

Parcelas demostrativas de maíz y frijol arbustivo en asocio con el uso de *Rhizobium* como inoculante en el Departamento de Sololá, Guatemala

Rolando Cifuentes¹, Edwin de León¹, Sofía Gómez¹, Roberto de León², Carlos Rolz²

¹Centro de Estudios Agrícolas y Alimentarios, ²Centro de Ingeniería Bioquímica, Instituto de Investigaciones, Universidad del Valle de Guatemala
rcifuen@uvg.edu.gt

Introducción

Con excepción del agua, el nitrógeno es considerado el nutriente más limitativo para las plantas (Franco y Dobreiner, 1994). El mismo es un constituyente de aminoácidos, proteínas, enzimas, ácidos nucleicos y vitaminas. El nitrógeno molecular (N₂) es la única reserva accesible e ilimitada en la biosfera, pero lamentablemente no es empleado por los vegetales. Para que el nitrógeno molecular pueda ser utilizado es necesario que sea reducido y los únicos capaces de hacerlo biológicamente son microorganismos procariontes de los dominios *Eubacteria* y *Archaea* por el proceso denominado Fijación Biológica de Nitrógeno (FBN).

El sistema de FBN más importante es el conjunto simbiótico que conforman las bacterias rizobiáceas con las plantas leguminosas (Herridge et al. 2008; Lindström et al. 2010). En un sistema óptimo que asegure la presencia de densidades adecuadas en el suelo de rizobia específica para tal leguminosa, la planta puede llegar a satisfacer del 36 al 68 % del nitrógeno que necesita en su ciclo productivo a través de este mecanismo de FBN (Herridge et al. 2008).

El frijol común (*Phaseolus vulgaris* L.) representa en países tropicales de Latinoamérica y África, entre ellos Guatemala, la mayor fuente de proteína vegetal para la población (Broughton et al. 2003). Lamentablemente el mecanismo de FBN en el frijol es el menos eficiente entre las leguminosas (Herridge et al. 2008). Se ha aceptado que el frijol es nativo de América existiendo tres núcleos de diversidad genética, el de México, Centroamérica y Colombia, el de Ecuador y el norte del Perú andinos y el de los andes del Sur (Aguilar et al. 2004). Se han identificado varias especies de rizobia asociadas simbióticamente con el frijol, *Rhizobium etli* bv. *phaseoli*, *Rhizobium leguminosarum* bv. *phaseoli*, *Rhizobium tropici*, *Rhizobium gallicum*, y *Rhizobium giardini* (Amarger 2001). Sin embargo es *Rhizobium etli* bv. *phaseoli* el predominante en los nódulos del frijol (Aguilar et al.

2004) demostrándose que el proceso de nodulación es preferencial al núcleo específico, es decir, rizobia de Mesoamérica formaran nódulos efectivos en las variedades de frijol sembradas en dicha región, lo que indica que ha existido una co-evolución de planta y microorganismo (Aguilar et al. 2004).

A nivel mundial se reportaron experimentos en el campo que mostraron que la inoculación del frijol con rizobia mostraba una formación de nódulos baja y pobres rendimientos en la cosecha, atribuyéndolo a competencia con rizobia locales presentes en el suelo, a condiciones de estrés ambiental y a problemas genéticos de reconocimiento molecular entre planta y microorganismo. Sin embargo se ha demostrado que al utilizar el rizobia adecuado a la variedad de frijol dada, en conjunto con un programa de fertilización con nitrógeno inorgánico en bajas dosis, produce aumentos importantes en el rendimiento (Hungria et al. 2003).

En ensayos previos con frijol arbustivo de la variedad ICTA Hunapú en el Campo del Altiplano de la UVG se encontró que la inoculación con dos cepas de rizobia aisladas localmente, el rendimiento por hectárea era similar entre a) ensayos con una fertilización química al emplear una dosis de 60 kg N/ha y b) ensayos con una fertilización química al utilizar una dosis de 30 kg N/ha más inoculación con la cepa de rizobium; por lo que existía una sinergia positiva entre ambas técnicas (Sierra et al. 2012). Dicho en otras palabras y en términos prácticos, al emplear una inoculación con rizobia durante el sembrado podría reducirse la fertilización química a la mitad sin alterar el rendimiento.

