

Fertilización aditiva en maíz

Luis Ventimiglia y Lisandro Torrens Baudrix¹

Introducción

La utilización del suelo con fines agrícolas se realiza con mayor intensidad cada año. La necesidad de obtener mayores producciones para tener iguales o mejores retornos económicos, la necesidad de conseguir más cantidad de granos para alimentar a un mundo más demandante de alimentos, la superación que se obtiene en los híbridos y variedades a través de la genética, maquinarias y productos para el control de malezas y plagas, entre otros factores, hace que los rendimientos se incrementen y con ello también las tasas de exportación de nutrientes (Cruzate y Casas, 2012). Por otro lado la siembra directa, ha colaborado en la disminución de la degradación física, química y biológica, que el productor agropecuario vino realizando durante muchos años (Crovetto, 1992). Además, es factible que en aquellos campos donde se ha consolidado este sistema de labranza con una rotación adecuada, la cual contemple gramíneas y leguminosas, mejore el sistema productivo. De hecho sobre el tema específico hay pruebas científicas que han demostrado, hace bastante tiempo atrás, que es posible, en ciertos aspectos, mejorar el suelo a través de una agricultura continua (Faulkner, 1974), de todos modos debemos ser conscientes que esto último no es lo más común de encontrar en la región pampeana argentina. En este sentido el manejo de la nutrición de los cultivos, constituye una herramienta clave para el logro de sistemas productivos sostenibles tanto en el aspecto productivo, como económico, ambiental, y social.

El objetivo de este trabajo fue analizar los efectos de la fertilización sobre maíz en un suelo bajo siembra directa estabilizada, partiendo de los siguientes interrogantes: i) ¿Cuál es la capacidad productiva del suelo sin fertilización?; ii) ¿Cuál es la respuesta a la fertilización fosforada?; iii) ¿Cuál es la respuesta a la forma de aplicación de fósforo (P)?; iv) ¿Cuál es la respuesta a la fertilización nitrogenada?; y v) ¿Cuál es la respuesta a la complementación del P y nitrógeno (N), con otros nutrientes como el azufre (S) y el zinc (Zn)?.

Materiales y métodos

Durante las campañas 2010/11 y 2011/12, la Agencia INTA 9 de Julio realizó dos experiencias en el establecimiento "Dos Amigos", próximo a la localidad de Fauzón en el partido de 9 de Julio. El suelo sobre el cual se realizaron las experiencias, pertenece a la serie Norumbega, clasificado como Hapludol éntico (franco arenoso) (INTA, 1992), con una historia de manejo bajo siembra directa de más de 20 años y una rotación

predominante de Trigo/Soja 2^{da} – Maíz – Soja 1^{ra}, siendo fertilizados todos los cultivos a excepción de la soja de segunda. Se debe destacar que la fertilización realizada por el productor, en general, privilegió la rentabilidad por sobre la fertilidad de sus suelos resultando en balances de nutrientes negativos, en general.

Los ensayos se realizaron sobre cultivos de maíz en lotes diferentes, sobre antecesor soja de primera y soja de segunda en 2010/11 y 2011/12, respectivamente. El diseño experimental fue en bloques completos al azar, con 4 repeticiones de 24.5 m² por cada unidad experimental. En ambas campañas se realizó un adecuado manejo sanitario del cultivo. En la **Tabla 1**, se presentan las características del ensayo, para las dos campañas estudiadas, como así también los parámetros químicos de los lotes.

En la **Tabla 2** se describen los tratamientos de fertilización aplicados sobre maíz en ambas campañas. Las fuentes de nutrientes utilizadas fueron urea para N, superfosfato

Tabla 1. Descripción del cultivo y análisis de suelo previo a la siembra de maíz correspondientes a los lotes donde se realizaron los ensayos. INTA 9 de Julio. Campañas 2010/11 y 2011/12. Notas: MO = materia orgánica, NO₃⁻ = nitratos y S-SO₄⁻² = azufre de sulfatos.

	----- Campaña -----	
	2010/11	2011/12
Cultivo		
Antecesor	Soja 1 ^{ra}	Soja 2 ^{da}
Híbrido	DK 747 MGRR2	DK 692 MGRR2
Fecha de siembra	01/10/2010	26/09/2011
Espaciamiento	70 cm	70 cm
Densidad de siembra	71 500 semillas ha ⁻¹	80 000 semillas ha ⁻¹
Análisis de suelo, 0-20 cm		
MO, %	2.6	2.5
pH	5.7	5.7
N total, %	0.150	0.125
P Bray, mg kg ⁻¹	5	5.5
C:N	10.1	11.6
NO ₃ ⁻ , mg kg ⁻¹		
0-20 cm	16	44
20-40 cm	16	16
40-60 cm	13	10
S-SO ₄ ⁻² , mg kg ⁻¹	10	8

¹ INTA 9 de Julio. Buenos Aires. Argentina. Correo electrónico: a9julio@internueve.com.ar

Tabla 2. Tratamientos de fertilización de maíz en los ensayos para las campañas 2010/11 y 2011/12. INTA 9 de Julio.

