos en contraste con el período de sequía (Gómez y Paolini, 2006). Por su parte Garrido et al. (2010) indican que durante las épocas secas se genera estrés ambiental en el suelo, por lo que las densidades de algunas comunidades microbianas disminuyen. Aunque Montaña et al. (2013) realizaron un estudio sobre el efecto de la estacionalidad de la lluvia sobre algunos grupos bacterianos aislados de suelos de bosques en Chamela, México, donde reportaron una alta disminución (60 %) en la cantidad de bacterias heterótrofas cultivables durante la época de lluvias; hecho que atribuyeron a una baja disponibilidad de C por el consumo microbiano o bien porque los nutrientes fueron absorbidos por las raíces de las plantas o lixiviados.

Con respecto a los grupos funcionales microbianos relacionados con el ciclo del C para ambos suelos se determinó mayor densidad de microorganismos amilolíticos. Estos resultados permiten explicar que en las muestras de suelo contaminado con toxafeno existe una densidad apreciable de microorganismos con capacidad de degradar y mineralizar compuestos orgánicos no complejos, de esta manera se estimularía la actividad de los microorganismos amilolíticos (Beltrán y Lizarazo, 2013; Viteri-Flórez et al., 2016). Por lo contrario, las estimaciones de microorganismos celulolíticos en este estudio fueron reducidas posiblemente por la naturaleza química del toxafeno al generar cambios en los procesos metabólicos microbianos (Ramani, 2011); así como a las condiciones fisicoquímicas del suelo tales como el contenido de materia orgánica, pH, nutrientes, humedad y la compactación del plaguicida durante varias décadas. Luna et al. (2014) reportaron densidades de microorganismos amilolíticos (45 NMP/g de suelo) y celulolíticos (140 NMP/g de suelo) en un suelo que fue fumigado con malatión; si bien los autores explican que al inicio de los ensayos observaron una disminución de las comunidades microbianas (99 %), luego de 15 días estos microorganismos demostraron capacidad de adaptación a las condiciones del suelo contaminado debido al incremento en las densidades microbianas evaluadas. En este sentido estos resultados difieren a los obtenidos en esta investigación debido a que estos suelos llevan más de 30 años de estar contaminados con toxafeno, demostrando una baja participación de comunidades microbianas relacionadas con el flujo de carbono. Por otro lado Sivila de Cary y Angulo (2006) hallaron descensos en los recuentos de microorganismos amilolíticos aislados de suelos con descanso en actividad agrícola desde 1 a 20 años (13,59 y 10,3 NMP/g suelo respectivamente), resultados que se aproximan a los determinados en este estudio.

Los microorganismos proteolíticos (11,8 NMP/g), amonizantes (14,77 NMP/g) y desnitrificantes (14,21 NMP/g) aislados del suelo contaminado con toxafeno fueron bajos comparados con el suelo control. Esto demuestra que el plaguicida logra afectar la composición de las comunidades microbianas correlacionadas con la degradación de la materia orgánica proveniente de la microfauna y microbiota del suelo (Torres y Lizarazo, 2006) y la mineralización del N (Celaya y

Castellanos, 2011). Sin embargo al existir una disminución en la actividad proteolítica y amonizante se aumentan los procesos de desnitrificación realizados por bacterias anaerobias y una consecuente pérdida de la fertilidad del suelo (Yeomans and Bremner, 1985). Luna et al. (2014) reportaron una disminución del 98 % de microorganismos proteolíticos en suelos contaminados con malatión (0,3 NMP/g de suelo), entretanto los microorganismos desnitrificantes no mostraron cambios en su estructura poblacional. Por su parte Bezchlebová et al. (2007), en un estudio sobre el efecto del toxafeno en organismos del suelo, confirmaron que a concentraciones de 100 y 1000 mg/kg del plaguicida se inhibieron significativamente los microorganismos amonizantes. En tanto Martínez-Toledo et al. (1998) determinaron el efecto del fungicida captano sobre algunos grupos funcionales microbianos del ciclo del N en el suelo; en este caso las bacterias desnitrificantes aumentaron significativamente (103/g de suelo) después de 14 días de contaminación. Sin embargo las comunidades de bacterias amonizantes y nitrato-oxidativas fueron reducidas significativamente, afectando el flujo de N disponible y el equilibrio microbiano del suelo. Lo anteriormente expuesto, es coincidente con los resultados reportados para este estudio.

