

LA ACTIVIDAD MICROBIANA: UN INDICADOR INTEGRAL DE LA CALIDAD DEL SUELO (1)

Jairo Ricardo Mora Delgado (2)
Estudiante de Doctorado de la Universidad Nacional

RESUMEN

La estimación de la respiración del suelo da una idea de la dinámica de su biota y, por lo tanto, de los procesos metabólicos que en él se desarrollan; tales procesos varían en función de factores biofísicos y climáticos del suelo y del uso de la tierra, por lo cual su medición es un indicador de la biomasa microbiana presente. La actividad microbiana se desarrolla en función de factores intrínsecos y extrínsecos al sistema suelo, por lo cual constituye un indicador de la dinámica del suelo y de la salud del recurso, pues una buena actividad microbiana puede ser el reflejo de óptimas condiciones físicas y químicas que permitan el desarrollo de los procesos metabólicos de bacterias, hongos, algas y actinomicetos y de su acción sobre los substratos orgánicos.

En el presente documento se registran los resultados y análisis de un experimento en el cual se determinó indirectamente la actividad microbiana mediante la medición de CO₂ desprendido por unidad de tiempo; los resultados obtenidos se expresan en mg. de CO₂ por 100 gr. de suelo en 96 horas y se utilizó el método analítico descrito en el "Manual de Métodos Analíticos de Laboratorio de Suelos" del IGAC (1990). El experimento se realizó con el propósito de verificar la siguiente afirmación a manera de hipótesis de trabajo: La producción de CO₂ se reduce entre más alejado del rizoplaneo de la planta esté el volumen de suelo, debido a una menor influencia de la dinámica rizosférica. Complementariamente, se realizan algunas reflexiones a manera de hipótesis de trabajo acerca de las posibles causas de la variabilidad de la actividad microbiana encontrada y de los posibles efectos sobre el medio ambiente.

PALABRAS CLAVE

Suelo, actividad microbiana.

¿QUÉ REPORTA LA LITERATURA?

En el presente trabajo se entiende como variabilidad espacial de la actividad microbiana, los cambios que se expresan en la actividad de los microorganismos descomponedores, causados por el uso de la tierra y/o las condiciones ambientales (clima, potencial redox, acidez, temperatura, humedad, etc.) del suelo, la atmósfera y el agua. Por lo tanto, se considera necesario revisar algunos reportes de la literatura acerca de la incidencia de algunos de estos factores sobre la biomasa y actividad microbiana del suelo; no obstante, es necesario registrar algunas notas introductorias sobre los diferentes modelos de fraccionamiento de la materia orgánica del suelo, puesto que la biomasa microbiana forma parte de lo que Parton (1987) denomina Fracción Activa: fracción responsable de la mayor parte del CO₂ desprendido en los procesos de respiración.

En la historia de la ciencia del suelo se han elaborado una variedad de modelos de fraccionamiento de la materia orgánica: Jenny, (1941), Henin, et al (1945), Jekinson y Rainer (1977), Paul y Ban Veen (1978), Ban ven y Paul (1981), Partón (1987), entre otros, han propuesto modelos que se basan en la descomposición y flujos de C y N a través de diferentes compartimentos. Según el modelo de Parton (1987), la dinámica de la materia orgánica del suelo se desarrolla en tres compartimentos a saber: pool activo, pool lento y pool pasivo. Burbano (1984) sugiere que el esquema conceptual de la dinámica de la materia orgánica propuesto por Parton et al. (1987) considera que la MOS comprende tres fracciones con tiempos medios de permanencia cada vez mayores, los cuales son: MOS activa (1-2 años tiempo medio de permanencia); MOS lenta (20-50 años); MOS pasiva (800-1000 años).

La materia orgánica activa, que representa al rededor del 10-20 % de la materia orgánica total del suelo, está constituida por la microbiota edáfica, responsable de los procesos de descomposición de los substratos orgánicos (Fracción Lábil) y de la resíntesis de sustancias que dan origen a otros productos metabólicos como mucilagos, gomas, ácidos, enzimas y polisacáridos extracelulares, y por supuesto CO₂. De tal manera que la medición del dióxido de carbono respirado es una estimación de la actividad y, por lo tanto, de la presencia microbiana; tal actividad varía en función de diferentes factores, como el uso del suelo, mineralogía, cobertura vegetal, prácticas de manejo, calidad de los residuos que entran al sistema, entre otros.