Tratamiento	Descripción	----- Dosis de nutrientes -----			
		N	P	S	Zn
		----- kg ha ⁻¹ -----			cc ha ⁻¹
T1	Testigo	-	-	-	-
T2	P en línea de siembra	-	20	-	-
T3	N al voleo	150	-	-	-
T4	P línea de siembra + N voleo	150	20	-	-
T5	P voleo pre-siembra + N voleo	150	20	-	-
T6	P línea de siembra + N voleo + S voleo	150	20	15	-
T7	P línea de siembra + N voleo + S voleo + Zn semilla	150	20	15	15

triple de calcio en el caso de P, sulfato de calcio para S, y Zincofix de la empresa Becker Underwood® (Zn 10% + S 4%) en el caso de Zn.

Debemos recordar que las dos campañas fueron complicadas desde el punto de vista hídrico, sobre todo 2011/12, que tuvo un mes de diciembre en el cual solo llovieron 36 mm y un mes de enero durante el cual, si bien acumuló 180 mm, el grueso de las lluvias se produjeron en los últimos 10 días del mes, de allí el mejor rendimiento del testigo y de los tratamientos en particular, registrados en la primer campaña con respecto a la segunda (**Tabla 3**).

La cosecha del ensayo se realizó en forma manual, sobre una superficie de 7 m² por unidad experimental. El material cosechado fue trillado en una máquina estacionaria y el rendimiento fue expresado en kg ha⁻¹ a humedad de recibo.

Al no establecerse interacción tratamiento*año, el análisis de los datos se realizó en forma conjunta, tomando los dos años del ensayo. A tal efecto se realizó un análisis de variancia al 1% de probabilidad. En función de este resultado se compararon las medias de los tratamientos mediante el test de Fisher al 5% de probabilidad.

Tabla 3. Precipitaciones mensuales en los ensayos de maíz de 2010/11 y 2011/12. INTA 9 de Julio.

Mes	2010/11	2011/12
	----- mm -----	
Septiembre	111	61
Octubre	51	69
Noviembre	33	125
Diciembre	51	36
Enero	131	180
Febrero	67	199
Marzo	47	200

Resultados y discusión

En la **Figura 1** se muestran los rendimientos promedio de ambas campañas para los distintos tratamientos.

Respecto a la fertilidad del suelo

De acuerdo a los análisis de suelo presentados en la **Tabla 1**, que indican baja disponibilidad de N y de niveles de P Bray, parecería bastante difícil predecir que el testigo alcance un rendimiento de 9523 kg ha⁻¹, en promedio de los dos años (10 351 kg ha⁻¹ y 8695 kg ha⁻¹). No cabe duda que el sistema de manejo que el campo tiene, con buena rotación y un sistema de siembra directa estabilizado por más de 20 años, tiene una acción fundamental en las propiedades físicas, biológicas y químicas, posibilitando que el aporte de nutrientes por parte de los rastrojos y la mineralización, sea muy importante.

A modo de un simple cálculo se puede hacer una estimación aproximada, de lo que pudo haber aportado el suelo como promedio de ambas campañas. Si se considera que el maíz tiene una necesidad de absorción de 22 kg N t de grano producido⁻¹ (Ciampitti y García, 2007), para un rendimiento promedio alcanzado de 9523 kg ha⁻¹ para el testigo (T1), se requerirían aproximadamente 180 kg N ha⁻¹.

El suelo, de acuerdo a los datos obtenidos aportó al momento de la siembra, hasta los 60 cm de profundidad, 24 kg ha⁻¹ y 38 kg ha⁻¹ de N, para la campaña 2010/11 y 2011/12, respectivamente. Asumiendo en consecuencia una necesidad de 180 kg N ha⁻¹ y un aporte promedio del suelo a la siembra de 31 kg N ha⁻¹, el suelo aportó vía descomposición de residuos de soja y mineralización durante el ciclo del cultivo alrededor de 150 kg N ha⁻¹. Debe considerarse que el aporte vía mineralización y descomposición de residuos fue superior a este estimado de 150 kg N ha⁻¹, ya que la eficiencia de absorción no es del 100%.

