
RESPUESTA DEL CULTIVO DE MAÍZ A LA BIOFERTILIZACIÓN BAJO DIFERENTES LÁMINAS DE RIEGO EN EL VALLE DE TUCUTUNEMO, ESTADO ARAGUA

Ferrer¹ Jairo, Flores² Bestalia, Delgado¹ Leander, Hernández³ Francisco

¹CIESA Universidad Rómulo Gallegos

²FUNDACITE Guárico

³ Postgrado en Ciencia del Suelo, UCV

jferrer@unerg.edu.ve

Resumen

En un sector del valle del río Tucutunemo, municipio Zamora, estado Aragua, se evaluó el efecto de la dosis de biofertilizantes a base de bacterias fijadoras de nitrógeno de vida libre (FNVL) y solubilizadoras de fósforo (SF), sobre nutrientes en planta y el rendimiento del híbrido de maíz para consumo HIMECA 3005. Se emplearon dos láminas de riego: 100 y 70% de la evapotranspiración del cultivo (ETc), y se aplicó un diseño experimental completamente al azar con cuatro tratamientos: 0, 1 y 2 L*ha⁻¹ de FNVL y SF, respectivamente y Urea (150 kg*ha⁻¹) con tres repeticiones. Las variables evaluadas fueron: concentración de nitrógeno (N) y fósforo (P) en planta y rendimiento del rastrojo y grano. Se confirmó la normalidad de las variables y se realizó un análisis de varianza (prueba de Duncan $p \leq 0,05$). La concentración de nutrientes en plantas no arrojaron diferencias significativas entre los tratamientos cuando se cubrió el 100% ETc, mientras que al aplicar déficit hídrico si presentó diferencias en la concentración de N. Hubo diferencias significativas entre los tratamientos para las dos láminas de riego en rendimiento en grano. Con 100% ETc el mayor valor fue con 2 L*ha⁻¹ de biofertilizantes y el menor con Urea (9310 y 5824 kg*ha⁻¹, respectivamente). Mientras que bajo déficit hídrico el mayor valor es para la Urea (6341 kg*ha⁻¹) y el menor para 0 L*ha⁻¹ de biofertilizantes (4383 kg*ha⁻¹). El uso de biofertilizantes y una suplencia hídrica adecuada, reafirmaron la efectividad de tecnologías sustentables de bajo costo.

Palabras clave: biofertilización, lámina de riego, déficit hídrico, bacterias fijadoras de nitrógeno, Valle de Tucutunemo.

Introducción

El uso de fertilizantes de origen industrial ha sido una de las prácticas más usadas en los campos agrícolas del mundo, como consecuencia de la poca disponibilidad de nutrimentos que ofrecen los suelos. Sin embargo desde hace algún tiempo se habla de la problemática ambiental que se viene generando por el uso excesivo de los mismos.

Ante tal situación, Mogollón y Comerma (1994) recalcan que para racionalizar el uso de los fertilizantes, el cual es un insumo vital en nuestra agricultura, es necesario adoptar sistemas agrícolas que no agoten rápidamente la fertilidad del suelo. De esta manera la agricultura sustentable o de bajos insumos es una alternativa relativamente viable. Mejía (1995) señala que la sostenibilidad de los sistemas agrícolas a largo plazo debe fomentar el uso y manejo efectivo de los recursos internos de los agrosistemas.

En tal sentido, ha emergido el uso de los biofertilizantes, los cuales representan un componente vital de los sistemas agrícolas sustentables, y además constituyen un medio económicamente atractivo y ecológicamente aceptable, logrando reducir los insumos externos y mejorando la cantidad y calidad de los recursos internos. Esto se alcanza mediante la utilización de microorganismos del suelo debidamente seleccionados, capaces de aportar a los cultivos nitrógeno fijado de la atmósfera y fósforo transformado a partir del que está presente en el suelo, así como sustancias fisiológicamente activas que, al interactuar con la planta, generan una mayor activación del metabolismo [Burdman et al., (2000); Bauer, (2001)].

Este ensayo está enmarcado dentro de un proyecto mayor, que procura evaluar la biofertilización con nitrógeno y fósforo en el cultivo de maíz bajo condiciones de estrés hídrico, como una estrategia de adaptación al cambio climático.

