

EFECTO RIZOSFERA DEL CULTIVO MAÍZ SOBRE ALGUNAS POBLACIONES MICROBIANAS Y CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS DE UN SUELO TROPICAL.

Rhizosphere effect of corn crop on some microbial populations and chemical properties of a tropical soil.

Aciego, Juan¹

¹ Universidad Central de Venezuela. Facultad de Agronomía. Instituto de Edafología. Maracay, Estado Aragua, Venezuela.

Resumen

Se realizó un estudio en la zona maicera del Estado Yaracuy con el objetivo de comparar la dinámica poblacional de microorganismos heterótrofos (bacterias en general, hongos, celulolíticos, *Bradyrhizobium sp.*) y quimiolitótrofos (nitritadores y nitratadores), la humedad y variables químicas (pH, CO, N total, relación C/N, N-NH₄⁺, N-NO₃⁻, P y K disponibles) entre dos posiciones de muestreo: el suelo entre hileras y dentro de hileras de siembra del cultivo del maíz. Esta última posición fue considerada como una aproximación al llamado efecto rizosfera. Las muestras fueron tomadas de la superficie del suelo (1-10 cm) en un Alfisol altamente degradado representativo de la zona, durante el ciclo del cultivo del maíz, mediante el uso de un barreno. El suelo dentro de las hileras presentó poblaciones de bacterias y hongos estadísticamente más altas que el suelo entre hileras. Con respecto a las variables físicas y químicas, entre las dos posiciones, hubo diferencias significativas en los contenidos de humedad, amonio, nitrato y potasio. Los resultados obtenidos sugieren un posible efecto de las raíces del maíz sobre las poblaciones microbianas dentro del hilo de siembra, enfatizando la importancia de definir la posición de muestreo de suelo con fines de análisis microbiológico en condiciones de campo bajo cultivo.

Palabras Claves: Efecto rizosfera, maíz, poblaciones microbianas, heterótrofos, quimiolitótrofos

Abstract

An study carried out in the corn zone of the Yaracuy State (Venezuela) compared the population dynamic of heterotrophic microorganisms (total bacteria, fungi, cellulolytic *Bradyrhizobium sp.*), chemiolitotrophic microorganisms (ammonium and nitrite oxidizers), soil moisture and soil chemical variables (pH, organic C, total N, C/N ratio, N-NH₄⁺, N-NO₃⁻, available P and K), between two different sample positions: between the rows and at the rows of a maize crop. This last position was regarded as an approximation to the rhizosphere effect. Samples were drawn from the surface (1-10 cm) of a degraded Alfisol during the crop cycle, by means of an auger. The soil at the rows had higher bacteria and fungi populations than between the rows. There were also significant differences in soil moisture, N-NH₄⁺, N-NO₃⁻ and K contents, between the two soil positions. Results suggest a possible effect of the maize roots on the microbial populations, underlining the importance of defining the sample position for microbiological analysis of soils under crop.

Key words: Rhizosphere effect, corn, microbial populations, heterotrophics, chemiolitotrophics

INTRODUCCIÓN

La rizosfera ha sido definida, en su término más amplio, como el volumen de suelo inmediato a las raíces, que está bajo la influencia directa de éstas. Los límites de la rizosfera no están claramente definidos; recientemente ha sido subdividida en rizoplano, rizosfera interior (endorrizosfera) y rizosfera exterior (ectorrizosfera). La extensión de la rizosfera varía dependiendo de las condiciones del suelo que afectan la difusión de solutos y sustancias volátiles desde la raíz, y su actividad biológica, pudiendo abarcar desde 1mm, hasta aproximadamente 10mm cuando difunden los volátiles (Bowen, 1993). La extensión de la rizosfera también depende del tipo de raíz de la planta y en las gramíneas que presentan una superficie radical muy alta, debido a su sistema radical fasciculado, prácticamente toda la masa del suelo puede considerarse rizosfera (Lynch y Wood, 1992).

Las raíces inducen cambios en las propiedades del suelo. La rizosfera es una zona de actividad biológica intensa, con una transferencia importante de agua y nutrientes, y generalmente, los microorganismos son encontrados en mayor nú-

mero y diversidad en la rizosfera comparado con el suelo no rizosférico. Estas diferencias son atribuidas, en parte, a los exudados radicales, a la alteración de los niveles de O₂-CO₂, y a los cambios en la disponibilidad de nutrientes, que a su vez dependen de la especie de planta y su estado de crecimiento, de la acidez del suelo y del estrés de humedad.