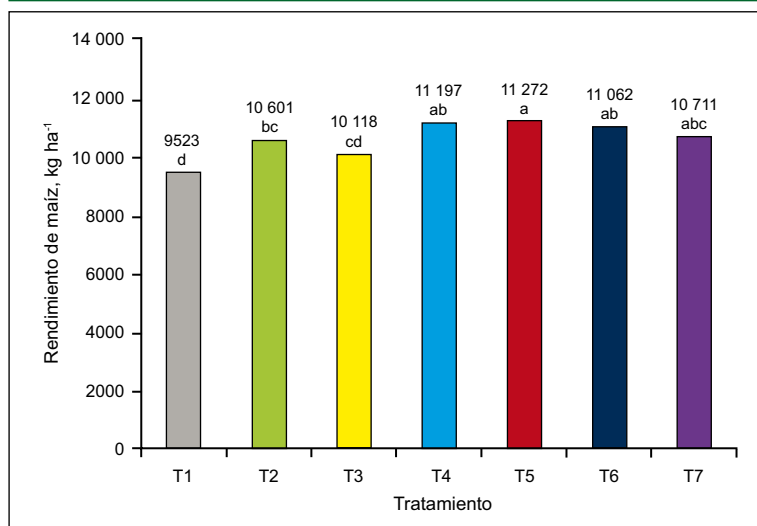


Figura 1. Rendimientos promedio de maíz para los distintos tratamientos de fertilización tomando ambas campañas. INTA 9 de Julio. Campañas 2010/11 y 2011/12. Nota: medias seguidas de letras distintas, difieren estadísticamente según el test de Fisher ($p < 0.05$).

Respecto a P, como se aprecia en la **Tabla 1**, la disponibilidad inicial de este nutriente en el suelo era muy limitada (5 mg kg^{-1}) para el desarrollo satisfactorio del maíz, sin embargo el rendimiento del testigo promedió más de 9 t ha^{-1} , siendo muy probable que la fracción orgánica de este elemento, haya sido una importante fuente del nutriente durante el ciclo del cultivo. Si consideramos un requerimiento medio de $4 \text{ kg P t de grano}^{-1}$ (base seca), el cultivo requirió alrededor de 33 kg P ha^{-1} .

Respecto a los rendimientos

Analizando las diferencias entre tratamientos de fertilización, la respuesta a la aplicación solo de N (T3 vs T1) no fue significativa, siendo en promedio 6.2% (575 kg ha^{-1}) y económicamente no viable (costo de urea $(46-0-0) = 3.15 \text{ \$ kg}^{-1}$; precio del maíz = $670 \text{ \$ t}^{-1}$). La respuesta al agregado de solamente P (T2 vs T1) fue de 1078 kg ha^{-1} , (+11.3%), compensando ampliamente la inversión realizada en el producto y su aplicación (costo del superfosfato triple de calcio $(0-20-0) = 3.5 \text{ \$ kg}^{-1}$; precio del maíz = $670 \text{ \$ t}^{-1}$).

Como en tantas otras experiencias conducidas en este tipo de suelo y manejo, no se encontraron diferencias significativas a la forma de aplicar el P al voleo o en la línea de siembra (T4 vs T5).

Los mayores incrementos de rendimiento, se lograron por la combinación NP (T4 y T5), $+1674 \text{ kg ha}^{-1}$ (+17.6%). Sin embargo, estas respuestas no resultaron económicamente favorables, probablemente por la alta dosis de N utilizada. En cuanto a la respuesta a S y Zn, en esta experiencia no se observaron incrementos significativos por el agregado de estos nutrientes al plan de fertilización de maíz.

Consideraciones finales

A futuro se propone revisar los diagnósticos que se disponen para N y P, al menos para los suelos estudiados en este trabajo, que cuentan con una fracción arenosa en su composición textural superior al 60%, y que vienen siendo manejados en sistema de siembra directa continua por muchos años, con rotaciones adecuadas, entre otros. Es posible que en la actualidad se subestime el valor de los diagnósticos de fertilización dentro del sistema de producción. Se debe recordar que los ajustes de los diagnósticos de fertilización se realizaron en otras épocas, en donde, si bien ya existía la siembra directa, esta ocupaba poca superficie y por otro lado no eran sistemas estabilizados, cosa que hoy en día es muy factible de encontrar. La constante investigación e iteración de grupos de trabajo será la que a futuro podrá ayudar a encontrar respuesta a los interrogantes planteados.

Agradecimientos

Los autores agradecen a los Sres. Bueno y Scalice, titulares del establecimiento "Dos Amigos", lugar donde se condujo la experiencia, al Sr. Gustavo Luceri ayudante de campo del INTA 9 de Julio y a los Sres. Gustavo Bueno, Jorge Primiani, por el apoyo brindado.

Bibliografía

- Ciampitti, I.A., y F.O. García. 2007. Requerimientos nutricionales. Absorción y extracción de macronutrientes y nutrientes secundarios. Cereales, Oleaginosos e Industriales. Informaciones Agronómicas No. 33. Archivo Agronómico No. 11. IPNI Cono Sur. Acaassu, Buenos Aires. Disponible on-line en: <http://lacs.ipni.net/article/LACS-1081>
- Crovetto, C. 1992. Doce años de cero labranza: Producción de maíz en rotación y análisis de algunos parámetros químicos, físicos y biológicos en suelos (Alfisolos) de la cordillera de la costa de Chile central. In: 1^{er} Congreso interamericano de siembra directa. Villa Giardino, Córdoba: 180-192.
- Cruzate, A., y R. Casas. 2012. Extracción y balance de nutrientes en los suelos agrícolas de la Argentina. Informaciones Agronómicas de Hispanoamérica. No. IAH 6 - Junio 2012. IPNI Cono Sur. Acaassu, Buenos Aires: 7-14.
- Faulkner, E. 1974. La insensatez del agricultor. Erosión un problema ecológico. Editorial El Ateneo. 138 pp.
- INTA. 1992. Instituto de suelos. Área de investigación en cartografía de suelos y evaluación de tierras. Carta de suelos de la república Argentina. Partido de 9 de Julio. Hoja 3560.*