Materiales y Métodos

El experimento se realizó en suelos de la Cooperativa “Valles de Tucutunemo III” ubicada en el Asentamiento “El Cortijo” de la parroquia Valle de Tucutunemo, municipio Zamora, estado Aragua, Venezuela. El valle se caracteriza por tener una precipitación media anual de 1.029 mm, con siete meses húmedos (Mayo-Noviembre) y 5 secos (Diciembre-Abril). La humedad relativa media anual es de 70% y la temperatura media anual corresponde a 25°C (MARN, 1983).

Fue evaluada la dosis de biofertilizantes a base de bacterias fijadoras de nitrógeno de vida libre (FNVL) y bacterias solubilizadoras de fósforo (SF) en el cultivo de maíz sobre un suelo de alta fertilidad (Tabla 1). Se muestreó el terreno previo al ensayo, y se aislaron las bacterias FNVL (*Azotobacter* spp) y bacterias SF de vida libre. La granulometría se realizó por el método de Boyoucos, el pH en relación suelo:agua 1:2,5; la conductividad eléctrica en suspensión 1:5, el calcio por acetato de amonio y el fósforo y el potasio por Olsen (CIESA, 2000), y el carbono orgánico total, por el método de oxidación de Walkley y Black modificado (Heanes, 1984).

Tabla N° 1. Resultados del análisis con fines de fertilidad

Atributo		Atributo	
Arena (%)	18	CE (dS m ⁻¹)	0,18
Limo (%)	46	Fósforo (mg kg ⁻¹)	72
Arcilla (%)	37	Potasio (mg kg ⁻¹)	238
Clase Textural	FAL	Calcio (mg kg ⁻¹)	1540
MO (%)	4,82	Magnesio (mg kg ⁻¹)	> 200
pH (1:2,5)	7,5		

Clase Textural = USDA; CE = Conductividad Eléctrica 1:5;

El sistema de manejo es de maíz para consumo bajo riego. Se usaron dos láminas de riego; 100 y 70% de la evapotranspiración del cultivo (ETc). Para el cálculo de la ETc y demás variables de riego se utilizaron los datos históricos de clima y los requerimientos del cultivo, así como variables medidas de suelo: capacidad de campo (CC), punto de marchitez permanente (PMP) y densidad aparente (Da). El valor de la lámina de riego fue constantemente monitoreado (recalculado) según la fenología del cultivo y los datos de humedad del suelo; esta última medida diariamente.

En cada lámina de riego, se aplicó un diseño completamente al azar con cuatro tratamientos: 0 L ha⁻¹, 1 L ha⁻¹ y 2 L ha⁻¹ de FNVL y SF respectivamente y uno con fertilizante inorgánico (urea) a razón de 150 kg ha⁻¹ y se contó con tres repeticiones. Resultaron 12 unidades experimentales (UE) de (3x4) metros en el ensayo donde se aplicó el 100% de ETc e igual número de unidades para el ensayo con déficit hídrico (70% ETc). Se utilizó el híbrido de maíz amarillo HIMECA 3005, sembrado a (0,9x0,2) metros e inoculado previamente con *Trichoderma sp* para controlar

enfermedades. A los 18 días después de la siembra fueron aplicados los biofertilizantes (FNVL y SF) y la urea en los diferentes tratamientos.

Al momento de la aparición de barba o inicio de la formación de cabello en cada UE, se hizo un muestreo en la hoja opuesta a la mazorca (Jones, 1967) para evaluar el nitrógeno (N) y fósforo (P) en plantas (Howeler, 1983). Para estimar el rendimiento se tomaron las mazorcas en 2 metros lineales de 4 hileras en cada UE. Para estimar el rendimiento en base al peso del grano se hizo la corrección por humedad (14%) utilizando la fórmula propuesta por Avelares (1992).

A los datos se le realizó un análisis estadístico descriptivo y la prueba de normalidad de Shapiro-Wilks, y se confirmó el comportamiento normal de las variables, luego fue realizado un análisis de varianza (Duncan $p \leq 0,05$) con InfoStat [Di Rienzo et al., (2011)].