INFLUENCIA DEL USO DEL SUELO SOBRE EL CONTENIDO EN MATERIA ORGÁNICA.

Los cambios en el uso del suelo influyen en su contenido de materia orgánica por dos vías: alterando el aporte anual que procede de la muerte de plantas y animales, y variando el ritmo con que se destruye esta materia orgánica; normalmente, es imposible separar estos dos procesos cuando se analizan los resultados de una variación determinada en el manejo del suelo (Jenkinson, 1992). Investigaciones desarrolladas en Rothamsted, proporcionan ejemplos de la variación del contenido de materia orgánica cuando se modifica el uso, o el manejo, de un suelo; otros sistemas de explotación agrícola, pueden observarse en una revisión de Campbell.

En el estudio realizado por el Instituto Geográfico Agustín Codazzi (1993), donde se evaluó la distribución de las poblaciones de hongos, actinomicetos y bacterias, bajo diferentes usos de la tierra, se llegó a la conclusión de que los suelos bajo bosque presentan el más alto índice de diversidad y de riqueza biológica, como también la tasa más alta de producción de CO₂, en tanto que la mayor densidad poblacional fue aislada en suelos de piedemonte y valles, donde los últimos presentan el número más alto de hongos y bacterias. Los suelos bajo pasto Braquiaria registraron la tasa más alta de producción de bióxido de carbono. Es evidente que el cultivo hace más favorable las condiciones para la proliferación bacteriana (Alexander, 1980, citado por IGAC).

Los agentes responsables de los procesos de degradación y síntesis de materia orgánica son los organismos vivos del suelo, tanto animales como vegetales. Esos organismos producen una infinidad de reacciones bioquímicas y, en la medida que procesan la materia orgánica, suceden alteraciones físico-estructurales el suelo (Brady, 1989).

FACTORES AMBIENTALES QUE INFLUYEN EN LA DESCOMPOSICIÓN

Según Jenkinson (1992), los factores involucrados en la actividad microbiana (temperatura, pH, humedad, disponibilidad de O₂, nutrientes inorgánicos, accesibilidad al sustrato, etc.) influyen en la descomposición de ambas clases de materiales orgánicos: residuos frescos añadidos al suelo y compuestos orgánicos humificados.

La actividad microbiana, medida por el CO₂ desprendido, está fuertemente influenciada por el potencial hídrico. Suelos desecados hasta un potencial hídrico de -10 MPa liberan CO₂ con una velocidad del orden del 50% de la observada si los suelos son incubados con un contenido óptimo de humedad, normalmente con un potencial hídrico comprendido entre -20 y -50 kPa. Cuando el potencial hídrico alcanza valores muy negativos, la actividad microbiana cesa (Jenkinson, 1992). Este efecto negativo de las condiciones de sequía puede ser contrarrestado por el papel amortiguador de las fluctuaciones de potencial de agua que realizan los polisacáridos extracelulares.

La vegetación así como los exudados que producen algunas raíces, cambian las propiedades físicas y químicas de los suelos; en particular, la estructura, la porosidad, el pH y el potencial redox, factores que en su conjunto actúan de un modo u otro para influir sobre la densidad y la actividad de los microorganismos (IGAC, 1993).

La edad de la planta también altera la flora edáfica, pues parece que los microorganismos responden más a las secreciones de la raíz que a los tejidos en descomposición; por otra parte, la forma de enraizamiento de las plantas modifica algunas propiedades del suelo. En este sentido es notorio el papel de los pastos Braquiaria, especialmente en la modificación de la estructura, favoreciendo el crecimiento de los microorganismos así como sus funciones (IGAC, 1993).

Las prácticas de cultivos ejercen numerosos efectos biológicos directos e indirectos sobre las poblaciones microbiales del suelo. La influencia del arado es muy intensa sobre las poblaciones de bacterias inmediatamente después de la ruptura del suelo, el número de microorganismos aumenta 20 ó 30 veces (Gilleman y Montegut, 1956 citado por Alexander, 1980). Esto debido a la modificación de las condiciones de porosidad y por lo tanto de el flujo de gases y agua a través de los espacios vacíos.