Se estima que para una misma especie microbiana, la relación entre el número presente en una unidad de masa de suelo de la rizosfera y el número presente en una cantidad equivalente de suelo no rizosférico puede ser mayor a 100 (R/S >100), (Bowen, 1993). Entre los microorganismos de la endo y ectorrizosfera, están significativamente presentes bacterias que solubilizan fosfato, silicato, carbonato, bacterias que reducen hierro, bacterias y hongos que degradan compuestos organo-metálicos, que producen ligandos, es decir, microorganismos capaces de disolver o depositar elementos minerales. Además de los microorganismos solubilizadores, en la rizosfera encontramos bacterias y hongos saprófitos, siendo las bacterias principalmente Gram-negativas no formadoras de esporas, así como también, una mayor proporción de formas cromógenas móviles, y más especies nitro fijadoras, amonificantes, nitrifi-

cantes, desnitrificantes y celulolíticas. En la rizósfera pueden presentarse, también, protozoarios y nemátodos depredadores de la microflora (Lynch y Wood, 1992; Berthelin *et al.*, 1994). La microflora saprofítica de la rizosfera incluye especies deletéreas y benéficas para el crecimiento de la planta y el rendimiento de los cultivos. Los microorganismos deletéreos afectan el crecimiento de la planta sin tener que parasitarla; sus actividades nocivas incluyen alteraciones de la suplencia de agua, iones, y sustancias que cambian las funciones de la raíz y/o limitan su crecimiento. Los microorganismos benéficos incluyen simbioses (fijadores de N₂ y hongos micorrízicos) y saprófitos de vida libre; estos últimos promueven la disponibilidad y consumo de nutrientes por la planta, provisión de sustancias de crecimiento, y supresión de microorganismos deletéreos de la rizosfera (Shippers *et al.*, 1987).

En Venezuela son pocos los estudios realizados para determinar el efecto de los cultivos en campo sobre las poblaciones microbianas que habitan la rizosfera. Por tal razón, se planteó realizar una investigación que permitiera comparar la dinámica poblacional de algunos grupos microbianos, y de las propiedades físicas y químicas del suelo en dos posiciones de muestreo diferentes: el suelo entre hileras y dentro de hileras durante el ciclo de cultivo del maíz.

MATERIALES Y MÉTODOS

Ubicación del ensayo de campo

El ensayo de campo se estableció en el Centro Experimental Yaracuy del FONAIAP (Fondo Nacional de Investigaciones Agropecuarias), localizado en el Municipio Peña, Distrito Yaritagua del Estado Yaracuy, a 10°05' de latitud Norte y 69°07' de longitud Oeste y a una altura de 320 m.s.n.m.

Siembra del maíz

El 06 de julio de 1993 se efectuó la siembra del maíz, en contorno y en forma manual mediante el empleo de una coa, en 4 parcelas de 25 x 5 m. La distancia de siembra fue de 96 cm entre hileras y 15 cm entre plantas, para una población total de 45.360 plantas/ha. La semilla usada fue la del híbrido PB8 que es la que comúnmente siembran los agricultores de la zona. Se realizó una fertilización superficial en bandas, a los siete días de la siembra del maíz, con 300 Kg.ha⁻¹ de la fórmula 12-12-17/2. El nitrógeno en este producto se encuentra en forma amoniacal. A los 28 días se hizo una aplicación superficial y en bandas de urea, en dosis de 50 Kg de Kg.ha⁻¹.

Muestreo del suelo

El suelo muestreado fue un Alfisol perteneciente a la serie Uribeque, con aproximadamente 4% de pendiente. Durante el ensayo de campo se hicieron en el tiempo 4 muestreos de suelo. El primer muestreo se hizo el 16 de julio (maíz de 10 días de edad); los muestreos restantes se hicieron el 13 de agosto (maíz de 38 días), el 21 de septiembre (maíz de 77 días, en formación de granos) y el 02 de diciembre (maíz de 146 días,

con granos maduros).

El muestreo del suelo entre hileras consistió en remover con un palín el primer centímetro superficial de suelo (por ser la porción más afectada por los factores ambientales) y tomar suelo en la zona comprendida entre las hileras de siembra del maíz, hasta una profundidad de 10 cm, con un barreno de 5.5 cm de diámetro. Se tomó por cada parcela dos muestras compuestas, cada una de las cuales se obtuvo a partir de la mezcla de 15 submuestras de suelo.

Para muestrear el suelo dentro de las hileras del maíz, se colocó el barreno entre dos plantas sucesivas de una misma hilera de siembra y se tomó la muestra a una profundidad de 10 cm, previa eliminación del primer centímetro de suelo superficial. Este procedimiento se siguió en la primera, segunda y tercera fechas de muestreo, para no sacrificar plantas que serían utilizadas en evaluaciones de rendimiento en otras investigaciones. En la última fecha de muestreo, las muestras de suelo se tomaron directamente del sitio donde se encontraba la raíz, previa eliminación de las plantas, las cuales ya estaban secas. Por cada parcela se recolectaron dos muestras compuestas, cada una se formó con la mezcla de 15 submuestras.