Los análisis de correlación realizados entre los diferentes grupos microbianos procedentes de las muestras de suelos estudiadas determinan que bajo ciertas condiciones meteorológicas (sequía o lluvias) las comunidades microbianas interactúan de manera diferente. En períodos de sequía, tanto para el suelo contaminado con toxafeno como el suelo testigo, sobresalen mayoritariamente las interacciones de las bacterias con microorganismos implicados en el ciclo del C (celulolíticos y amilolíticos) y del N (proteolíticos, amonizantes y desnitrificantes); mientras que en épocas de lluvias ocurre mayor participación de hongos junto con los grupos funcionales microbianos evaluados. Estas relaciones pueden obedecer a que las bacterias y hongos posibilitan mecanismos de cometabolismo (Betancur et al., 2013), como también se conoce a la estrecha relación entre el flujo del C con el N (C: N) (Cerón y Aristizábal, 2012). Todos los procesos implicados en los ciclos del C y del N tales como la descomposición, mineralización e inmovilización de estos elementos, están determinados por la cantidad y por la actividad de los microorganismos que componen la microbiota del suelo (Beltrán y Lizarazo, 2013). En términos comparativos, los análisis de correlación determinados en este estudio podrían corresponder parcialmente con los expuestos por Montaña et al. (2013); estos autores encontraron que las bacterias heterótrofas y microorganismos celulolíticos aislados de suelos de un bosque seco tropical se correlacionaban positivamente durante períodos de lluvias. Por su parte Martínez-Toledo et al. (1998) obtuvieron correlación entre el grupo de bacterias totales con bacterias desnitrificantes en suelos contaminados con captano.

CONCLUSIONES

La persistencia del plaguicida toxafeno en el suelo de las antiguas bodegas de Cenalgodón (Caracolcito, Cesar) genera efectos no favorables para el desarrollo de las poblaciones microbianas y grupos funcionales implicados en los ciclos del C y del N. De igual manera se encontró que los períodos de lluvias mejoran las condiciones del sistema, promoviendo el crecimiento de las comunidades bacterianas y fúngicas, lo que podría favorecer a la recuperación del suelo contaminado y al mantenimiento equilibrado del ecosistema en general. Finalmente se sugiere

realizar estudios que determinen la actividad degradativa del contaminante y establecer las características edafológicas del suelo en estudio.

AGRADECIMIENTOS

Los autores manifiestan los agradecimientos al Laboratorio de Calidad de Agua y Vicerrectoría de Investigación de la Universidad del Magdalena, al laboratorio de la Unidad de Saneamiento y Biotecnología Ambiental —USBA— de la Pontificia Universidad Javeriana y a la Corporación Autónoma del Cesar —CORPOCESAR—.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alexander, M. (1982). Most probable number method for microbial populations. En Black, C.A. (Ed.), *Methods of soil analysis* (pp. 1467-1472). Madison, USA: American Society of Agronomy.
- Andrade, G. (2004). Role of functional groups of microorganisms on the rhizosphere microcosm dynamics. En Varma, A. et al. (Eds.), *Plant surface microbiology* (pp. 51-69). Berlin, Germany: Springer.
- Arbeli, Z. (2009). Biodegradation of persistent organic pollutants (POPs): I. The case of polychlorinated biphenyls (PCB). *Acta Biológica Colombiana*, 14 (1), 55-86.
- Avellaneda, L. y Torres, E. (2013). Biodiversidad de grupos funcionales de microorganismos asociados a suelos bajo cultivo de papa, ganadería y páramo en el Parque Nacional Natural de Los Nevados, Colombia. *Biota Colombiana*, 16 (1), 78-87.
- Baba, D. et al. (2007). Anaerobic biodegradation of polychlorinated biphenyls by a microbial consortium originated from uncontaminated paddy soil. *World Journal of Microbiology and Biotechnology*, 23, 1627-1636.
- Bear, M. et al. (1992). Microbial and faunal interactions and effects on litter nitrogen and decomposition in agroecosystems. *Ecological Monographs*, 62, 569-591.
- Beltrán, M. y Lizarazo, L. (2013). Grupos funcionales de microorganismos en suelos de páramo perturbados por incendios forestales. *Revista de Ciencias*, 17 (2), 121-136.
- Beltrán-Pineda, M. et al. (2017). Microorganismos funcionales en suelos con y sin revegetalización en el municipio de Villa de Leyva, Boyacá. *Colombia Forestal*, 20 (2), 158-170.
- Betancur, B. et al. (2013). Biorremediación de suelo contaminado con pesticidas: caso DDT. *Gestión y Ambiente*, 16 (3), 119-135.