Con relación a la temperatura, la ley de Van't Holf (en la que Q₁₀, relación entre las velocidades de reacción a las temperaturas T y T+10, en grados centígrados, tiene un valor comprendido entre 2 y 3) se aproxima a la descomposición de la materia orgánica en el suelo en un rango de temperatura variable entre 10 y 40°C (Jenkinson, 1992). La mayoría de las mediciones que relacionan la actividad microbiana con la temperatura muestran que el crecimiento en la actividad es nulo a 0°C, sólo algunas bacterias psicrófilas son capaces de crecer a temperatura de congelamiento. A los 10°C de temperatura la actividad microbiana se dispara hasta llegar a un tope entre los 25-35 °C donde se encuentra el óptimo de temperatura para el crecimiento de la mayoría de microorganismos (Paul y Clarck, 1989). Una observación interesante es que la temperatura ejerce un efecto pronunciado sobre la liberación de CO₂ del suelo proveniente de la respiración microbiana (Gresi, 1992).

Con respecto a la disponibilidad de oxígeno, se ha establecido que la descomposición es incompleta y muy lenta en condiciones de anaerobiosis. Cuando los suelos se humedecen en forma tal que los macroporos quedan llenos de agua la descomposición de la materia orgánica queda limitada por la velocidad con que el oxígeno puede difundirse hasta los puntos con actividad microbiana (Paul y Clarck, 1989).

DESCOMPOSICIÓN DE LOS RESIDUOS VEGETALES

Con tiempo suficiente, todos los compuestos vegetales, si se exceptúan los carbonizados, pueden descomponerse en los horizontes superficiales del suelo, húmedos y aireados. Característicamente, esta descomposición se realiza en dos etapas: durante la primera fase (fase rápida) se descompone el nuevo sustrato y, simultáneamente, se sintetizan por los microorganismos que componen la biomasa del suelo, productos secundarios. Esta nueva biomasa y sus productos metabólicos son, a su vez, sustratos para la segunda fase, que es mucho más lenta. Los resultados obtenidos por Sorencen explican ambas fases: cuando se descompuso en el suelo celulosa marcada; en dicho experimento se observó que más del 50% del C de la celulosa evolucionó en los 30 primeros días (Jenkinson, 1992).

En un experimento conducido en la costa pacífica de Nariño, en el cual se adicionaron nutrientes minerales y glucosa, se demostró que las mayores producciones de CO₂ correspondieron a los tratamientos que llevaban glucosa, siendo la tendencia similar en suelos con altos y bajos valores de carbono orgánico. La mineralización de la materia orgánica fue mejor en los primeros días de incubación porque durante ese período existió un mayor porcentaje de compuestos orgánicos solubles, a los cuales los microorganismos se ataron con preferencia, quedando para etapas posteriores la celulosa, la hemicelulosa y la lignina, que son más difíciles de ser atacadas debido a su alto peso molecular y a una mayor estabilidad de sus enlaces orgánicos (Burbano, 1989).

Los residuos vegetales con elevado contenido de lignina y otros polifenoles son más resistentes a la descomposición que los materiales pobres en estos compuestos. Así, la hojarasca de robles y hayas, ambas con elevada relación C/N y ricas en polifenoles, se descomponen con relativa lentitud si se compara con la del fresno, aliso, olmo o avellana, ricas en nitrógeno y carbohidratos solubles y pobres en polifenoles (Jenkinson, 1992).

En cuanto a la disponibilidad de nutrientes y su incidencia en la descomposición de los materiales orgánicos se puede señalar de acuerdo con Jenkinson (1992) que el nutrimento más solicitado es el nitrógeno, y no es sorprendente que por esta razón sea el elemento que con más frecuencia limita la actividad microbiana del suelo y, por lo tanto, la descomposición de los materiales orgánicos. Además, anota que la falta de fósforo, azufre y calcio puede limitar la actividad microbiana in vitro; y que en condiciones naturales de los suelos agrícolas la descomposición de los residuos es limitada por otros elementos diferentes al nitrógeno.