Todas las muestras compuestas fueron divididas en dos porciones y se empacaron en bolsas plásticas dobles. Una porción (mantenida a 4°C) para análisis microbiológico, y la otra para la determinación de la humedad gravimétrica y el análisis químico. Las muestras de suelo para análisis microbiológico que estaban saturadas de humedad se dejaron secar en el laboratorio durante 12 horas y, al igual que las no saturadas, se pasaron por tamiz de 1 mm.

Contaje de microorganismos

Las poblaciones de bacterias y hongos se cuantificaron por el método de la placa, y las de celulolíticos, nitrificadores, nitratores y *Bradyrhizobium spp.* por el método del número más probable (NMP). En ambos métodos de contaje se prepararon diluciones seriadas decimales del suelo tamizado, siguiendo el procedimiento descrito por Wollum (1982). En la preparación de las diluciones seriadas se usó como diluyente una solución buffer fosfato 1 mM con pH 7.2 (Schmidt y Belser, 1982). Los medios de cultivo usados fueron: agar extracto de suelo para bacterias, y agar rosa de bengala para hongos (Wollum, 1982); solución mineral de Winogradsky modificada por Szegi (1988) con tira de papel filtro, para celulolíticos; solución mineral para oxidadores de N-NH₄⁺ y de N-NO₂⁻ (Schmidt y Belser, 1982). Para el contaje de *Bradyrhizobium spp.* se utilizó la técnica de infección en plantas de frijol (*Vigna unguiculata Walp.*) con arena de río lavada como soporte (Vincent, 1970), y solución nutritiva sin N para plantas de Norris (1968).

Humedad gravimétrica y variables químicas

El contenido de humedad de las muestras de suelo fue determinado gravimétricamente (Pla, 1983). En la determinación de las variables químicas se utilizaron los siguientes mé-

todos: la extracción del $N-NH_4^+$ y $N-NO_3^-$ se realizó con solución KCl 2M; para la detección $N-NH_4^+$ se siguió el método de Kempers y Zweers (1986), y para la detección del $N-NO_3^-$ se utilizaron los reactivos sulfanilamida y N-(1-naftil)-etilendiamina ácida y una columna reductora de cadmio acoplado al aparato de flujo continuo. El carbono orgánico, por el método de Walkley-Black, y N total, por el método Kjeldhal modificado (U.C.V.,1993); P disponible, por el método colorimétrico con solución extractora Carolina del Norte y el reactivo vanadato-molibdato (U.C.V.,1993); K disponible, por extracción con solución Carolina del Norte y determinación mediante espectrofotómetro de absorción atómica (U.C.V.,1993); el pH en agua, relación 1:1 (U.C.V.,1993).

Análisis estadístico

Se usó un diseño completamente aleatorizado. El procesamiento de los datos se realizó usando el paquete estadístico SAS (1989). El efecto de los tratamientos sobre las variables consideradas, fue evaluado mediante análisis de varianza. Todas las variables fueron sometidas previamente a la prueba de normalidad de Will-Shapiro, y las que no mostraron una distribución normal fueron transformadas a raíz cuadrada y logaritmo. En la comparación de medias de tratamientos se usó la prueba de Rangos Múltiples de Duncan.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Bacterias, hongos y celulolíticos.

Las poblaciones de bacterias, hongos y celulolíticos en el suelo de las dos posiciones de muestreo se presentan en el cuadro 1. Se puede observar que en el caso de las bacterias y de los hongos, las poblaciones fueron significativamente más altas ($P < 0,1$) en el suelo dentro de las hileras del maíz a los 77 días de edad del cultivo, mientras que no hubo diferencias significativas en la población de celulolíticos. Las diferencias obtenidas en las poblaciones de bacterias y de hongos pudieran atribuirse al efecto rizosfera de las plantas de maíz, que estando en la fase de formación de granos habían alcanzado un buen desarrollo radical. Independientemente de la posición de muestreo, las poblaciones de bacterias y de hongos tendieron a ser más altas en el último muestreo, mientras que la población de celulolíticos tuvo un comportamiento fluctuante.

Nitritadores y nitratores

La población de nitritadores en el suelo dentro de las hileras del maíz fue significativamente más baja ($P < 0,1$) a los 10 y 77 días de edad del cultivo, mientras que para la población de nitratores no hubo diferencias significativas (Cuadro 1). En el primer muestreo el contenido de amonio fue significativamente más alto dentro de las hileras (Cuadro 2), como consecuencia quizás de la aplicación de la fertilización basal, la cual fue aplicada en bandas a ambos lados de la hilera. Es posible que el alto contenido de amonio en esta posición haya inhibido la multiplicación de los nitritadores. Según Harris (1992), niveles altos de amonio pueden resultar tóxicos para las bacte-

rias nitrificantes.

