

IMPORTANCIA DE LAS REDES TRÓFICAS DEL SUELO

Dr. Salvador RODRÍGUEZ ZARAGOZA
UBIBPRO, Facultad de Estudios Superiores Iztacala, UNAM.
srodrige@campus.iztacala.unam.mx

La disminución de la productividad de los cultivos debida al agotamiento de los nutrimentos del suelo y la contaminación de éste recurso son dos de los mayores problemas que enfrenta la producción de alimentos.

Desde hace más de un siglo se sabe que las plantas y los microorganismos establecen relaciones simbióticas que permiten la productividad del suelo. Sin embargo la forma como esto último se lleva a cabo aún es poco conocida a pesar de la gran cantidad de trabajos que se han publicado en el último cuarto de siglo.

La productividad del suelo se ha concebido como un producto del aporte de energía solar que llega a la planta y ésta la transforma en biomasa a través de la fotosíntesis, lo que coloca a las plantas en la base de las redes tróficas terrestres. En ellas, los microorganismos solo se considera tradicionalmente, como degradadores de la materia orgánica (recicladores), cuya única función es la liberación de los nutrimentos al ambiente de la raíz para hacerlos disponibles a las plantas. Los estudios de los últimos años han conducido a identificar el importantísimo papel que juegan las micorrizas y varios grupos de bacterias en la nutrición de la planta, no solo como facilitadores de la adquisición de fósforo o la fijación de nitrógeno, sino como elementos activos en la protección de las plantas contra patógenos microbianos (Buée et al, 2009). Este reconocimiento ha modificado el esquema de la productividad del suelo poniendo a los microorganismos en un papel más relevante para la productividad vegetal, pues la comunidad microbiana de la rizósfera funciona en coordinación con la actividad de las raíces de la planta (Buée et al, 2009, Jones et al, 2009).

Las investigaciones en el ámbito de los grupos de bacterias y hongos que conviven con las raíces es muy importante para entender las relaciones íntimas entre plantas y microorganismos que conducen a un mejor desarrollo y producción de los cultivos. Sin embargo los estudios de la rizósfera también deben incluir las relaciones tróficas de los otros grupos microbianos, así como de la micro y meso fauna del suelo que participan en este ambiente. Ello nos proporcionará claves

para comprender mejor las capacidades y las limitaciones del sistema edáfico. Sobre todo, cuando éste se ve presionado por perturbaciones y contaminación por diversos agentes (metales pesados, hidrocarburos, desechos industriales) que conducen a la degradación del suelo.

La perturbación del sistema puede concebirse como la disminución de su funcionamiento por debajo de sus niveles inferiores normales por la falta o el exceso de un factor.

Sin embargo, el sistema puede regresar a su funcionamiento normal cuando el factor o factores perturbadores regresan a sus valores promedio, o cuando desaparecen las sinergias de los factores que causaron tal perturbación (Odum et al, 1979). Por ejemplo, la falta de disponibilidad de agua puede ocasionar cambios muy fuertes en el funcionamiento del sistema edáfico, pero lo mismo puede ocurrir si hay demasiada agua: en ambos casos puede haber una sustitución completa de los principales elementos de las comunidades de microorganismos del suelo.

Por otra parte, la contaminación se produce cuando se agrega al sistema un elemento extraño (xenobiótico) o se produce un exceso de un elemento ya existente en el sistema. Este exceso, o la presencia de un xenobiótico, produce un daño a los bienes materiales, animales o vegetales de importancia para los humanos. En el caso de los cultivos, la contaminación por metales pesados, hidrocarburos y otros compuestos ha motivado el desarrollo de estrategias para limpiar la contaminación del suelo utilizando a las plantas, lo que llamamos fitorremediación.

Al sistema planta – microorganismos lo podemos ver como una unidad cuyo producto es la eliminación de los contaminantes y la producción de biomasa. Por ello, se requiere entender cuáles son las otras unidades que conforman este sistema, cómo interactúan entre sí, cómo se organizan, de qué manera les afectan los contaminantes del suelo y cómo se a la presencia de dichos contaminantes. Lo anterior con el objetivo de ayudar en el desarrollo de medidas que permitan un proceso de limpieza del suelo más eficiente de remoción de contaminantes.