Influencia de la fertilización inorgánica sobre la actividad microbiana del suelo*

C. Conforto¹, O.S. Correa², A. Rovea³, M. Boxler³, S. Rodríguez Grastorf³, J. Minteguiaga³, J. Meriles⁴ y S. Vargas Gil¹

Introducción

Los microorganismos desarrollan en el suelo una amplia gama de acciones que inciden en el desarrollo y nutrición vegetal. Además, aportan información relativa a la actividad metabólica edáfica, mostrando mayor sensibilidad, en comparación con los parámetros químicos y físicos, frente a procesos no deseables como el manejo inapropiado (Garland et al., 2010). La función de los microorganismos, especialmente la de algunos grupos definidos, puede ser manipulada para permitir que determinadas actividades microbianas, bioquímicas y enzimáticas se expresen de forma eficaz, jugando un papel preponderante como indicadores de calidad del suelo (Vargas Gil et al., 2011).

Una de las prácticas agrícolas más comúnmente empleadas es la fertilización química, que produce marcados beneficios en las plantas debido al aumento en la disponibilidad de nutrientes que produce (Wu et al., 2011). Sin embargo, poco se conoce acerca del efecto que provocan los fertilizantes en la dinámica de las poblaciones microbianas. Según algunos autores, los fertilizantes provocan modificaciones en las poblaciones de hongos y bacterias en el suelo (Ge et al., 2008), mientras que otros investigadores no han encontrado diferencias en la respuesta de los microorganismos ante la fertilización (Clegg, 2006).

Particularmente, para estudiar los aspectos fisiológicos de los efectos que tienen los fertilizantes en el suelo, es posible emplear un método denominado perfiles fisiológicos a nivel de comunidad (CLPP). Esta técnica tiene como finalidad analizar el potencial metabólico de las comunidades microbianas del suelo, evaluando los múltiples atributos fisiológicos de la comunidad microbiana, con el propósito de discriminar patrones espaciales, temporales o bien efectos experimentales (Bossio y Show, 1995), como el caso de este trabajo.

El objetivo del presente estudio fue evidenciar la respuesta de las actividades

de las poblaciones microbianas, bajo la influencia de la adición de diferentes fuentes de nutrientes inorgánicos: nitrógeno (N), fósforo (P), azufre (S), y micronutrientes, en un ensayo de larga duración.

Materiales y métodos

Las mediciones se llevaron a cabo en la campaña 2010/11 en un ensayo en el establecimiento Balducchi, ubicado en la localidad de Teodelina (Santa Fe), que forma parte de la Red de Nutrición CREA Sur de Santa Fe (CREA-IPNI-ASP). En ese ensayo, bajo rotación maíz-trigo/soja, se evalúan, anualmente desde la campaña 2000/01, fertilizaciones con N, P, S y micronutrientes en las siguientes combinaciones: PS, NS, NP, NPS, NPS+Micronutrientes (**Tabla 1**), y Testigo (sin adición de fertilizante) en 3 repeticiones siguiendo un diseño en bloques completos al azar. Hacia el final del ciclo del cultivo de maíz se tomaron muestras de suelo provenientes de los 5 primeros cm. De cada parcela se extrajeron seis muestras de suelo compuestas, siguiendo un diseño en V. Los muestreos se efectuaron 15-20 días antes de la cosecha del cultivo. Las muestras fueron conservadas en frío hasta la posterior determinación de la actividad microbiana.

La cuantificación de actividad microbiológica de las muestras de suelo se realizó mediante la determinación

Tabla 1. Dosis de fertilizantes agregados en los diferentes tratamientos del ensayo de larga duración. Red de Nutrición CREA Sur de Santa Fe. Campaña 2010/11.

Fuentes nutricionales kg ha ⁻¹	----- Tratamientos -----					
	Testigo	PS	NS	NP	NPS	NPS + Micros
N	-	18	160	160	160	160
P	-	35	-	35	35	35
K	-	-	-	-	-	14
Mg	-	-	-	-	-	8
S	-	17	17	-	17	17
B	-	-	-	-	-	1
Zn	-	-	-	-	-	2
Cu	-	-	-	-	-	2

¹ Instituto de Patología Vegetal (IPAVE-INTA). Córdoba, Argentina. Correo electrónico: svargasgil@ciap.inta.gob.ar

² Instituto de Investigaciones en Biociencias Agrícolas y Ambientales (INBA-CONICET), Cátedra de Microbiología Agrícola y Ambiental (Fac. Agronomía) UBA.

³ Grupo CREA Región Sur de Santa Fe.