En el presente trabajo se tuvo como objetivo comprobar si la sinergia positiva entre fertilización química e inoculación con rizobia prevalecía cuando se sembraba frijol en asocio con maíz.

Materiales y métodos

• Sitio experimental, variedades de frijol y maíz, y diseño de pruebas

Los sitios experimentales incluyeron la Estación Experimental de UVG en Campus Altiplano (Sololá) ubicado a una altitud de 2,340 metros sobre el nivel del mar (msnm) y dos sitios en el municipio de San Andrés Semetabaj (Xejujú a 2061 msnm y Las Canoas Bajas a 2189 msnm).

De acuerdo al mapa taxonómico de suelos del Departamento de Sololá (MAGA-DIGEGR, 2013), el suelo del sitio de la estación experimental ($14^{\circ}47'7.07''N$ y $91^{\circ}11'12.60''O$) y el del sitio Xejujú ($14^{\circ}44'19.71''N$ y $91^{\circ}7'26.58''O$) pertenece al orden Inceptisol y el del sitio Las Canoas Bajas ($14^{\circ}42'45.70''N$ y $91^{\circ}5'49.94''O$) es del orden Molisol. Los suelos que forman parte del orden Inceptisol son considerados como suelos poco desarrollados o de baja evolución, pero con horizontes bien diferenciados. En el caso de Sololá, los suelos Inceptisoles presentan contenidos variables de materia orgánica, de media a alta capacidad de intercambio catiónico y saturación de bases (K, Ca, Mg y Na). Los suelos del orden Molisol, son suelos con horizonte superficial grueso, mullido o blando y oscuro. Relativamente alto en su contenido de materia orgánica y saturación de bases del suelo mayor al 50%.

Se emplearon dos variedades de frijol arbustivo, tipo II, ICTA Texel e ICTA Altense. Las dos variedades fueron desarrolladas por el Instituto de Ciencia y Tecnología Agrícolas, ICTA, de grano negro y de flor morada con tolerancia a daño causado por *Aschochyta*, *Colletotrichum* y roya. Se recomiendan para altitudes de 1,500 a 2,300 msnm (Villatoro et al., 2011). Se estima un tiempo a cosecha de 110 a 120 días y un rendimiento de aproximadamente 2.5 t/ha.

Se utilizó maíz nativo de grano blanco utilizado por los productores de la región de San Andrés Semetabaj. El ciclo de la variedad es de aproximadamente 9 meses a cosecha.

Los tratamientos fueron los siguientes: a) rhizobia, b) fertilización química, c) media fertilización química + rhizobia y d) fertilización química + rhizobia. Cada unidad experimental (U.E.) consistió de cuatro surcos de maíz y de tres camas de frijol. Se cosecharon los dos surcos centrales de maíz y la cama central de frijol como parte de la parcela neta de cada U.E.

El ancho del surco de maíz fue de 1 m con un camellón en medio de la calle. Las distancias entre posturas de maíz fueron de 0.90 m y se sembraron 5 semillas por postura. Al raleo, se dejaron las 4 mejores plántulas de maíz para cada postura a fin de alcanzar una densidad de 44,444 plantas por hectárea. El frijol se sembró sobre el camellón que está en medio de la calle de maíz. Se colocaron 3 ó 4 semillas en forma transversal a la dirección del camellón. Cada serie de 4 semillas se colocaron a 20 cm (una cuarta) de distancia. De esa forma se



Gráfica 1. Diseño experimental empleado en el momento de emergencia de las plantas del suelo.