Las redes tróficas microbianas del suelo funcionan de una manera distinta de las redes tróficas de organismos macroscópicos. Las redes tróficas que van de los productores primarios hasta los macro depredadores normalmente son cortas en la cantidad de especies, pues la productividad de cada nivel trófico es muy baja, de solo el 10% (se les considera como muy eficientes en la disipación de la energía). Mientras que las redes tróficas microbianas son más eficaces en la transformación de la biomasa (Clarholm, 1994, Bonkowski, 2004). En estas redes el aumento de

las especies conlleva a una mejora en la utilización de la energía para el sistema pues su capacidad de fijación de biomasa está alrededor del 45 % (Clarholm, 1994). A este fenómeno se le refiere como la paradoja del circuito microbiano (Bonkowski, 2004), el cual explica la productividad y la diversidad tan altas que pueden tener los sistemas basados en microorganismos (Bowler et al, 2009). Otra consecuencia de esta estructuración de los sistemas microbianos es la altísima diversidad de especies que pueden contener, lo que da por resultado una alta redundancia en el sistema. Al ser diferentes especies que desarrollan una misma actividad se asegura que el sistema funcione a pesar de las fluctuaciones ambientales que pueden favorecer a un grupo de especies en detrimento de otras. Lo mismo sucede con los eventos de contaminación: cuando un contaminante llega al suelo, éste elimina a algunas especies microbianas, favorece a otras y es indistinto para otras más (Mondragón-Camarillo, 2007; Cortés-Pérez, 2009).

Para darnos una idea de las proporciones en las que se encuentran los organismos de las redes tróficas del suelo, baste decir que en un metro cuadrado puede haber 760 g de hojarasca, 3.7 g de bacterias, 45 g de hongos y solo 0.1, 0.2 y 0.3 g de protozoos, nemátodos y enquistados (Wood, 1995, citado en Rodríguez Zaragoza 2000). Sin embargo, la cantidad de especies en ese lugar se puede contabilizar por miles de bacterias y hongos, cientos de protozoos, decenas o cientos de nemátodos y decenas de enquistados. Los protozoos son un puente importante entre la mesofauna y la microflora, pues, aunque hay grupos de nemátodos que se alimentan de bacterias, éstos crecen mejor cuando se incluyen a los protozoos en su dieta (Anderson et al., 1978). Además, algunos protozoos son los principales depredadores en poros de suelo menores de 2 micras de diámetro.

De los diferentes grupos de protozoos del suelo se han reportado 400 especies de ciliados (Couteaux y Darbishire, 1998) 260 especies de flagelados (Foissner, 1991), y 140 especies de amebas desnudas (Rodríguez-Zaragoza, 2000). Estos grupos también presentan preferencias alimenticias que los pueden catalogar como bacterívoros, fungívoros, algívoros, carnívoros y omnívoros (Rodríguez Zaragoza et al., 2004).

Los suelos de cultivo presentan una perturbación (la preparación del suelo) que es recurrente y solo permite el establecimiento de especies de protozoos comunes y raras. Las comunidades de protozoos están formadas por especies dominantes, comunes y raras en ambientes sin

perturbación recurrente (Mondragón-Camarillo, 2007; Cortés-Pérez, 2009). En el suelo con contaminación crónica por combustóleo se encontró que hay una comunidad de protozoos estructurada, con especies dominantes comunes y raras. Además, algunas de las especies que eran raras en el suelo no contaminado han pasado a ser dominantes y comunes en el que tiene al combustóleo (Mondragón-Camarillo, 2007; Cortés-Pérez, 2009). Los suelos contaminados con combustóleo mostraron menor riqueza de especies que los no contaminados, pero la diferencia entre ellos no fue estadísticamente significativa. Sin embargo, la distribución de los grupos tróficos mostró la ausencia total de especies carnívoras, de las que se alimentan de hongos, y las que se alimentan de levaduras (Mondragón-Camarillo, 2007; Cortés-Pérez, 2009). Este último grupo tiene importancia porque se ha reportado ya una especie de levadura que puede utilizar al petróleo como única fuente de carbono y la presencia de depredadores de este tipo de microorganismo en el suelo nos indicaría la posible existencia de levaduras degradadoras de este contaminante.