Resultados y Discusión

Nutrientes en planta de maíz

Los resultados de nutrientes en planta para ambas condiciones hídricas, 100% y 70% de la ETc, indican niveles deficientes de concentración de N en plantas (Tabla 2), mientras que el P

presenta valores dentro de los estándares para cultivos tropicales de Howeler (1983). No se evidenciaron diferencias significativas entre los tratamientos para tratamiento de riego

P en ambas condiciones, y el N cuando se aplicó el 100% de la ETc ($p \leq 0,05$).

Tabla 2. Nutrientes en plantas según

Tratamiento	100% ETc		70% ETc	
	N %	P%	N %	P%
0 L/ha	2,25 a	0,30 a	2,20 ab	0,32 a
1 L/ha	2,01 a	0,36 a	2,09 b	0,32 a
2 L/ha	2,15 a	0,34 a	2,04 b	0,33 a
Urea	2,38 a	0,37 a	2,41 a	0,33 a

Los valores de P en planta indican que no se afectó la absorción del elemento por efecto de los tratamientos, lo cual posiblemente se debe a la alta disponibilidad del mismo en el suelo, así como al efecto promotor de crecimiento de los microorganismos que pudo haber contribuido a una mayor elongación de las raíces, facilitando así la absorción de P.

El tratamiento de urea mostró una mayor concentración de N en planta con respecto a los demás. (Tabla 2). Estos resultados pudieron estar influenciados por el alto contenido de fósforo en el suelo, que estaría inhibiendo la fijación de N por parte de las bacterias fijadoras de N. Otro factor que pudiera estar afectando la fijación biológica de N es la reacción del suelo de tendencia ligeramente alcalina (pH 7,5), la cual influye negativamente en la interacción del hierro y molibdeno, elementos importantes en este proceso por estar contenidos en el componente Mo-Fe de la nitrogenasa [Baca et al, (2000)], enzima que interviene en la fijación biológica del N atmosférico.

En el tratamiento con déficit hídrico (70% ETc), se observaron diferencias significativas entre los tratamientos

para N ($p \leq 0,05$), el tratamiento con urea mostró una mayor concentración de N en planta con respecto a los demás (Tabla 2). Estos resultados parecen estar influenciados por el déficit de humedad en el suelo, el cual afecta el desarrollo de las bacterias fijadoras de N, así como la descomposición y mineralización de la materia orgánica, las cuales representan las fuentes de aporte de N en el suelo disponible para la planta. Por otro lado, el déficit de agua en el suelo, disminuye las necesidades de nitrógeno requerido por la planta, la cual reduce el suministro de carbono a la flora bacteriana de la rizósfera. Al disminuir la energía entregada, las bacterias disminuyen la fijación de nitrógeno [Guy Webb, (2011)].

Rendimiento de rastrojo del maíz

Los resultados del rendimiento de rastrojo cuando se suple el 100% de la ETc, no mostraron diferencias significativas ($p \leq 0,05$) entre los tratamientos (Figura 1), igualmente no se evidenció diferencias cuando se aplicó el déficit hídrico (Figura 2). Ello puede ser producto de la variación que presentan los datos, observándose en 100% ETc

un coeficiente de variación (CV) de: 27, 12, 14 y 49% en los tratamientos de 0, 1 y 2 L ha⁻¹ de biofertilizantes y de urea, respectivamente. Esto evidencia una alta variación sobre todo en el testigo y el tratamiento de urea. La dosis 2 L ha⁻¹ de biofertilizantes arroja los resultados más altos 8231 kg ha⁻¹, seguido de la urea 6408 kg ha⁻¹ y el testigo y 1 L ha⁻¹ de biofertilizantes, 6250 y 6089 kg ha⁻¹, respectivamente (Figura 1). Similar aseveración es valida con la presencia de déficit de

humedad (70% ETC), observándose un coeficiente de variación (CV) de: 28, 54, 22 y 37% en los tratamientos de 0, 1 y 2 L ha⁻¹ de biofertilizantes y de urea respectivamente. Se observa una relación lineal entre el rastrojo y los rendimientos obtenidos para cada tratamiento. El tratamiento con urea arroja los resultados más altos con 5447 kg ha⁻¹ seguido de 1 y 2 L ha⁻¹ de biofertilizantes con 5351 y 5318 kg ha⁻¹, respectivamente teniendo el testigo de 0 L ha⁻¹ el de menor valor 3110 kg ha⁻¹ (Figura 2).