Cuadro 1. Cuantificación de poblaciones de microorganismos presentes en muestras de suelo tomadas entre hileras y dentro de hileras de maíz, a la profundidad de 1-10 cm. Los valores representan la media de 8 repeticiones.

Posición de muestreo	Muestreo (1)			
	1	2	3	4
Bacterias (ufc.1000.g suelo seco⁻¹)				
Entre hileras	90,1 a (2)	108,4 a	71,4 b	249,4 a
Dentro de hileras	87,6 a	117,1 a	115,4 a	224,0 a
Hongos (ufc.1000.g suelo seco⁻¹)				
Entre hileras	1,4 a	1,1 a	0,9 b	1,7 a
Dentro de hileras	1,2 a	0,8 a	1,2 a	1,3 a
Celulolíticos (ufc.1000.g suelo seco⁻¹)				
Entre hileras	217,7 a	92,7 a	25,0 a	83,0 a
Dentro de hileras	14,4 a ?	402,1 a	29,4 a	99,7 a
Nitritadores (en 1000.g suelo seco⁻¹)				
Entre hileras	5,4 a	12,4 a	49,6 a	15,5 a
Dentro de hileras	2,1 b	14,4 a	15,0 b	9,8 a
Nitratores (en 1000.g suelo seco⁻¹)				
Entre hileras	25,7 a	18,4 a	9,6 a	31,6 a
Dentro de hileras	7,0 a	85,3 a	11,4 a	11,2 a
Bradyrhizobium spp. (log)				
Entre hileras	4,5 a	3,8 a	4,4 a	4,5 a
Dentro de hileras	4,1 a	3,9 a	4,5 a	4,9 a

(1)Edades del cultivo: 10, 38, 77 y 146 días después de la siembra. (2)Números en columnas seguidos por la misma letra no son estadísticamente diferentes nivel de probabilidad del 90%, por la prueba de Rangos Múltiples de Duncan.

Con respecto a los nitratores, la población tendió a ser más alta en el suelo entre hileras durante el primer muestreo, no obstante que el contenido de nitrato fue significativamente más alto dentro de las hileras; en el segundo y tercer muestreos, la población tendió a ser más alta dentro de las hileras, pero no guardó relación con el contenido de nitrato (Cuadro 2). Esto corresponde con lo afirmado por Harris (1992), quien indica la necesidad de ser cauteloso cuando se estima la tasa de nitrificación a partir de la cuantificación de las poblaciones de nitrificantes. Normalmente la presencia de una elevada población de nitrificantes no necesariamente indica que se esté produciendo la nitrificación, sino que ésta se produjo en el pasado. Un hábitat con nitrificación activa pero sometido a fuerte lixiviación, desnitrificación o rápida absorción por las plantas, puede presentar concentraciones bajas de nitratos.

Cuadro 2. Contenido de humedad y variables químicas en muestras de suelo tomadas entre hileras y dentro de hileras de maíz, a la profundidad de 1-10 cm. Los valores representan la media de 8 repeticiones.

Posición de muestreo	Muestreo (1)			
	1	2	3	4
% H (g.g⁻¹)				
Entre hileras	12,6 a (2)	10,7 a	9,9 a	4,6 a
Dentro de hileras	11,1 a	8,5 b	8,4 b	4,7 a
Carbono orgánico (%)				
Entre hileras	0,7 a	0,5 a	0,8 a	0,8 a
Dentro de hileras	0,6 a	0,7 a	0,8 a	0,8 a
Nitrógeno total (%)				
Entre hileras	0,113 a	0,144 a	0,154 a	0,183 a
Dentro de hileras	0,108 b	0,145 a	0,130 a	0,177 a
Relación C:N				
Entre hileras	6,5 a	4,2 a	5,9 a	4,6 a
Dentro de hileras	5,8 a	5,5 a	6,5 a	4,9 a
pH (en agua 1:1)				
Entre hileras	5,88 a	5,73 a	5,37 a	5,62 a
Dentro de hileras	5,70 a	5,39 a	5,44 a	5,97 a
N-NH₄⁺ (µg.g suelo seco⁻¹)				
Entre hileras	2,1 b	7,7 a	4,9 a	5,2 a
Dentro de hileras	23,6 a	12,4 a	4,1 a	5,2 a
N-NO₃⁻ (µg.g suelo seco⁻¹)				
Entre hileras	16,4 b	6,1 a	7,9 a	16,3 a
Dentro de hileras	27,0 a	7,9 a	2,7 b	11,2 a
P disponible (µg.g suelo seco⁻¹)				
Entre hileras	32 a	39 a	32 a	37 a
Dentro de hileras	32 a	39 a	33 a	37 a
K disponible (µg.g suelo seco⁻¹)				
Entre hileras	92 a	57 a	57 a	136 b
Dentro de hileras	97 a	52 a	62 a	281 a

(1)Edades del cultivo: 10, 38, 77 y 146 días después de la siembra. (2)Números en columnas seguidos por la misma letra no son estadísticamente diferentes nivel de probabilidad del 90%, por la prueba de Rangos Múltiples de Duncan.