⁴ Instituto Multidisciplinario de Biología Vegetal (IMBIV- CONICET), UNC.

* Trabajo presentado en el XIX Congreso Latinoamericano de la Ciencia del Suelo - XXIII Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo, 16-20 de Abril de 2012, Mar del Plata, Argentina.

de perfiles fisiológicos (CLPP), de acuerdo a metodología ajustada por Ruiz et al. (2008). Se emplearon placas de 96 pocillos, a las que se adicionó medio basal conteniendo K_2HPO_4 (21 g l⁻¹), KH_2PO_4 (9 g l⁻¹), $MgSO_4$ (0.3 g l⁻¹), $(NH_4)_2SO_4$ (1.5 g l⁻¹), $CaCl_2$ (0.03 g l⁻¹), $FeSO_4$ (0.015 g l⁻¹), $MnSO_4$ (0.0075 g l⁻¹), $NaMoO_4$ (0.0075 g l⁻¹). Se agregó además 3 g l⁻¹ de las siguientes fuentes de carbono (C): Dextrosa, Glucosa, Manosa, Lactosa, Triptofano, Lisina, Arginina, Tiamina, Asparagina, Xilosa, Fructosa, Galactosa, y el Colorante (Violeta de tetrazolio, 0.0075%). Finalmente, se agregó a las placas el inóculo suelo, previamente se realizó una suspensión (2 g en 10 ml de agua destilada estéril), que fue agitada (10 min) y centrifugada (10 min a 5000 rpm). Cada pocillo de la placa fue llenado con 60 µl de medio basal, colorante, fuentes carbonadas e inóculo suelo, en condiciones de esterilidad. Luego de sembradas las placas se incubaron a 28 °C, y se realizaron las lecturas en espectrofotómetro (UV-Vis) a 590 nm, cada 24 horas.

También se calcularon otros parámetros, como el contenido de C total (Black, 1965), N total por micro-Kjeldhal (Bremmer, 1996), P extractable (Bray y Kurtz, 1945) y S (Fontanive et al., 2004) y la estabilidad de agregados (EAs), como parámetro físico, por la técnica de los microtamices (Corvalán et al., 2000).

Análisis estadístico

Los análisis estadísticos se llevaron a cabo mediante el empleo del programa InfoStat Profesional versión 2011 (Universidad Nacional de Córdoba, Argentina). La normalidad de los datos se comprobó mediante el test de Shapiro-Wilks. Se realizó un análisis de varianza (ANOVA) con $p \leq 0.05$ para evaluar la diferencia entre los tratamientos, empleando el test de Fisher (LSD) a posteriori. Además se utilizó el análisis de componentes principales (ACP) como herramienta del análisis

Tabla 2. Influencia de la fertilización inorgánica sobre parámetros químicos y físicos edáficos (0-20 cm) en un cultivo de maíz en un ensayo de larga duración. Red de Nutrición CREA Sur de Santa Fe. MO: Materia orgánica, N total: Nitrógeno total, Pe: Fósforo extractable Bray-1, S: Azufre de sulfatos, EAs: Estabilidad de agregados. *Los valores seguidos de las mismas letras no presentaron diferencias significativas con $p \leq 0.05$.

Tratamientos	Parámetros edáficos				
	MO %	N total %	Pe ppm	S ppm	EAs %
Testigo	3.02 bcd*	0.16 b	18 c	16 c	43.8 bc
NP	2.78 cd	0.15 b	83 b	22 b	42.6 bc
NS	3.12 bc	0.19 a	12 c	18 bc	53.6 a
PS	2.54 d	0.14 b	62 b	17 c	36.6 c
NPS	3.50 ab	0.20 a	82 b	27 a	44.3 b
NPS+Micros	3.69 a	0.21 a	111 a	31 a	45.4 b