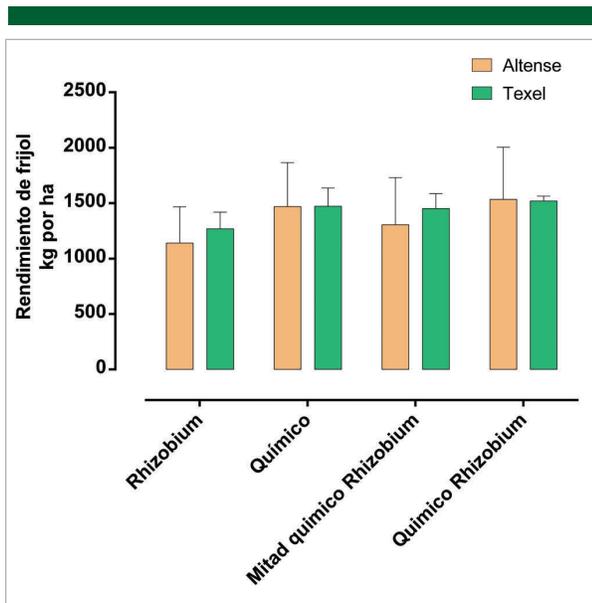
alcanzó una densidad de 150,000 a 200,000 plantas de frijol por hectárea. En el caso del frijol no se efectuó un raleo. Ver Gráfica 1.

La primera fertilización estaba orientada a fertilizar tanto el maíz como el frijol con la primera limpia (30 - 45 días después de la siembra). Esta fertilización consistió en la aplicación de 60 - 60 Kg de N - P₂O₅ por hectárea. La segunda fertilización consistió en la aplicación de 50 kg de N por hectárea utilizando urea (46 - 0 - 0). Se contempló el tratamiento con la aplicación de _ dosis de fertilizante químico en el cual se efectuó únicamente la primera fertilización para frijol.

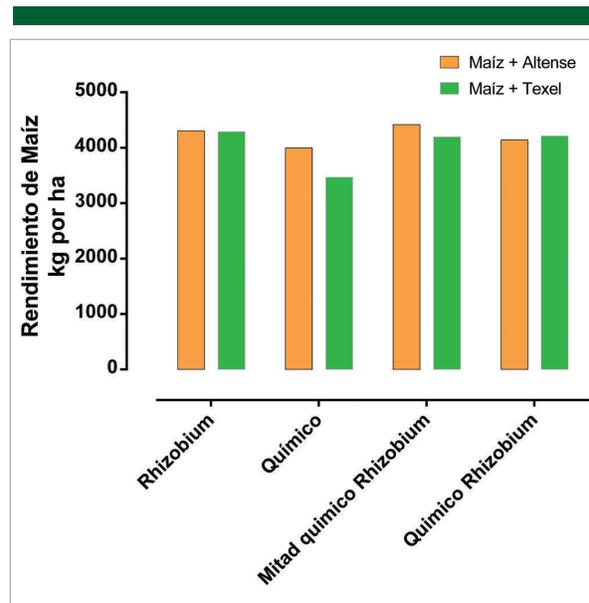
La inoculación con Rhizobia se realizó al momento de la siembra utilizando compost como soporte. En cada línea de frijol se aplicó lo que se cogió utilizando tres dedos. El material se depositó al fondo de la postura, e inmediatamente se colocó la semilla de frijol. La preparación del compost de residuos de caña de azúcar y la preparación del inóculo de rhizobia se llevó a cabo de acuerdo a los protocolos anteriormente empleados (Sierra et al. 2012). La cepa de rhizobia utilizada fue aislada en una plantación comercial del Departamento de Jutiapa.

Se obtuvo los datos de floración y días a cosecha del frijol, así como el rendimiento de maíz y frijol. Los días a floración del frijol se fijó cuándo el 50 % de las plantas tenían al menos un botón floral o iniciaba la floración, y los días a cosecha cuando las vainas habían cambiado de color (de verde a blanco o crema) y estaban relativamente secas. Los días a floración y a cosecha de frijol ICTA Altense e ICTA Texel fueron 50 y 59 días a floración; 120 y 133 días a cosecha, respectivamente. El maíz fue cosechado a los 265 días después de la siembra.

El rendimiento fue estimado con base en la cosecha de maíz y frijol de las plantas que formaron parte de la parcela neta. Una vez realizada la cosecha, tanto el maíz como las vainas de frijol fueron secadas al sol y posteriormente desgranadas. El grano fue pesado cuando contenía una humedad inferior al 20%, y el rendimiento fue estandarizado a una humedad del 12%.