LA RIZÓSFERA Y LA ACTIVIDAD MICROBIANA

Cardoso y Freitas (1988) manifiestan que el suelo rizosférico tiene características bien diferentes al suelo distante de las raíces, pues en la rizósfera hay mayor concentración de nutrientes orgánicos provenientes de las raíces, los cuales favorecen el crecimiento de los microorganismos; se dice que en suelos arcillosos tal influencia de las raíces se limita a 2 mm. Al respecto, Burbano (1989) aduce que la influencia de la rizósfera se extiende hasta 2 cm. del rizoplaneo; otros autores ponen el límite de 1 mm como la frontera rizosférica. El caso es que entre mayor sea la proximidad del suelo a la raíz, mayor es el efecto de la rizósfera.

De manera general, el número de microorganismos en la rizósfera (R) es mucho mayor que el número de microorganismos en el suelo no rizosférico (S); de tal manera que la relación R:S, generalmente es mayor que 1 (Cardoso y Freitas, 1988). A esta relación se la conoce como 'efecto rizosférico'. Según Cardoso y Freitas (1988), se ha comprobado que el aporte de exudados radicales en un cultivo de millo es de 1250 m³ anuales por hectárea.

Según Harris (1992) se ha establecido que los suelos con alto contenido de materia orgánica tienden a contener más organismos con demandas complejas, y que la fracción del suelo asociada a las raíces de las plantas (Rizósfera del suelo) posee un nivel más elevado de organismos con exigencias simples; aunque las aplicaciones subsiguientes parecen limitadas. En la rizósfera, donde son más abundantes los nutrientes orgánicos que en el conjunto del suelo, las algas son uno de los pocos grupos cuyo número disminuye. La flora fúngica libera generalmente menos CO₂ por unidad de carbono transformado aeróbicamente que los otros grupos microbiológicos, pues los hongos son más eficientes en su metabolismo (IGAC, 1993).

En la rizósfera usualmente hay poca cantidad de nitrógeno, con una relación C:N alrededor de 40:1. Las bacterias que proliferan en la rizósfera compiten por nitrógeno y además utilizan los materiales orgánicos liberados por las raíces (Gosz y Fisher, 1984, citados por Tisdall, 1996). Como se muestra en láminas de agar o en micrografías electrónicas, las bacterias predominantes en la rizósfera son Gram negativas (p.e. Flavobacterium, Arthrobacter, Pseudomonas, Rhizobium, y varias bacterias del ciclo del nitrógeno) (Foster, 1983, citado por Tisdall, 1996). La relación del número de bacterias Gram negativas en la rizósfera frente al suelo no rizosférico oscila de 5 a 2000, determinadas sobre agar (Tisdall, 1996).

MATERIALES Y MÉTODOS

Para determinar la incidencia de rizósfera sobre la actividad microbiana se tomaron muestras de suelo a tres distancias (3) respecto al cuello de la raíz, de tres plantas de cacao (repeticiones). En el momento de toma de la muestra el suelo estaba a capacidad de campo, por lo cual no fue necesario saturarlo, tal como

se recomienda en el "Manual de Métodos Analíticos de Laboratorio de Suelos" del IGAC (1990). Se siguió el procedimiento que a continuación se describe:

PROCEDIMIENTO

Se tomaron 100 g. de suelo, los cuales se introdujeron en frascos transparentes de boca ancha y se distribuyeron en el fondo de tal manera que la capa de suelo quedara lo más fina posible (en el manual de métodos se recomienda que la lámina sea de aproximadamente 2 cm.).
 Sobre la lámina de suelo se colocó un beaker con 10 ml. de NaOH (0.2 N).
 Se sellaron herméticamente cada uno de los frascos y se colocaron en un espacio oscuro a temperatura ambiente (4). Se hicieron 2 lecturas cada 96 horas.
 Se llevó un testigo en el cual se colocó NaOH, pero sin suelo.
 Para titular se agregó 1 ml. de solución de cloruro de bario y tres gotas de fenolftaleína a cada beaker; en seguida se tituló el NaOH de cada beaker con HCl (0.1N).
 Para hacer la segunda lectura, se colocaron nuevamente 10 ml. de soda en cada beaker.