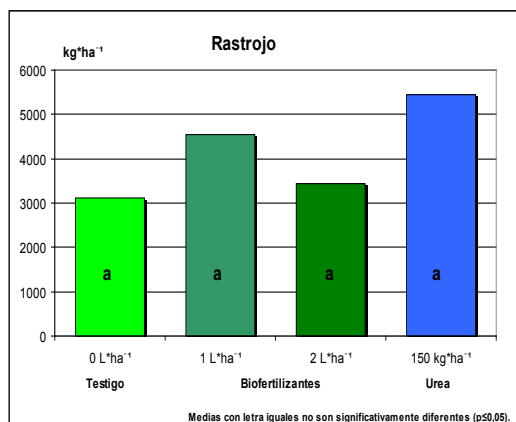


Figura 1. Rastrojo del Maíz con 100% Etc

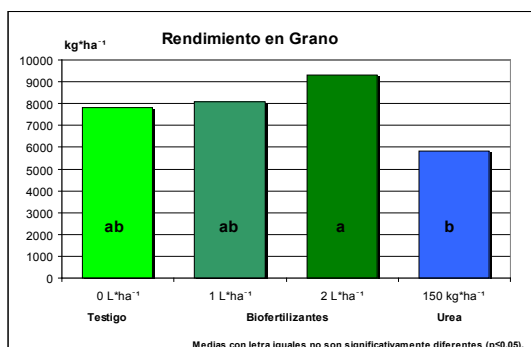


Figura 2. Rastrojo del Maíz con 70% Etc

Rendimiento en grano del maíz

Para el rendimiento en grano del maíz se evidencian diferencias significativas ($p \leq 0,05$) entre los tratamientos cuando se aplicó el 100% del requerimiento hídrico (Figura 3). El mayor valor se obtuvo con

2 L ha⁻¹ de biofertilizantes y el menor al aplicar urea, con 9310 y 5824 kg ha⁻¹, respectivamente. El tratamiento de 1 L ha⁻¹ y el testigo alcanzaron 8076 y 7832 kg ha⁻¹ respectivamente.

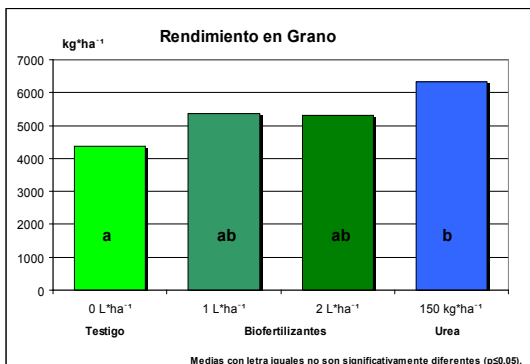


Figura 3. Rendimiento en grano del Maíz con 100% Etc

Por su parte, cuando se aplicó déficit hídrico (70% Etc), los rendimientos de grano en maíz muestran valores de 4383, 5351, 5318 y 6341 kg ha⁻¹ para los tratamiento 0 L ha⁻¹, 1L ha⁻¹, 2L ha⁻¹ y fertilizada con urea, respectivamente (Figura 4). Se observaron diferencias significativas entre los tratamientos ($p \leq 0,05$).

Cuando es cubierto el 100% del requerimiento hídrico, en los tratamientos con fertilización biológica de 2 y 1 L ha⁻¹, se observa un incremento de los rendimientos de 19% y 3% respectivamente, en relación al testigo (Figura 3). Mientas que con déficit

hídrico, la fertilización biológica de 1L ha⁻¹ y 2L ha⁻¹ evidencio un incremento en un 22% y 21% respectivamente con relación al testigo (Figura 4).

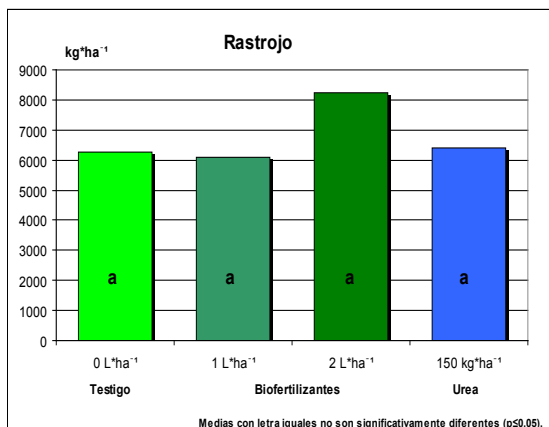


Figura 4. Rendimiento en grano del Maíz con 70% ETc

Los resultados coinciden con lo señalado por [Konde y Shinde, (1984)], quienes reportan incrementos entre 5 y 15% en el rendimiento del maíz, mediante la inoculación con *Azotobacter chroococcum* y *Azospirillum brasilens*.