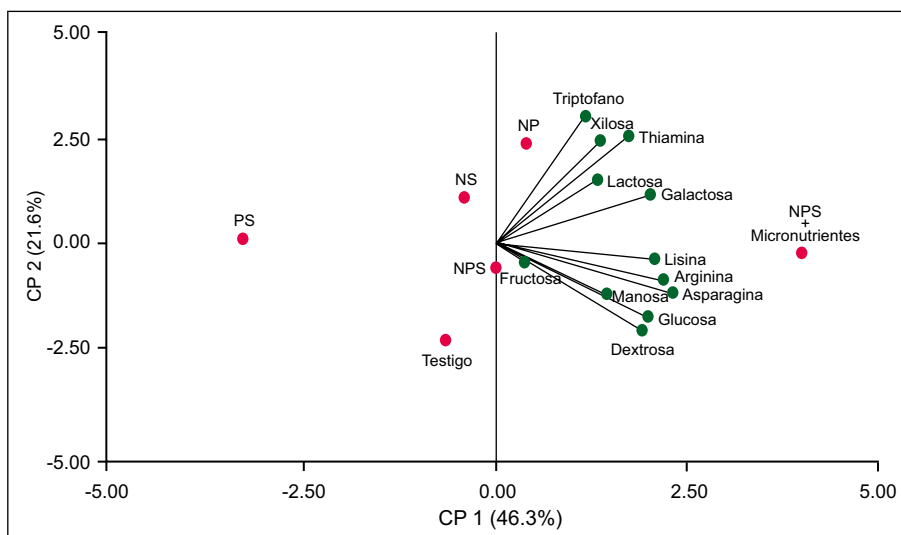


Figura 1. Biplot de las funciones microbianas del suelo, determinadas a partir del consumo de fuentes de C, en respuesta a la fertilización inorgánica (N, P, S y micronutrientes) en el cultivo de maíz en un ensayo de larga duración. Red de Nutrición CREA Sur de Santa Fe.

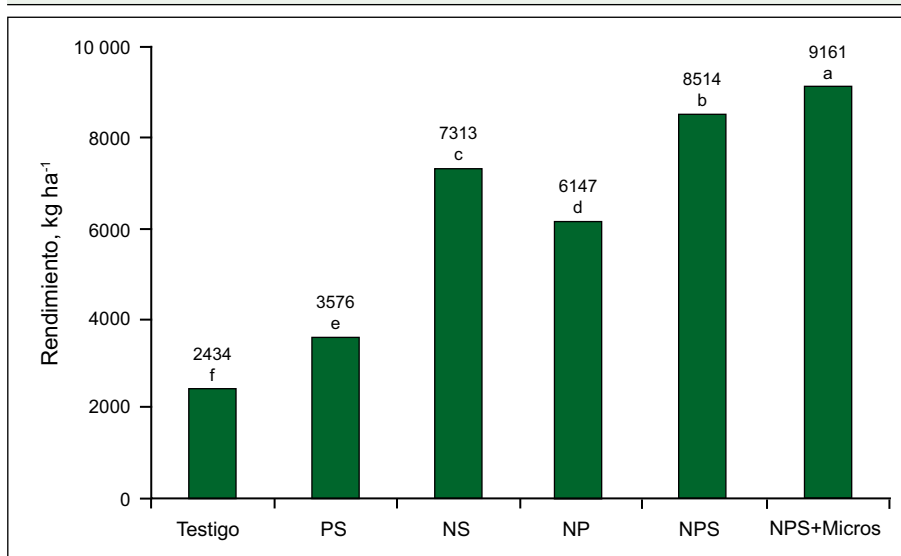


Figura 2. Efecto de la fertilización inorgánica sobre el rendimiento del cultivo de maíz, en un ensayo de larga duración. Las barras con letras diferentes son significativamente diferentes de acuerdo al test LSD ($P \leq 0.05$).

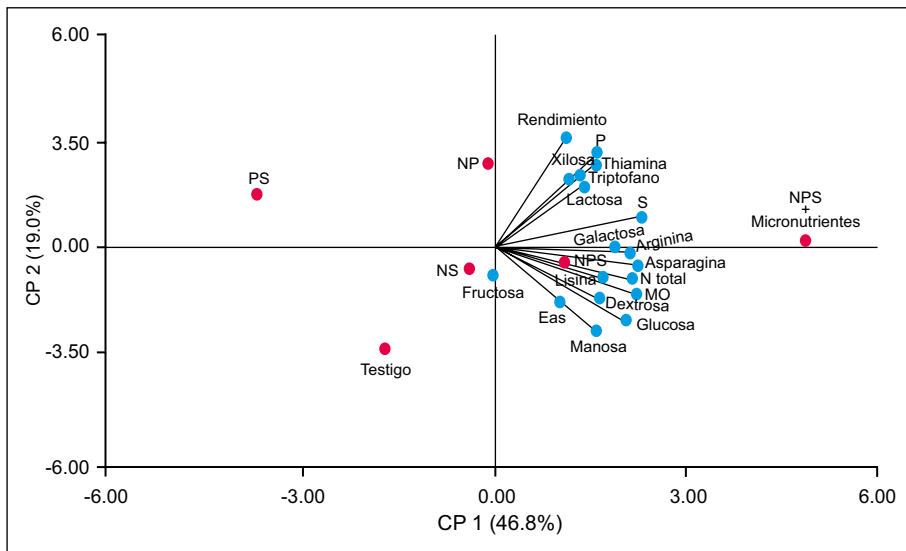


Figura 3. Biplot de las funciones microbianas edáficas (a partir del consumo de fuentes de C), de variables químicas, físicas y del rendimiento de maíz, en respuesta a la fertilización inorgánica (N, P, S y micronutrientes). Red de Nutrición CREA Sur de Santa Fe. Campaña 2010/11. Eas: Estabilidad de agregados, MO: Materia orgánica, P: Fósforo extractable.

diferenciación de los tratamientos, en el cual el tratamiento NPS+Micros presentó, en general, mayor actividad microbiana y mayor contenido MO, N, Pe y S, en comparación con los tratamientos PS y Testigo, a lo largo del CP 1. Mientras que, a lo largo del CP 2, se diferenció el Testigo del tratamiento NP, siendo el rendimiento una de las variables de más peso para distinguir entre ambos.