- Bezchlebová, J. et al. (2007). Effects of toxaphene on soil organisms. ***Ecotoxicology and Environmental Safety***, 68, 326-334.
- Botero, L. et al. (2001). Efecto de la concentración del metil paratión y el extracto de levadura como factores de selección de microorganismos degradadores del pesticida a partir de suelos contaminados. ***Revista de Ingenierías***, 10 (19), 13-20.
- Bovet, P. (2008). ***Atlas Medioambiental de Le Monde Diplomatique***. París, Francia: Cybermonde.
- Celaya, H. y Castellanos, A. (2011). Mineralización de nitrógeno en el suelo de zonas áridas y semiáridas. ***Terra Latinoamericana***, 29 (3), 343-356.
- Cerón, L.E. y Aristizábal, F.A. (2012). Dinámica del ciclo del nitrógeno y fósforo en suelos. ***Revista Colombiana de Biotecnología***, 14 (1), 285-295.
- Di Ciocco, C.A. et al. (2014). Actividad microbiológica de un suelo sometido a distintos usos y su relación con variables físico-químicas. ***Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias***, 46 (1), 73-85.
- Diosma, G. y Balatti, P. (1998). Actividad microbiana y número de nitrificadores y celulolíticos en un suelo cultivado con trigo bajo distintos sistemas de labranza. ***Revista Facultad de Agronomía***, 103 (1), 61-68.
- Fernández, L. et al. (2006). ***Manual de técnicas de análisis de suelos aplicadas a la remediación de sitios contaminados***. Ciudad de México, México: Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales.
- Garrido, M. et al. (2010). Efecto de los factores edafoclimáticos y la especie de pasto en la diversidad de bacterias diazotróficas. ***Pastos y Forrajes***, 33 (4), 1-7.
- Gómez, Y. y Paolini, J. (2006). Actividad microbiana en suelos de sabanas de los Llanos Orientales de Venezuela convertidas en pasturas. ***Revista de Biología Tropical***, 54 (2), 273-285.
- Hassink, J. (1994). Effect of soil texture on the size of the microbial biomass and on the amount of C and N mineralized per unit of microbial biomass in dutch grassland soils. ***Soil Biology and Biochemistry***, 26, 1573-1581.
- IGAC. (1984). ***Estudio general de suelos de los municipios de Valledupar, Bosconia, El Copey y el Paso***. Bogotá, Colombia: IGAC.
- IGAC. (2006). ***Métodos de análisis del laboratorio de suelos***. Bogotá, Colombia: IGAC.
- IDEAM. (2008). ***Toma y preservación de muestras y limpieza de material para determinación de plaguicidas***. Bogotá, Colombia: IDEAM.
- Kucklick, J. and Helm, P. (2006). Advances in the environmental analysis of polychlorinated naphthalenes and toxaphene. ***Analytical and Bioanalytical Chemistry***, 386, 819-836.