En el primer muestreo las plantas de maíz tenían 10 días de edad, por lo que su sistema radical estaba poco desarrollado y aún no contaba con una tasa de absorción de nutrientes lo suficientemente rápida como para utilizar el nitrógeno aplicado en la fertilización basal, acumulándose el amonio y el nitrato en esta zona. A partir del segundo muestreo, tanto el desarrollo radical del maíz como su tasa de absorción de nutrientes aumentan, disminuyendo no sólo las concentraciones de amonio y principalmente de nitrato, sino también el contenido de humedad del suelo dentro de las hileras (Cuadro 2).

Las poblaciones de nitrificadores en las dos posiciones del suelo siguieron tendencias parecidas, ascendentes al comienzo y descendentes al final del ciclo del cultivo; pero las poblaciones de nitrificadores presentaron tendencias diferentes.

Bradyrhizobium spp.

No hubo diferencias estadísticamente significativas entre las poblaciones de bradyrizobios dentro y entre las hileras del maíz (Cuadro 1); sin embargo, a partir del segundo muestreo la población tendió a ser más alta en el suelo dentro de las hileras.

Humedad gravimétrica (% H)

Entre el primer y tercer muestreos, el contenido de humedad fue más bajo dentro de las hileras que entre ellas, pero sólo hubo diferencias estadísticamente significativas en el segundo y tercer muestreos (Cuadro 2), momentos en los cuales la absorción de agua por las raíces fue más importante. El contenido de humedad en ambas posiciones de suelo tendió a disminuir con el tiempo.

Carbono orgánico (% CO)

No hubo diferencias estadísticamente significativas entre los contenidos de CO de las dos posiciones de suelo en ninguno de los muestreos efectuados (Cuadro 2).

Nitrógeno total (N total)

El contenido de N total fue significativamente más alto ($P < 0,1$) en el suelo entre hileras en el primer muestreo (Cuadro 2), lo que pudo ser ocasionado por el aporte de N orgánico de la biomasa microbiana, ya que los más altos valores de población de todos los grupos microbianos cuantificados ocurrieron en el suelo entre hileras para ese muestreo. El contenido de N total en las dos posiciones de muestreo tendió a aumentar con el tiempo; sin embargo, dentro de las hileras ocurrió un descenso en el tercer muestreo que pudo ser ocasionado por una mayor mineralización del N orgánico, produciéndose N amoniacal y nítrico que posiblemente fue absorbido por el maíz.

Relación C/N

Aunque la relación C/N del suelo dentro de las hileras del maíz no fue significativamente diferente a la del suelo entre hileras (Cuadro 2), tendió a ser ligeramente más alta a partir del segundo muestreo, debido quizás al mayor aporte de CO por las raíces y la biomasa microbiana, y al más bajo contenido de N total. La relación C/N siguió tendencias similares en ambas posiciones del suelo, pudiendo las variaciones en el tiempo ser debidas a los cambios ocurridos en la actividad microbiana.

Amonio (N-NH₄⁺)

Debido a la fertilización basal y al reabonamiento con urea, el contenido de N-NH₄⁺ fue más alto en el suelo dentro de

las hileras, en el primer y segundo muestreo; en los muestreos siguientes, los valores para las dos posiciones del suelo fueron semejantes (Cuadro 2).

El contenido de $N-NH_4^+$ en el suelo dentro de las hileras siguió una tendencia al descenso desde el primero al tercer muestreo, debido quizás a su consumo por el maíz y por los microorganismos, y en el último muestreo aumenta ligeramente, posiblemente debido a la mineralización de los tejidos radicales muertos, ya que para este momento hubo un aumento en las poblaciones de bacterias y celulolíticos (Cuadro 1).

Nitrato ($N-NO_3^-$)

El contenido de $N-NO_3^-$ fue significativamente más alto ($P < 0,1$) en el suelo dentro de las hileras en el primer muestreo (Cuadro 2), posiblemente debido a la nitrificación del nitrógeno amoniacal aplicado en la fertilización basal, y fue significativamente más bajo en esta posición durante el tercer muestreo, debido quizás a su absorción por el maíz. El contenido de $N-NO_3^-$ dentro de las hileras, al igual que el $N-NH_4^+$, siguió tendencia al descenso desde el primer hasta el tercer muestreo, debido quizás a su absorción radical, y luego se incrementó en el último muestreo probablemente como resultado de la mineralización microbiana de la materia orgánica.