CÁLCULO DE LOS RESULTADOS

Para calcular la cantidad de CO2 desprendido se parte del hecho que 1 ml. de NaOH (0.2N) corresponde a 0.00044 g. de CO2.

En el proceso de respiración, una parte de la soda se combina con el CO2 y otra parte queda libre; entonces se trata de determinar la porción de soda libre (en la titulación se utilizan n ml. de HCl 0.1N, correspondiente a n/2 ml. de NaOH 0.2N) y, por diferencia, calcular la cantidad consumida (10 - n/2). Esta cantidad al multiplicarla por 0.00044 proporciona la cantidad de CO2 desprendido.

Las reacciones que suceden en el proceso de respiración son:



RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Como se puede apreciar en el cuadro 1, el mayor desprendimiento de CO2 en un período de 96 horas, en las dos lecturas realizadas, es mayor en el tercio más próximo al rizoplano de la raíz. Esto corrobora la incidencia de la rizósfera sobre la actividad microbiana, pues en los espacios rizosféricos hay presencia de mayor cantidad de exudados, escamaciones, mucilagios y gomas fácilmente metabolizables por los microorganismos, de donde obtienen su energía y liberan CO2. Tal como lo sugieren Gosz y Fisher (1984) citados por Tisdall (1996) las raíces vivas liberan muchos tipos de materiales orgánicos dentro de la rizósfera (más o menos a 50 µm de la superficie de la raíz). Los tipos de bacterias de la rizósfera usualmente difieren de aquellos del suelo no-rizosférico.

También se nota un leve descenso en los niveles de bióxido de carbono desprendido entre las dos lecturas (96 y 192 horas), lo cual puede deberse a una declinación de la actividad microbiana por el agotamiento del sustrato orgánico en el suelo o por una reducción de las poblaciones microbiana derivadas de la primera razón.

Cuadro 1. Desprendimiento de CO2 cada 96 horas a tres distancias del cuello de la raíz (mg. 100g. suelo a la menos 1).

	T0	T1	T2	T3
Primera lectura	5	39	31	25
Segunda lectura	5	31	30	24
Total	10	70	61	49

En este orden de ideas, la estimación de la actividad microbiana puede constituir un importante indicador de la calidad del suelo, pues ésta se incrementa a medida que crecen las poblaciones de hongos, bacterias y

actinomicetos, actuando sobre los substratos orgánicos; es decir, que a la vez es un indicador de la magnitud de las poblaciones y de la calidad de los materiales orgánicos que han ingresado al suelo, en un substrato con altos contenidos de polifenoles, lignina y celulosa, el desprendimiento de CO₂ será menor que cuando los materiales expuestos a la descomposición microbiana son ricos en proteínas y azúcares; por otra parte, el desprendimiento de CO₂ es un indicador de los procesos de mineralización que se están desarrollando en el suelo y, por lo tanto, de la liberación de nutrimentos para las plantas. Un incremento en la actividad microbiana puede estar correlacionado también con la generación de productos metabólicos como polisacaridos extracelulares, enzimas y ácidos poliurónicos, muy importantes en la estabilización de los agregados del suelo.

Teniendo en cuenta que las mayores fuentes de C y N para los microorganismos rizosféricos son las células que se descaman de las raíces y los exudados radicales solubles, se entiende que el mayor desprendimiento de bióxido de carbono, y por lo tanto la mayor actividad microbiana, esté en el suelo próximo a la raíz (1/3). Como se puede ver en los análisis de varianza (Cuadros 2 y 3), en la primera lectura no se detectaron diferencias estadísticas entre los tratamientos; pero en la segunda sí se detectaron diferencias a un nivel de probabilidad del 5%.

Cuadro 2. Análisis de varianza primera lectura.

F. V.	G. L.	S. C.	C. M.	F. C.	F. T.
Tratamientos	2	0,019	0,009	1,50	4,26 NS.
Error	9	0,005	0,006		
Total	11	0,23	0,021		

NS. No significativo al 5 y 1%.