Gráfica 2. Rendimiento de frijol arbustivo en asocio con maíz bajo diferentes estrategias de fertilización



Gráfica 3. Rendimiento de maíz bajo diferentes estrategias de fertilización

Resultados y discusión

Se muestra el promedio y la desviación estándar del rendimiento de las dos variedades de frijol obtenido en los sitios experimentales. Los parámetros de la estadística descriptiva se obtuvieron de una determinación por cada sitio ensayado de manera que el parámetro representa únicamente la variación de la respuesta debido a cambios en el tipo de fertilización empleado y de la variedad del frijol usada. Ver Gráfica 2.

El rendimiento de frijol en kg por ha se evaluó utilizando el análisis de variancia de dos vías (variedad de frijol y tipo de fertilización). Los resultados mostraron que las diferencias de los promedios no fueron significativas tanto para la variedad de frijol como el tipo de fertilización. Posiblemente la razón fundamental del hecho anterior se debió al alto valor de la desviación estándar, asociada a la variación inherente al sitio de la experimentación. Sin embargo, se observa que fue posible mantener la máxima productividad al reemplazar la mitad del fertilizante químico con la adición de compost enriquecido con rhizobia a la semilla durante la siembra, lo cual confirma resultados previos obtenidos en el monocultivo de frijol arbustivo (Sierra et al. 2012).

Los datos del rendimiento del maíz se ilustran en la Gráfica 3. En este caso se muestra únicamente el promedio obtenido de los datos individuales de los diferentes sitios debido a que hubo excesiva variabilidad entre cada sitio. Sin embargo, es posible observar que en todos los casos que se empleó rhizobia durante la siembra de las dos variedades de frijol, el rendimiento del maíz se acercó a las 4 Mg por ha. No fue el caso del rendimiento

obtenido con la fertilización química, el cual, principalmente con la variedad Texel, estuvo debajo de esta cifra.

La ventaja principal de la producción en asocio de diferentes especies es la mayor eficiencia en la utilización de los recursos y en el aumento de la productividad en relación con el cultivo individual de las especies. El aumento en rendimiento se debe a una mejor absorción de los recursos disponibles como la luz, el agua y los nutrientes. El beneficio de incluir leguminosas con cereales es la transferencia directa del nitrógeno fijado biológicamente por la leguminosa al cereal. Dicha transferencia se lleva a cabo por una excreción del nitrógeno de los nódulos radiculares en la leguminosa hacia la rizósfera del cereal. La técnica también es una excelente herramienta para controlar la erosión del suelo (Lithourgidis et al. 2011).

Referencias de ensayos de maíz en asocio con varias leguminosas en países africanos han confirmado beneficios. El gandul con maíz mejoró la absorción por parte del maíz del nitrógeno fijado biológicamente por la leguminosa y transferido al suelo (Adu-Gyamfi et al. 2007). Además, se reportó también un mayor rendimiento del maíz (Myaka et al. 2006; Waddington et al. 2007). Caupí con maíz produjo más materia vegetal que el cultivo independiente (Dahmardeh et al. 2010), y el forraje mostró una mayor digestibilidad y contenido de proteína (Dahmardeh et al. 2009). El rendimiento del grano del maíz y el frijol aumentaron en asocio (Mukhala et al. 1999) y en otro experimento similar el rendimiento del grano de maíz aumentó un 43 % (Mucheru-Muna et al. 2010).

No es de extrañar, entonces la respuesta obtenida en este trabajo especialmente el maíz con el frijol Altense.

Conclusión

El asocio del maíz con frijol incorporando una inoculación con rizobia a la hora de la siembra mostró dos aspectos positivos: 1) se mantuvo la máxima productividad del frijol al reemplazar la mitad del fertilizante químico con la adición de compost enriquecido con rizobia a la semilla durante la siembra, y 2) se mantuvo la misma productividad del maíz al reemplazar la mitad del fertilizante químico con la adición de compost enriquecido con rizobia a la semilla durante la siembra.

Se considera pertinente recomendar la realización de ensayos más completos para confirmar los resultados preliminares obtenidos y en donde se exploren diferentes combinaciones de variedades de frijol y maíz y otras cepas de rizobia.