Fósforo y potasio (P y K disponibles)

No se observaron diferencias significativas en el contenido de P disponible entre las dos posiciones del suelo (Cuadro 2), ni siquiera a nivel del primer muestreo, cuando por efecto de la fertilización basal era factible la ocurrencia de diferencias; sin embargo, la poca movilidad de este elemento puede explicar los resultados obtenidos. Los contenidos de P en las dos posiciones del suelo mostraron tendencias similares, coincidiendo los ligeros incrementos producidos con aumentos en las poblaciones de bacterias, hongos y celulolíticos, lo que sugiere un aporte del elemento a través de la mineralización de la materia orgánica. El contenido de K disponible fue significativamente más alto ($P < 0,1$) dentro de las hileras sólo en el último muestreo (Cuadro 2), debido quizás al aporte de las raíces del maíz en descomposición. El contenido de K en las dos posiciones del suelo siguió tendencias parecidas; los niveles ligeramente más altos en el primer muestreo pueden atribuirse a la fertilización basal, mientras que el descenso ocurrido en el segundo muestreo probablemente se debió a la asimilación microbiana durante la descomposición de la materia orgánica, así como también a un efecto de lavado producido por las lluvias. El ascenso ocurrido en el último muestreo pudo ser consecuencia de la mineralización de la materia orgánica.

Reacción del suelo (pH)

No hubo diferencias significativas en los valores de pH entre las dos posiciones del suelo (Cuadro 2). En el primer y segundo muestreos, el pH tendió a ser ligeramente más bajo dentro de las hileras, lo que pudo ser un efecto de la nitrificación del amonio aplicado en la fertilización. El pH del suelo en esta posición aumentó ligeramente en el último muestreo, lo

que quizás se debió a la incorporación en los coloides del suelo de bases cambiables como calcio, potasio y magnesio, provenientes de la mineralización del tejido radical.

Los resultados obtenidos sugieren la existencia de diferencias entre las dos posiciones del suelo en lo que respecta a las poblaciones microbianas y a las variables físicas y químicas evaluadas. Estas diferencias indican un efecto positivo de las raíces del maíz, apreciable a partir del segundo muestreo, cuando las plantas ya habían alcanzado 38 días de edad. De acuerdo con lo señalado por León (1993) es de suponer que para ese momento el sistema radical era extenso pudiendo alcanzar distancias horizontales superiores a los 15 cm que fue la distancia de siembra usada en la hilera. León (1993) mediante un análisis de distribución de raíces por el método de la trinchera, comprobó que la más alta concentración de raíces del maíz ocurrió en los diez primeros centímetros verticales del suelo. Por consiguiente, es posible que en los muestreos de suelo dentro de las hileras de siembra se estaba incluyendo algún efecto de la rizosfera del maíz.

Aunque generalmente las poblaciones microbianas tendieron a ser mayores en el suelo dentro de las hileras (con excepción de los nitrificadores), sólo hubo diferencias estadísticamente significativas en las poblaciones de bacterias y hongos a nivel del tercer muestreo, es decir, cuando las plantas tenían 77 días de edad. Estos resultados tienen cierta semejanza con los obtenidos por Kirchner *et al.* (1993), quienes cuantificaron las poblaciones microbianas y evaluaron sus actividades en muestras de suelo tomadas dentro de hileras de maíz y entre hileras. Los autores señalaron que las poblaciones de bacterias totales, hongos, actinomicetos, y la biomasa microbiana fueron más altas en la posición de muestreo entre plantas que entre hileras, pero que solamente los hongos mostraron diferencias estadísticamente significativas. Las comparaciones entre las dos posiciones de muestreo solamente se realizaron antes de la cosecha, cuando las plantas tenían aproximadamente 150 días de edad. Asimismo, Staley *et al.* (1990) encontraron que la actividad de nitrificación potencial, medida por la producción de nitrato, fue 50% más alta en la posición del suelo entre las plantas de maíz que entre las hileras en las parcelas bajo labranza cero, mientras que no hubo diferencias en las parcelas con labranza convencional. Rochette y Flanagan (1997) encontraron una tendencia ascendente en la respiración de las rizosferas de plantas de maíz en campo (evolución de CO_2 por las raíces y los microorganismos), registrando los valores más altos ($10 \text{ g } CO_2 \cdot m^{-2} \cdot d^{-1}$) entre los 44 y 76 días después de la siembra, para luego descender a los niveles iniciales ($1,71 \text{ g } CO_2 \cdot m^{-2} \cdot d^{-1}$) a los 141 días.

Contrariamente a los resultados obtenidos en esta investigación, Doran (1980) encontró que las poblaciones de bacterias, hongos, actinomicetos, denitrificadores, nitrificadores y nitrificadores fueron más altas en la posición del suelo entre las hileras que entre las plantas del maíz, cuando se aplicaron residuos de maíz al suelo, incorporados a 7,5 cm de profundidad, o dejados en la superficie del suelo como cobertura. En las parcelas control, es decir en las que no se aplicó residuos, en algunos muestreos las poblaciones fueron ligeramente más

altas en la posición del suelo entre plantas, o no hubo diferencias con la posición entre hileras. El autor atribuyó los resultados obtenidos a la acumulación de residuos en la zona entre hileras, en la cual se registraron mayores contenidos de humedad, de CO y N orgánico, y valores más altos de pH.