Por otra parte, las comunidades microbianas del suelo también se ven afectadas, de manera indirecta, por el tipo de materia orgánica que enriquece el suelo (Rodríguez-Zaragoza et al., 2008). Puede inferirse que las comunidades microbianas se acoplan y moldean al tipo de materiales que tienen disponibles (Rodríguez Zaragoza et al, 2008, Steinberger et al, 2009) De esta manera, los grupos funcionales de bacterias que convendría existiesen en un suelo rico en hidrocarburos serían las fijadoras de nitrógeno, solubilizadoras de fósforo, y las degradadoras de moléculas orgánicas de cadena larga. Estos grupos son muy importantes para la degradación del petróleo en el suelo porque todos los sistemas terrestres están limitados principalmente por la biodisponibilidad de nitrógeno (Whitford, 2002). Además, las moléculas de hidrocarburos son extremadamente pobres en nitrógeno (si es que tienen algunas moléculas biodisponibles) y la disponibilidad de fósforo es también determinante en la vida de los microorganismos, no solo para la fijación biológica del nitrógeno. Con el aporte de estos dos elementos críticos para su desarrollo, los consorcios microbianos podrían fabricar las moléculas esenciales para la vida partiendo de los esqueletos carbonados de los hidrocarburos. Sin embargo, para que este proceso pueda acelerarse, se requiere mantener en fase de crecimiento exponencial a los consorcios microbianos encargados de la degradación. Esta última es la principal razón para buscar protozoos y nemátodos tolerantes a los hidrocarburos, pues representan el eslabón que asegura el

metabolismo de los hidrocarburos por las redes tróficas del suelo. Esta es la principal hipótesis bajo la cual se está trabajando en el laboratorio de microbiología de UBIPRO.

Los estudios de microorganismos del suelo normalmente toman solo las profundidades de 0 – 30 cm de profundidad por ser la parte del suelo donde se lleva a cabo la mayor actividad de los microorganismos. Sin embargo, en algunos tipos de suelo puede haber mayor actividad a los 50 cm de profundidad, donde la fijación biológica de nitrógeno también puede llevarse a cabo (Rodríguez Zaragoza, et al., 2008; Ruíz et al 2008). Por esta razón es muy importante determinar qué factores promueven o inhiben la actividad de las nitrogenasas en el suelo, ya que es una condición que promueve la degradación de los hidrocarburos. Asimismo, es necesario determinar los cambios de las especies microbianas que ocurren como consecuencia de la contaminación y determinar cómo se lleva a cabo el ensamblaje de bacterias degradadoras de hidrocarburos, fijadoras de nitrógeno y solubilizadoras de fósforo para mejorar la biorrestauración del suelo. Esto último aunado a la demostración del efecto positivo que tendría la depredación de los protozoos, nemátodos y rotíferos en la eficiencia de remoción de hidrocarburos sería una base para mejorar la eficiencia de los sistemas de fitorremediación de suelos contaminados. Finalmente, también existe el uso potencial de las bacterias fijadoras de nitrógeno de vida libre como biofertilizantes en los suelos degradados por contaminación con hidrocarburos.

Existen varios géneros de bacterias fijadoras de nitrógeno de vida libre (Estrada de los Santos et al, 2001; Ruiz et al., 2008), pero su diversidad y eficiencia de fijación ha sido poco estudiada, debido a que la mayor parte del nitrógeno disponible en el suelo se le atribuye a la fijación simbiótica. Si el nitrógeno fijado por las bacterias de vida libre pudiera estar disponible más rápidamente que el fijado en los nódulos de las plantas, estos géneros tendrían mayor relevancia en el proceso de depuración de contaminantes en el suelo del que se les reconoce en la actualidad. Por ello, la fase actual de investigación en esta línea es el establecimiento de microcosmos de suelo donde pueden someterse a prueba varias de las hipótesis aquí planteadas.

Por otra parte, será necesario continuar con el muestreo de suelos recién contaminados con hidrocarburos y de los que tienen contaminación crónica para tener el inventario de bacterias, protozoos, nemátodos y otros invertebrados tolerantes, resistentes y favorecidos por los hidrocarburos con potencial para su uso en la limpieza de suelos contaminados. Este último punto exige un estudio taxonómico de las especies aisladas y cultivadas que ayudará a determinar la

riqueza de especies no cultivables en los lugares contaminados, mediante los estudios moleculares.