Según la información obtenida, la actividad microbiana del suelo, medida por la cuantificación del consumo de diversas fuentes de C, fue influenciada por la fertilización inorgánica. De acuerdo al ACP, el tratamiento con nutrición más balanceada (NPS+Micros) registró mayor consumo de sustratos

multivariado, para determinar los parámetros de mayor influencia en la diferenciación de los tratamientos.

Resultados y discusión

Se realizó un ACP con la finalidad de determinar si el patrón de consumo de las diferentes fuentes de C era similar en los distintos tratamientos. Según la **Figura 1**, el componente principal 1 (CP 1) explicó el 46.3% de la variabilidad de los datos, mientras que el componente 2 (CP 2) explicó 21.6%, explicando ambos un 67.9% de la variabilidad total. El tratamiento NPS+Micronutrientes registró la mayor actividad respiratoria de las fuentes de C, diferenciándose de los tratamientos PS y Testigo, a lo largo del CP 1.

De acuerdo al ANAVA para las variables químicas y físicas edáficas, la fertilización inorgánica tuvo influencia diferencial sobre el contenido de MO, N total, Pe, S y EAs (**Tabla 1**). Según la **Tabla 2**, en general, los tratamientos NPS+Micronutrientes y NPS registraron mayor contenido de MO, N total, Pe y S que el Testigo, mientras que la EAs fue variable.

El rendimiento del cultivo de maíz también respondió a los diferentes tratamientos, siendo mayor en los tratamientos fertilizados, y menor en el Testigo (**Figura 2**), de acuerdo al siguiente orden: NPS+Micros > NPS > NS > NP > PS > Testigo.

Finalmente, se realizó un ACP con todas las variables que se midieron en respuesta a la fertilización (**Figura 3**). Según el ACP, los tratamientos se diferenciaron claramente de acuerdo al peso de las variables. El CP 1 explicó 46.8% de la variabilidad de los datos, mientras que el CP 2 explicó un 19.0% de la variabilidad, explicando ambos un 65.8% del total. El análisis mostró una clara

carbonados, que los restantes tratamientos. Según algunos autores (Hu et al., 2011), los fertilizantes inorgánicos afectan los parámetros biológicos debido al incremento del contenido de C orgánico del suelo, que determina el crecimiento de los microorganismos (Grayston et al., 1998), siendo el P un factor clave en el aumento de la diversidad microbiana y fertilidad del suelo. Según Hu et al. (2011), los microorganismos en suelos fertilizados aumentan la eficiencia en la utilización del C, ocurriendo lo contrario en suelos deficientes en nutrientes, debido principalmente a la poca disponibilidad de P y, en segundo lugar, de N.

En situaciones de escasez de nutrientes, los microorganismos se encuentran bajo estrés para sobrellevar la deficiencia nutricional y para una apropiada actividad metabólica (Zheng et al., 2009). Sin embargo, algunos autores (Islam et al., 2011) encontraron que los CLPPs de las comunidades microbianas del suelo no fueron afectadas por la fertilización, ya que los patrones de consumo no fueron consistentes entre los diferentes tratamientos. Esto indica, según los autores, la complejidad de las actividades de los microorganismos in vivo, y las limitaciones de las mediciones in vitro.

También se observaron mejoras en los parámetros químicos en los tratamientos con fertilización más balanceada (NPS+Micros), en comparación con el Testigo. Según Zhong et al. (2010), por una parte, una fertilización balanceada estaría respondiendo a la demanda nutricional de los cultivos. A su vez, si esta demanda esta cubierta, se genera un incremento de exudados radiculares, lo cual promueve el aumento de la biomasa microbiana y la actividad metabólica de los microorganismos. Por otra parte, Zhong et al. (2010) también afirman que el incremento de nutrientes en el

suelo, en respuesta a la fertilización, es lo que estimula la actividad microbiana.

Finalmente, el rendimiento del cultivo también se incrementó en respuesta a la fertilización, en comparación con el Testigo. Existe una compleja interacción entre el nivel óptimo de fertilización, la disponibilidad de nutrientes para el crecimiento de los microorganismos y el buen desarrollo de las plantas. Esto demuestra que son necesarios más estudios para profundizar el conocimiento acerca del efecto de la fertilización inorgánica sobre las funciones metabólicas de la microbiota del suelo.

Conclusión

Las actividades microbianas revelan cambios en la calidad del suelo debidos al manejo. El monitoreo de las funciones microbianas en el suelo, relacionadas con la transformación de nutrientes, puede ser una herramienta eficiente para evidenciar el efecto de las prácticas culturales sobre la salud edáfica. Según los resultados encontrados, las comunidades microbianas en suelos con fertilización balanceada serían más activas en la utilización de sustratos carbonados. Este aumento de las actividades microbianas podría favorecer el ciclo de nutrientes en el suelo, mejorando el estado nutricional de la planta e incrementando el rendimiento del cultivo de maíz, en comparación con suelos no fertilizados.