Con respecto a las poblaciones de *Bradyrhizobium sp.*, se puede señalar que, aunque no se obtuvieron diferencias estadísticas entre las dos posiciones del suelo, la población tendió a ser más alta dentro de las hileras a partir del segundo muestreo. Estos resultados concuerdan con los obtenidos por Reyes y Schmidt (1979), quienes cuantificaron la población de una cepa introducida de *Bradyrhizobium japonicum* en el suelo y en la endorrizosfera del maíz al momento de la cosecha, encontrando que la población de la cepa introducida fue ligeramente más alta en la endorrizosfera del maíz que en el suelo normal.

Por otra parte, el ambiente físico y químico del suelo dentro de las hileras fue, en términos generales, diferente al del suelo entre hileras a partir del segundo muestreo, presentándose diferencias estadísticamente significativas en los contenidos de humedad, N-NH₄⁺, N-NO₃⁻ y K. Las diferencias observadas en el contenido de humedad pueden atribuirse al consumo de agua por las plantas, y las de los contenidos de N-NH₄⁺ y N-NO₃⁻ a la aplicación de la fertilización basal en la hilera de siembra, así como también a la absorción radical del fertilizante en las fases de crecimiento del cultivo. De las fases de desarrollo del maíz, las conocidas como fase de 10 hojas emergentes y fase del grano lechoso se caracterizan porque la tasa de absorción de N, P y K es rápida (Gómez, 1983), correspondiéndose esas fases de desarrollo con las que presentaban las plantas de maíz en el segundo y tercer muestreo. El más alto contenido de K obtenido dentro de las hileras en el último muestreo pudo deberse a la mineralización del tejido radical, ya que para ese momento las plantas habían sobrepasado la fase de madurez fisiológica, es decir estaban secas. Doran (1980) atribuyó los menores contenidos de humedad y de N-NH₄⁺ en la hilera de siembra, a su utilización por las plantas de maíz durante las fases de crecimiento.

El más bajo contenido de N total dentro de las hileras podría significar un aumento en la mineralización del N orgánico debido a la más alta actividad microbiana. Esto concuerda con los resultados obtenidos por otros investigadores, como Kirchner *et al.* (1993) quienes encontraron una tendencia más alta de N mineralizado como N-NH₄⁺ en las hileras de siembra que en la posición entre hileras. Sin embargo, estos autores efectuaron las mediciones en muestras de suelo incubadas aeróbicamente las cuales fueron tomadas cuando las plantas estaban próximas a su madurez fisiológica y pocos meses después de la cosecha. Badalucco *et al.* (1996) encontraron mayor crecimiento de bacterias y protozoarios, y de las actividades de caseína hidrolasa y L-histidina-deaminasa en la rizosfera de trigo, enzimas asociadas con la mineralización de N orgánico proveniente de exudados y materia orgánica de la rizosfera.

Con respecto al CO, se obtuvo un contenido ligeramente más alto aunque no significativo dentro de las hileras en el segundo muestreo, quizás debido a los compuestos orgánicos

liberados por las raíces y al C de la biomasa microbiana. Este resultado guarda relación con los obtenidos por Kirchner *et al.* (1993), quienes obtuvieron una tendencia más alta de la biomasa microbiana y de la actividad de la glucosidasa en la hilera de siembra, enzima que interviene en la oxidación de la materia orgánica.

CONCLUSIONES

En este trabajo queda evidenciado que el suelo cercano a las raíces de los cultivos tiene características biológicas, químicas y físicas diferentes a las del suelo más alejado a ellas, tal como se demuestra en las diferencias encontradas en las poblaciones de algunos grupos microbianos evaluados, y en algunas variables químicas y físicas medidas en las dos posiciones de muestreo diferentes: dentro de hileras y entre hileras. El efecto de la rizosfera del maíz pudo deberse a los procesos de absorción de agua y nutrientes, y de exudación de compuestos orgánicos, los cuales se manifestarían con mayor intensidad a medida que la planta se desarrolla.

El hecho de no encontrar diferencias estadísticamente significativas entre las dos posiciones de muestreo con respecto a algunas variables medidas, se debe a la baja precisión del método usado para tomar muestras de suelo en la propia rizosfera del maíz. Sin embargo, esta investigación demuestra la importancia de definir la posición de muestreo previo a la evaluación de parámetros de suelo en ensayos de campo con cultivos.