- Lacayo, M. et al. (2005). A toxaphene-degrading bacterium related to *Enterobacter cloacae*, strain D1 isolated from aged contaminated soil in Nicaragua. ***Systematic and Applied Microbiology***, 28, 632-639.
- Levanon, D. (1993). Roles fungi and bacteria in the mineralization of the pesticides atrazine, alachlor, malathion and carbofuran in soil. ***Soil Biology Biochemistry***, 25 (8), 1097-1105.
- Levine, M. (1953). ***An introduction to laboratory technique in bacteriology***. New York, USA: Macmillan Publishers Ltd.
- Luna, J., Romero, I. y Gutiérrez, V. (2014). Efecto del plaguicida organofosforado malatión sobre las comunidades microbianas presente en el suelo: un estudio de caso. ***Hechos Microbiológicos***, 5 (Supl. 2), 85.
- Luna, J. y Vera, S. (2017). Biodegradación de toxafeno por hongos de la pudrición blanca. ***Suelos Ecuatoriales***, 47 (1 y 2), 77-82.
- Luo, J. et al. (2015). Dehalogenation of persistent halogenated organic compounds: A review of computational studies and quantitative structure–property relationships. ***Chemosphere***, 131, 17-33.
- Martínez-Toledo, M. et al. (1998). Effects of the fungicide Captan on some functional groups of soil microflora. ***Applied Soil Ecology***, 7, 245-255.
- Mikhnovskaya, A., Kirichenko, T. and Panchenko, V. (1993). Microbiological processes of transformation of organic matter with different cultivation practices of typical cherozem. ***Eurasian Soil Science***, 25, 100-109.
- Ministerio de Ambiente. (2007). ***Inventario nacional de existencias de plaguicidas COP. Proyecto de actividades habilitadoras en el marco del convenio de Estocolmo sobre contaminantes orgánicos persistentes (COP)***. Bogotá, Colombia: Ministerio de Ambiente.
- Ministerio de Ambiente. (2010). ***Plan nacional de aplicación del convenio de Estocolmo sobre contaminantes orgánicos persistentes COP, en la República de Colombia-PNA***. Bogotá, Colombia: Ministerio de Ambiente.
- Montañó, M. et al. (2013). Variación espacial y estacional de grupos funcionales de bacterias cultivables del suelo de un bosque tropical seco en México. ***Revista de Biología Tropical***, 61 (1), 439-453.
- Mora, J. (2006). La actividad microbiana: un indicador integral de la calidad del suelo. ***Revista Luna Azul***. Recuperado de [Link](#).
- Mosquera, R. y Peñuela, G. (2009). Biodegradación del malatión utilizando microorganismos nativos de suelos agrícolas. ***Revista Colombiana de Ciencias Pecuarias***, 22, 189-198.
- Oetjen, K. and Horst, K. (1998). Levels of toxaphene indicator compounds in fish meal, fish oil and fish feed. ***Chemosphere***, 37 (1), 1-11.