Cuadro 3. Análisis de varianza segunda lectura.

F. V.	G. L.	S. C.	C. M.	F. C.	F. T.
Tratamientos	2	0,00133	0,0007	9,082	4,26 *
Error	9	0,00065	0,00007		
Total	11	0,00198	0,021		

*Significativo al 5%.

CONCLUSIONES

La cantidad de bióxido de carbono desprendido osciló, en la primera lectura entre 39 y 24mg./100g. de suelo en 96 horas; en la segunda lectura, entre 31 y 24mg./100g. Rangos que se aproximan a los reportados en la literatura.

Aunque en la primera lectura no se detectaron diferencias significativas en el bióxido de carbono desprendido a diferentes distancias de la raíz, es claro que a medida que el suelo se aproxima a la raíz la actividad microbiana es mayor debido al efecto de la rizósfera.

La tendencia de los datos obtenidos demuestran que la actividad microbiana declina a medida que el suelo se aleja de la raíz.

Se pudo verificar la hipótesis de trabajo, tanto empírica como estadísticamente (al menos en la segunda lectura), pues a medida que el suelo se aleja del rizoplaneo, disminuye la actividad microbiana estimada por desprendimiento de CO₂.

La actividad microbiana estimada por desprendimiento de bióxido de carbono constituye un importante indicador de calidad del suelo, éste puede ser involucrado en un sistema de indicadores de fácil manejo para poder diagnosticar la capacidad y, por lo tanto, planificar el uso de tal recurso.

BIBLIOGRAFÍA

- BRADY, N.C. *Natureza e propiedades dos solos*. Livraria Freitas Bastos, 1989.
- BURBANO, H. *El Suelo: Una visión de sus componentes Biorgánicos*. Colciencias-Universidad de Nariño. Pasto, 1989.
- FASSBENDER, H. y BORNEMISZA, E. *Química de suelos con énfasis en suelos de América Latina*. 2a. Edición. San José de Costa Rica : IICA, 1987.
- GRESI, B.M. *Biomasa microbiana do solo: metodos de determjção e resultados recentes*. In : Simposio de Microbiologia do solo. Sao Paulo, 1992.
- HARRIS, P.J. *Ecología de la población del suelo*. En: *Condiciones del suelo y desarrollo de las plantas*. Comp. A. Wild. Madrid : Mundi-Prensa, 1992.
- I.G.A.C. *Aspectos ambientales para el ordenamiento territorial del occidente del departamento del Caquetá*. Bogotá : INPA-IGAC, 1993.
- I.G.A.C. *Manual de métodos analíticos de laboratorio de suelos*. Subdirección agrológica. Bogotá : IGAC, 1990.
- JENKINSON, D.S. *La materia orgánica del suelo: evolución*. En: WILD, A. *Condiciones del suelo y desarrollo de las plantas*. Madrid : Mundi-Prensa, 1992.
- PAUL, E.A. and CLARK, F.E. *Soil microbiology and biochemistry*. San Diego : Academic press Inc., 1989. 273 p.
- SIQUEIRA, J.O. and FRANCO, A.A. *Biocnologia do solo. Fundamentos e perspectivas*. Brasilia : Editora Gráfica, 1988. 235 p.
- TISDALL, J. M. *Formation of soil agregates and accumulation of soil organic mather*. In: CARTER, M. and STEWARD, B. A. *Structure and organic mather storage in agricultural soils*. Lewis Publishers, 1996.
-

NOTAS:

1. Trabajo experimental desarrollado para un Seminario Académico del Programa de Biología del suelo, Doctorado en Ciencias Agropecuarias, Universidad Nacional de Colombia-Palmira.
2. Zoot., MS. Desarrollo Rural.
3. Las tres distancias a que fueron tomadas las muestra en el espacio raíz-gotera representan los tratamientos: T1 = 1/3; T2 = 2/3; T3 = 3/3.
4. La metodología del IGAC recomienda incubar la muestra a 28oC, sin embargo en las condiciones del valle del Cauca, este requerimiento puede obviarse teniendo en cuenta que la temperatura ambiente oscila entre 25-20°C.

Close Window