LITERATURA CITADA

- Anderson, R. V., Elliot, E. T., McClellan, J. F., Coleman, D. C., Cole, C. V., and Hunt, H. W., (1978). Trophic interactions in soils as they affect energy and nutrient dynamics. 111. Biotic interactions of bacteria, amoebae and nematodes, *Microb. Ecol.*, 4:361.
- Bonkowski M. (2004). Protozoa and plant growth: the microbial loop in soil revisited. *New Phytologist*, 162: 617-631.
- Bowler, C., Karl, D. M. and Colwell, R. R. (2009) Microbial oceanography in a sea of opportunity *Nature*, 459: 180 – 184
- Buée, M., De Boer, W., Martin, F, van Overbeek, L., and Jurkevitch E. (2009). The rhizosphere zoo: An overview of plant-associated communities of microorganisms, including phages, bacteria, archaea, and fungi, and of some of their structuring factors. *Plant Soil*, 321:189–212
- Clarholm, M. (1994). The microbial loop in soil. En Ritz K. Dighton J, Ciller KE (eds) *Beyond the biomass*. British Society of Soil Science
- M.-M. Cou teaux, J.F. Darbyshire (1998), Functional diversity amongst soil protozoa, *Appl. Soil Ecol.* 10 229–237
- Cortés Pérez, S. (2009). Cambio de la comunidad de amebas desnudas en suelo contaminado por combustóleo en el municipio Jalacingo, Veracruz. Tesis de Maestría, Posgrado en Ciencias Biológicas de la UNAM
- Estrada-de los Santos, P., Bustillos-Cristales R., and Caballero-Mellado, J. (2001). *Burkholderia*, a Genus Rich in Plant-Associated Nitrogen Fixers with Wide Environmental and Geographic Distribution. *Applied and Environmental Microbiology*, 67: 2790–2798
- Foissner, W. (1991) Diversity and ecology of soil flagellates. En: Patterson and Larsen (Eds). *The biology of Free-Living Heterotrophic Flagellates*. Carendon Press, Oxford UK p.p. 93-112.
- González Ruiz, T., Rodríguez Zaragoza, S., and Ferrera Cerrato, R. (2008). Fertility islands around *Prosopis laevigata* and *Pachycereus hollianus* in the drylands of Zapotitlán Salinas, México. *J. Arid Environments* 72: 1202 – 1212
- Jones, D. L., Nguyen, C., and Finlay, R. D. (2009). Carbon flow in the rhizosphere: carbon trading at the soil–root interface. *Plant Soil* 321:5–33
- Mondragón Camarillo, L. (2007). Efecto del combustóleo sobre la comunidad de ciliados y flagelados de un suelo de cultivo en Jalacingo, Ver. Tesis Licenciatura FES Iztacala UNAM.
- Odum, E., Finn, J.T., and Franz, E.H. 1979. Perturbation theory and the subsidy-stress gradient. *Bioscience* 29, 349–352
- Rodríguez-Zaragoza, S. (2000). Variación de la Comunidad de Amebas Desnudas en Respuesta a la Perturbación de un Suelo Forestal de Encino- Pino en Villa del Carbón. Estado de México. Tesis Doctoral, Escuela Nacional de Ciencias Biológicas, Instituto Politécnico Nacional. México
- Rodríguez-Zaragoza, S., and Steinberger, Y. (2004). Seasonal Dynamics of Amoebae in *Zygophyllum dumosum* Root Canopy, Negev Desert, Israel. *Pedobiologia*, 48: 277-281.
- Rodríguez Zaragoza, S., González-Ruiz T., González-Lozano E., Lozada-Rojas, A., Einav Mayslish-Gati and Steinberger Y. (2008). Vertical Distribution of a soil microbial community as affected by plant ecophysiological adaptation in a desert ecosystem. *European Journal of Soil Science*, 44: 373 – 380
- Steinberger Y., Shamir, I., Pen-Muratov, S., and Rodríguez-Zaragoza, S. (2009). Seasonal effect of three desert halophytes on soil microbial functional diversity. *Microbial Ecology*
- Whitford, W.G. (2002). *Ecology of Desert Systems*. Academic Press, Great Britain.