Bibliografía

- Adu-Gyamfi, J.J., Myaka F.A., Sakala W.D., Odgaard, R., Vesterager J.M., Høgh-Jensen, H. (2007) *Biological nitrogen fixation and nitrogen and phosphorus budgets in farmer-managed intercrops of maize-pigeonpea in semi-arid southern and eastern Africa* Plant Soil 295: 127-136.
- Aguilar, O.M., Riva, O., Peltzer, E. (2004) *Analysis of Rhizobium etli and of its symbiosis with wild Phaseolus vulgaris supports coevolution in centers of host diversification* PNAS 101: 13548-13553.
- Amarger, N. (2001) *Rhizobia in the field* Advances in Agronomy 73: 109-168.
- Broughton, W.J., Hernández, G., Blair, M., Beebe, S., Gepts, P., Vanderleyden, J. (2003) *Beans (Phaseolus spp.) - model food legumes* Plant Soil 252: 55-128.
- Dahmardeh, M., Ghanbari, A., Syasar, B., Ramrodi, M. (2009) *Intercropping maize (Zea mays L.) and cow pea (Vigna unguiculata L.) as a whole-crop forage: Effects of planting ratio and harvest time on forage yield and quality* Journal of Food, Agriculture & Environment 7 (2): 505-509.
- Dahmardeh, M., Ghanbari, A., Syasar, B., Ramrodi, M. (2010) *The role of intercropping maize (Zea mays L.) and Cowpea (Vigna unguiculata L.) on yield and soil chemical properties* African Journal of Agricultural Research 5 (8): 631-636.
- Franco, A., Döbereiner, J.A. (1994) *Biología do solo e sustentabilidade dos solos tropicais* Summa Phytopathologica 20: 68-74.
- Herridge, D.F., Peoples, M.B., Boddey, R.M. (2008) *Global inputs of biological nitrogen fixation in agricultural systems* Plant Soil 311: 1-18.
- Hungria, M., Campo, R.J., Mendes, I.C. (2003) *Benefits of inoculation of the common bean (Phaseolus vulgaris) crop with efficient and competitive Rhizobium tropici strains* Biology and Fertility of Soils 39: 88-93.
- Lindström, K., Murwira, M., Willems, A., Altier, N. (2010) *The biodiversity of beneficial microbe-host mutualism: the case of rhizobia* Research in Microbiology 161: 453-463.
- Lithourgidis, A.S., Dordas, C.A., Damalas, C.A., Vlachostergios, D.N. (2011) *Annual intercrops: an alternative pathway for sustainable agriculture* Australian Journal of Crop Sciences 5 (4): 396-410.
- MAGA-DIGEGR (2013) *Estudio semidetallado de los suelos del departamento de Sololá, Guatemala* Tomo I. Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación, MAGA. Guatemala.
- Mucheru-Muna, M., Pypers, P., Mugendi, D., Kung'u, J., Mugwec, J., Merckx, R., Vanlauwe, B. (2010) *A staggered maize-legume intercrop arrangement robustly increases crop yields and economic returns in the highlands of Central Kenya* Field Crops Research 115: 132-139.
- Mukhala, E., De Jager, J.M., Van Rensburg, L.D., Walker, S. (1999) *Dietary Nutrient deficiency in small-scale farming communities in South Africa: benefits of intercropping maize (Zea mays) and beans (Phaseolus vulgaris)* Nutrition Research 19 (4): 629-641.
- Myaka, F.M., Sakala, W.D., Adu-Gyamfi, J.J., Kamalongo, D., Ngwira, A., Odgaard, R., Nielsen, N.E. Henning Høgh-Jensen (2006) *Yields and accumulations of N and P in farmer-managed intercrops of maize-pigeon pea in semi-arid Africa* Plant Soil 285: 207-220.
- Sierra, C., de León, E., Rosales, J., Cifuentes, R., Paniagua, O., de León, R., Rolz, C. (2012) *Evaluación de la sobrevivencia y eficiencia en invernadero y en ensayos de campo de cepas aisladas localmente de rizobia* Revista de la Universidad del Valle 24: 82-88.
- Villatoro, J., Castillo, F., Franco, J. (2011) *Producción de Frijol (Phaseolus vulgaris L.)* Instituto de Ciencia y Tecnología Agrícolas, ICTA. Guatemala.
- Waddington, S.R., Mekuria, M., Siziba, S., Karigwindi, J. (2007) *Long-term yield sustainability and financial returns from grain legume-maize intercrops on a sandy soil in subhumid north central Zimbabwe* Experimental Agriculture 43: 489-500.