- O'Sullivan, G. and Megson, D. (2013). Brief Overview: Discovery, Regulation, Properties, and Fate of POPs. En O'Sullivan, G. and Sandau, C. (Eds.), ***Environmental Forensics for Persistent Organic Pollutants*** (pp. 1-20). Amsterdam, Netherlands: Elsevier.
- Pilatti, A. et al. (1988). Incidencia del manejo tradicional y conservacionista sobre las propiedades físicas, químicas y biológicas de un Argiudol del sur de Santa Fe. ***Ciencia del Suelo***, 6, 19-29.
- Ramani, V. (2011). Effect of pesticides on phosphate solubilization by *Bacillus sphaericus* and *Pseudomonas cepacia*. ***Pesticide Biochemistry and Physiology***, 99 (3), 232-236.
- Saleh, M. (1991). Toxaphene: Chemistry, biochemistry, toxicity and environmental fate. ***Reviews of Environmental Contamination and Toxicology***, 118, 1-85.
- Sánchez, J. y Sanabria, J. (2009). Metabolismos microbianos involucrados en procesos avanzados para la remoción de nitrógeno, una revisión prospectiva. ***Revista Colombiana de Biotecnología***, 9 (1), 114-124.
- Sivila de Cary, R. y Angulo, W. (2006). Efecto del descanso agrícola sobre la microbiota del suelo (Patarani-Altiplano Central boliviano). ***Ecología en Bolivia***, 41 (3), 103-115.
- Suyama, K. et al. (1993). A plate count method for aerobic cellulose decomposers in soil by Congo red staining. ***Soil Science and Plant Nutrition***, 39 (2), 361-365.
- Tiedje, J. (1982). Denitrifiers. En Weaver, R., Angle, J. and Bottomley, P. (Eds.), *Methods of soil analysis, Part 2. Microbiological and biochemical properties*. Madison, USA: Soil Science Society of America.
- Torres, M. y Lizarazo, L. (2006). Evaluación de grupos funcionales del ciclo del C, N y P y actividad de la fosfatasa ácida en dos suelos agrícolas del departamento de Boyacá. ***Agronomía Colombiana***, 24 (2), 317-325.
- Torres, D. et al. (2009). Efecto de los insecticidas Methyl-Parathion, Carbofuran y Lamdacyhalotrina sobre la actividad biológica del suelo. ***Revista Unellez de Ciencia y Tecnología***, 27 (1), 18-31.
- Universidad Nacional. (2010). ***Análisis de riesgo del sitio contaminado antiguas bodegas de la central algodona en liquidación (Cenalgodón) en el corregimiento de Caracolicito, municipio del Copey (Cesar)***. Bogotá, Colombia: Universidad Nacional.
- Vallack, H. et al. (1998). Controlling persistent organic pollutants—what next? ***Environmental Toxicology and Pharmacology***, 6, 143-175.
- Vetter, W. and Oehme, M. (2000). Toxaphene. Analysis and Environmental Fate of Congeners. ***The Handbook of Environmental Chemistry***, 3, 237-287.
- Viteri-Flórez, P.A. et al. (2016). Capacidad y diversidad de bacterias celulolíticas aisladas de tres hábitats tropicales en Boyacá, Colombia. ***Acta Agronómica***, 65 (4), 362-367.

- Weber, R. et al. (2011). Persistent organic pollutants and landfills – a review of past experiences and future challenges. *Waste Management & Research*, 29 (1), 107-121.
 - Wollum, A.G. (1982). *Methods of Soil Analysis. Part 2. Chemical and Microbiological Properties, Agronomy Monograph 9.2, 1982*. Madison, USA: American Society of Agronomy.
 - Xua, W. et al. (2013). Analytical chemistry of the persistent organic pollutants identified in the Stockholm Convention: A review. *Analytica Chimica Acta*, 790, 1-13.
 - Yeomans, J. and Bremner, J. (1985). Denitrification in soil: Effect of herbicides. *Soil Biology and Biochemistry*, 17, 447-452.
 - Zamora, A., Ramos, J. y Arias, M. (2012). Efecto de la contaminación por hidrocarburos sobre algunas propiedades químicas y microbiológicas de un suelo de sabana. *BIOAGRO*, 24 (1), 5-12.
-

1. Estudiante Programa de Biología. Universidad del Magdalena, Santa Marta, Colombia. andresgomezbiologiajgr@gmail.com. ORCID: 0000-0003-1225-2654
 2. M.Sc. Microbiología. Docente Tiempo Completo Universidad del Magdalena, Santa Marta, Colombia. jorgealbertolunafontalvo@gmail.com. ORCID: orcid.org/0000-0001-6764-2276 Google Scholar: [Link](#)
-

Para citar este artículo: Jorge Andrés, G.R., Jorge Alberto, L.F. (2018). Grupos funcionales microbianos en suelos contaminados con toxafeno en el departamento del Cesar, Colombia. *Revista Luna Azul*, 47, 98-113. DOI: [10.17151/luaz.2019.47.6](https://doi.org/10.17151/luaz.2019.47.6). <http://lunazul.ucaldas.edu.co/index.php/component/content/article?id=298>

Esta obra está bajo una [Licencia de Creative Commons Reconocimiento CC BY](#)