Agradecimientos

El trabajo fue financiado por el Convenio de Vinculación Tecnológica INTA-CREA Sur de Santa Fe. Proyecto Específico (INTA AERN 295582) "Comunidades microbianas del suelo: Estructura y funciones en respuesta al manejo".

Bibliografía

- Black, C.A. 1965. *Methods of Soil Analysis. Part 2. Chemical and Microbiological Properties*. American Society of Agronomy, Inc., Publisher Madison, Wisconsin, pp. 770.
- Bossio, D.A., y K.M. Scow. 1995. Impact of carbon and flooding on the metabolic diversity of microbial communities in soils. *Appl. Environ. Microbiol.* 61:4043-4050.
- Bray, R.H., y L.T. Kurtz. 1945. Determination of total organic and available forms of Phosphorus in soils. *Soil Sci.* 59:39-45.
- Bremner, J.M. 1996. Nitrogen-total. In: *Methods of soil analysis, Part 3, Chemical methods*. Sparks, DL (Ed.). Soil Sci. Soc. Am. Book series N° 5, pp. 1085-1128.
- Clegg, C. 2006. Impact of cattle grazing and inorganic fertilizer additions to managed grasslands on the microbial community composition of soils. *App. Soil Ecol.* 31:73-82.
- Corvalán, E.R., A. Franzoni, J. Huidobro, y J.L. Arzeno. 2000.

In: *Actas del XVII Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo*. Mar del Plata. Método de microtamices para la determinación de la estabilidad de agregados del suelo, 1-2 mm. Comisión I - Panel 25.

- Fontanive, A., H. Jiménez, A. De Lahorna, D. Effron, y L. Defrieri. 2004. Determinación de azufre inorgánico en suelos. Método turbidimétrico. En: *Sistema de Apoyo Metodológico para Laboratorios de Análisis de Suelo, Agua, Vegetales y Enmiendas Orgánicas*. SAGPyA. ISBN 987-9184-40-8
- Garland, J.L., C.L. Mackowiak, y M.C. Zabaloy. 2010. Organic waste amendment effects on soil microbial activity in a corn-rye rotation: Application of a new approach to community-level physiological profiling. *App. Soil Ecol.* 44(3):262-269.
- Ge, Y., J.B. Zhang, L.M. Zhang, M. Yang, y J.Z. He. 2008. Long-term fertilization regimes affect bacterial community structure and diversity of an agricultural soil in northern China. *J Soils Sed.* 8:43-50
- Grayston, S.J., S. Wang, C.D. Campbell, y A.C. Edwards. 1998. Selective influence of plant species on microbial diversity in the rhizosphere. *Soil Biol. Biochem.* 30:369-378.
- Hu, J., X. Lin, J. Wang, J. Dai, R. Chen, J. Zhang, y M.H. Wong. 2011. Microbial functional diversity, metabolic quotient, and invertase activity of a sandy loam soil as affected by long-term application of organic amendment and mineral fertilizer. *J. Soils Sed.* 11:271-280.
- Islam, M.R., P.S. Chauhan, Y. Kim, M. Kim, y T. Sa. 2011. Community level functional diversity and enzyme activities in paddy soils under different long-term fertilizer management practices *Biol. Fertil. Soils* 47:599-604.
- Ruiz, D.E., M.S. Montecchia, O.S. Correa, N.L. Pucheu, M.A. Soria, y A.F. García. 2008. Characterization of pristine and agricultural soils by catabolic profiling of microbial communities. In: *Actas del XLIV Annual Meeting-Argentine Society for Biochemistry and Molecular Biology Research*. Carlos Paz, Córdoba, Argentina. p102. ISSN 0327 9545 (print).
- Vargas Gil, S., A. Becker, C. Oddino, M. Zuza, A. Marinelli, y G. March. 2009. Soil biological, chemical and physical responses to the impact of tillage intensity, fertilization, and cattle grazing in a long-term field trial. *Environ. Manag.* 44:378-376.
- Vargas Gil, S., J. Meriles, C. Conforto, M. Basanta, V. Radl, A. Hagn, M. Schloter, y G.J. March. 2011. Soil microbial communities response to tillage and crop rotation in a soybean agroecosystem in Argentina. *Eur. J. of Soil Biol.* 47:55-60.
- Wu, F., M. Dong, Y. Liu, X. Ma, L. An, J.P.W. Young, y H. Feng. 2011. Effects of long-term fertilization on AM fungal community structure and Glomalin-related soil protein in the Loess Plateau of China. *Plant Soil* 342:233-247.
- Zheng S., J. Hu, K. Chen, J. Yao, Z. Yu, y X. Lin. 2009. Soil microbial activity measured by microcalorimetry in response to long-term fertilization regimes and available phosphorous on heat evolution. *Soil Biol. Biochem.* 41:2094-2099.*