El manejo con urea evidencia rendimientos muy bajos en relación al resto de los tratamientos, cuando fue aplicado el requerimiento de humedad del cultivo (100% ETc). Esto se debe posiblemente a la pérdida de N por volatilización, las cuales se incrementan en condiciones adecuadas de humedad y alto contenido de materia orgánica [Gragueda et al., (2000)], como en nuestro caso (MO= 4,82%), afectando el desarrollo de las plantas y su rendimiento. En contraposición con déficit hídrico al fertilizar con urea se obtuvo un aumento de 44% respecto al testigo (Figura 4).

Aún cuando los resultados de nitrógeno en planta resultaron deficientes, el rendimiento en granos mostró valores

adecuados y en correspondencia con el híbrido empleado, lo que puede estar indicando que la absorción de N por parte del híbrido utilizado no necesariamente alcanza los valores considerados normales para expresar el máximo rendimiento.

Se quiere resaltar que las dosis con fertilización biológica no arrojaron diferencias de rendimiento entre ellas ($p \leq 0,05$), en situación de déficit (70% ETc). Lo que puede apuntalar que en suelos de alta fertilidad, como los de este ensayo, se utilicen dosis de biofertilizantes de FNVL y SF de 1L ha⁻¹, en contraposición a la dosis recomendada usualmente de 2 L ha⁻¹. Aun cuando en sentido de manejo práctico, aplicar 1 o 2 L ha⁻¹ de un producto puede resultar similar, en la línea de producción de biofertilizantes se estaría generando un ahorro del 50%. Así mismo, ello permitiría la posibilidad de abarcar un mayor número de productores y/o

hectáreas de producción con el uso de esta tecnología limpia y de bajo costo.

Conclusiones

El manejo con el uso de biofertilizantes (FNVL y SF) y con una suplencia hídrica adecuada (100% ETc) reportó mejores rendimientos en grano, rastrojo y biomasa total del maíz. Esto reafirma la efectividad del uso de tecnologías limpias, sustentables, amigables con el ambiente, de muy bajo costo y que mantienen y mejoran la productividad de los agroecosistemas.

Aún con 30% de déficit hídrico la fertilización biológica mantuvo valores de rendimientos en grano muy adecuados para el híbrido utilizado (5351 Kg ha⁻¹), lo que apunta al uso de tecnologías limpias, sustentables, amigables con el ambiente y de muy bajo costo para el productor.

Los resultados evidencian que en suelos de alta fertilidad de zonas con problemas de suplencia de agua, pueden utilizarse dosis de biofertilizantes de FNVL y SF de 1 L ha⁻¹ respectivamente, sin ver afectados los rendimientos.

Las deficiencias de nitrógeno en tejido pudieran estar influenciadas por el alto contenido de fósforo en el suelo, que estaría inhibiendo la fijación de N por parte de las bacterias fijadoras. Igualmente, el grado de reacción de los suelos, estaría afectando negativamente la disponibilidad en la interacción del hierro y molibdeno, que son elementos importantes por estar contenidos en el componente Mo-Fe de la nitrogenasa, enzima que interviene en la fijación biológica del N atmosférico.

En cuanto al fósforo, los niveles normales encontrados en tejido puede deberse a la alta disponibilidad del mismo en el suelo, así como al efecto promotor de crecimiento de los microorganismos que pudo haber contribuido a una mayor elongación de las raíces, facilitando así la absorción de P.

Agradecimiento

Al personal del Centro de Investigación y Extensión en Suelos y Aguas (CIESA-UNERG), por su apoyo en el desarrollo de esta investigación.

A los “abuelos” de la Cooperativa Valles de Tucutunemo III, por facilitarnos el terreno para los ensayos y compartir gratamente sus experiencias.