LITERATURA CITADA

- Badalucco, L., P. Kuikman y P. Nannipieri.** 1996. Protease and deaminase activities in wheat rhizosphere and their relation to bacterial and protozoan populations. *Biol Fertil Soils* 23:99-104.
- Berthelin, J., Leyval, C. y I. Weissenhorn.** 1994. Agricultural and health impact of soil rhizospheric weathering. *Transactions. 15th World Congress of Soil Science.* México. 3a:572 - 585.
- Bowen, G.** 1993. Appendix B: The rhizosphere. *In: Tropical soil biology and fertility. A handbook of methods.* Segunda edición. J.M. Anderson y J.S.I. Ingram (Eds.). C.A.B. International, UK. pp. 109-120.
- Doran, J.** 1980. Microbial changes associated with residue management with reduced tillage. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 44: 518-524.
- Gómez, E.** 1983. Manual de la asignatura manejo agronómico de cereales y leguminosas. Departamento de Agronomía, Universidad Central de Venezuela, Facultad de Agronomía, Maracay. 142 p.
- Harris, P.** 1992. Transformaciones microbianas del nitrógeno. *In: Condiciones del suelo y desarrollo de las plantas según*

- Russell. Traducción al Español, Mundi-Prensa (Ed.). Madrid. pp. 641-686.
- Kempers, A y A. Zweers.** 1986. Ammonium determination in soil extracts by the salicylate method. *Commun. Soil Sci. Plant. Anal.* 17:715-723.
- Kirchner, M., A. Wollum y L. King.** 1993. Soil microbial populations and activities in reduced chemical input agroecosystems. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 57:1289-1295.
- León, M.** 1993. Efecto de sistemas de labranza conservacionista con uso de leguminosas en un Alfisol de la zona maicera de Yaracuy. Tesis de Maestría. Maracay, Venezuela. Universidad Central. Facultad de Agronomía. Postgrado en Ciencia del Suelo. 147 p.
- Lynch, J. y M. Wood.** 1992. Interacciones entre las raíces de las plantas y los microorganismos del suelo. *In:* Condiciones del suelo y desarrollo de las plantas según Russell. Traducción al Español. Mundi-Prensa (Ed.). Madrid. pp. 555-594.
- Norris, D.** 1968. Techniques used in work with *Rhizobium*. *Common. Bur. Past. Fld. Crops. Bull* N° 47. pp. 186-198.
- Pla, I.** 1983. Metodología para la caracterización física con fines de diagnóstico de problemas de manejo y conservación de suelos en condiciones tropicales. *Revista Facultad de Agronomía, U.C.V. Alcance* 32. Maracay, Venezuela. 91 p.
- Reyes, V. y E. Schmidt.** 1979. Population densities of *Rhizobium japonicum* strain 123 estimated directly in soil and rhizospheres. *Appl. Environ. Microbiol.* 37(5):854-858.
- Rochette, P. y B. Flanagan.** 1997. Quantifying rhizosphere respiration in a corn crop under field conditions. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 61(2):466-474.
- SAS Institute Inc.** 1989. SAS/STAT™. User's Guide Release 6.07 Edition. Cary, NC: SAS Institute Inc. 846 p.
- Schmidt, E. y L. Belser.** 1982. Nitrifying bacteria. *In:* Methods of Soil Analysis, Part 2, Second edition. Chemical and Microbiological Properties. A. L. Page, R.H. Miller and D.R. Keeney (Eds.). *Agron. Ser. N° 9*, Am. Soc. Agron., Inc., Madison, WI, pp. 1027-1042.
- Shippers, B., A. Bakker y P. Bakker.** 1987. Interactions of deleterious and beneficial rhizosphere microorganisms and the effect of cropping practices. *Ann. Rev. Phytopathol.* 25:339 - 358.
- Staley, T., W. Caskey y D. Boyer.** 1990. Soil denitrification and nitrification potentials during the growing season relative to tillage. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 54(6):1602-1608.
- Szegi, J.** 1988. Cellulose decomposition and soil fertility. Akadémiai Kiadó. Budapest, Hungary. 186p.
- Universidad Central de Venezuela (U.C.V.).** 1993. Métodos de análisis de suelos y plantas utilizados en el Laboratorio General del Instituto de Edafología. Cuadernos Agronomía, Año 1, N° 6. Facultad de Agronomía, Maracay, Venezuela. 89 p.
- Vincent, J.** 1970. A manual for the practical study of root-nodule bacteria. I.B.P. Handbook N° 15, Blackwell Scientific Publications, Oxford. 164 p.
- Wollum, A.** 1982. Cultural methods for soil microorganisms. *In:* Methods of Soil Analysis, Part 2, Second edition. Chemical and Microbiological Properties. A. L. Page, R.H. Miller and D.R. Keeney (Eds.). *Agron. Ser. N° 9*, Am. Soc. Agron., Inc., Madison, WI, pp. 781-802.