A FUNDACITE Aragua, por el financiamiento del Proyecto “Relación Suelo – Agua – Planta y uso eficiente de agua de riego en la rotación Maíz – Caraota en el Valle del Río Tucutunemo”. 23/10/09-10/09/11. Proyecto N° 2009-ICT-04-16-11-1 (3393).

Al FONACIT por el financiamiento del Proyecto LOCTI “Fortalecimiento del Sistema de Innovación, Promoción, Uso y Manejo de Biofertilizantes a través de la Red Nacional de Laboratorios Comunes del Instituto Nacional de Salud Agrícola Integral y el Instituto Nacional de Investigaciones Agrícolas (INSAI-INIA) 2010-2011”. Contrato N° 101000328.

Muy especialmente a la Dra Marisol López†, quien nos brindó su apoyo y amistad en el desarrollo de esta investigación.

Referencias Bibliográficas

- Mogollón, L.; Comerma, J. (1994). Suelos de Venezuela. Gerencia Corporativa de Asuntos Públicos – Palmaven, PDVSA. Caracas.
- Mejía, G. (1995). Agricultura para la vida: movimientos alternativos frente a la agricultura química. Cali, Colombia: Feriva, 252.
- Burdman, S.; Jarkevicht, E.; Okón, Y. (2000). Recent advances in the use of PGPR in Agriculture. En *Microbial Interactions in Agriculture and Forestry*. Science Publishers Inc., Plymouth, UK. 29-250 p.
- Bauer, T. (2001). Microorganismos fijadores de nitrógeno, [en línea], de <http://www.microbiologia.com/nf/suelo/rhizobium.html>
- MARN. (2003). Informe Julio 2003. Evaluación hidrologica, valle del río Tucutunemo. municipio Zamora – Aragua.
- CIESA. (2000). Metodologías de laboratorio utilizadas en el centro de investigación y extensión en suelos y aguas. Universidad Nacional Experimental de los Llanos Centrales Rómulo Gallegos. (Mimeografiado). 25 pp.
- Heanes, D. (1984). Determination of total organic- C in soil by an improved chromic acid digestion and spectrophotometric procedure. *Revista Soil Science and Plant Analysis*. 15:1191-1213.
- Jones, J. (1967). Interpretation of plant analysis for several agronomic crops. En *soil testing and plant analysis: Part II, Plant analysis*. SSSA Spec. Pub. No 2. Soil Sci. Soc America, Madison, Wisconsin. 49-58.
- Howeler, R. (1983). Análisis de tejido vegetal en el diagnóstico de problemas nutricionales: algunos cultivos tropicales. Centro Internacional de Agricultura Tropical, Cali, Colombia. 28 pp.
- Avelares, J. (1992). Evaluación comparativa de 8 variedades de frijol común (*Phaseolus vulgaris* L) recolectado en Nicaragua. *Revista Germoplasma*. 1: 1-8.
- Di Rienzo J.; F. Casanoves; M. Balzarini; L. Gonzalez; M. Tablada y C. Robledo. 2011. InfoStat versión 2011, [en línea]. Grupo InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina, de <http://www.infostat.com.ar>
- Baca, B.; Soto, L.; Pardo. (2000). Fijación biológica de nitrógeno. Elementos 38:43-49, [en línea], de <http://www.elementos.buap.mx/num38/pdf/43.pdf>. 05-06-2011.
- Guy Webb, B. (2011). Bacterias fijadoras de nitrógeno en cultivos agrícolas, una realidad actual, [en línea], de <http://www.amecological.cl/bacterias-fijadoras-ficha-.pdf>. 05-06-2011.
- Konde, B.; Shinde, P. (1984). Effect of *Azotobacter chroococcum* and *Azospirillum brasilense* Inoculations and Nitrógeno on Yields of Sorghum, Maíz, Pearl Millet, and Wheat. En: *Cereal nitrogen fixation. Proceedings of the Working Group Meeting*, 9-12, ICRISAT Center. India. Patancheru. 85 – 91.
- Gragueda, O.; Vermoensen, A.; Van, O ; Clempu Peña, J. (2000). Efecto del tipo de suelo, humedad y fuente de nitrógeno en las emisiones de N₂ y N₂O. *Terra Latinoamericana*. Vol 18, N° 001:1-9.