

ESPECIES TROPICALES (FABACEAE): INVERSIÓN ASOCIADA AL APORTE RIZOSFÉRICO DE NITRÓGENO Y FÓSFORO AL SUELO

TROPICAL SPECIES (FABACEAE): INVESTMENT ASSOCIATED
TO THE RHIZOSPHERE CONTRIBUTION OF N AND P TO THE SOIL

Díaz-Prieto, L.A.¹; Vázquez-Luna, D.^{2*}; Jarquín-Sánchez, A.³; Velázquez-Silvestre, A.²; Lara-Rodríguez, D.A.⁴

¹Centro de Enseñanza e investigación para el Desarrollo Agrícola. Acayucan, Veracruz, México. C.P. 96000. ²Facultad de Ingeniería en Sistemas de Producción Agropecuaria (FISPA), Universidad Veracruzana, Carretera Costera del Golfo km. 220, Col. Agrícola y Ganadera Michapan. Acayucan, Veracruz, México. C.P. 96000. ³Colegio de la Frontera Sur, Laboratorio de biogeoquímica, ECO-SUR, Unidad Villahermosa. Carretera a Reforma Km. 15.5 s/n., Guineo 2da. Sección. Villahermosa, Tabasco, México. C.P. 86280. ⁴Colegio Posgraduados, Campus Veracruz. Carretera Xalapa Veracruz km 88.5 carretera federal Xalapa-Veracruz, 91700 Veracruz, México. C.P. 91700.

*Autor de correspondencia: divazquez@uv.mx

RESUMEN

El uso intensivo de fertilizantes sintéticos y el bajo uso de plantas mejoradoras de suelos tropicales, han deteriorado los recursos naturales, debido a que los agricultores no aprecian una mejora visible en proporción al trabajo que implica su cultivo. Con el propósito de considerar como una inversión económica el aporte de nitrógeno y fósforo (N y P) al suelo por tres especies fijadoras de nitrógeno (*Phaseolus vulgaris*, *Clitoria ternatea*, *Canavalia ensiformis*: Fabaceae), y tener una estimación que permita tomar decisiones, se analizó la inversión económica asociada al aporte rizosférico de N y P en un suelo de uso pecuario (Up) y otro agrícola (Ua). Se usó un diseño completamente al azar con tres repeticiones por cada especie. Las propiedades del suelo evaluadas fueron Nitrógeno total (N) y Fósforo aprovechable (P). La diferencia inicial y final de estos valores fueron estimados como aporte y convertidos a dólares americanos. Los resultados sugirieron que *P. vulgaris* fue la especie que mostró menor aporte de N en suelo de Up (14,723 kg ha⁻¹); y el contenido de P fue mayor con *C. ternatea* (26,851 kg ha⁻¹). *C. ensiformis* fue quien registró más inversión por N (US\$ 70.06) y *C. ternatea* fue la de mayor inversión por P (US\$ 42.80) con Up, sin registrar inversiones por N y P en suelo de Ua.

Palabras clave: Agricultura orgánica, conservación de suelos, fijación biológica.

ABSTRACT

The intensive use of synthetic fertilizers and the low use of plants that improve tropical soils have damaged natural resources, because farmers do not see a visible improvement in proportion to the work that their crop entails. With the purpose of considering as an economic investment the contribution of nitrogen and phosphorus (N and P) to the soil by three nitrogen fixing species (*Phaseolus vulgaris*, *Clitoria ternatea*, *Canavalia ensiformis*: Fabaceae), and having an estimation that allows making decisions, the economic investment associated to the rhizosphere contribution of N and P was analyzed in a livestock production soil (Up) and an agricultural one (Ua). A completely random design with three

repetitions was used for each species. The soil properties evaluated were total nitrogen (N) and useful phosphorus (P). The initial and final difference of these values were estimated as contribution and converted into American dollars. The results suggested that *P. vulgaris* was the species that showed the least contribution of N in Up soils (14,723 kg ha⁻¹); and the P content was higher with *C. ternatea* (26,851 kg ha⁻¹). *C. ensiformis* was the one that showed the highest investment for N (US\$ 70.06) and *C. ternatea* was the one of highest investment for P (US\$ 42.80) with Up, without showing investments for N and P in Ua soil.

Keywords: Organic agriculture, soil conservation, biological fixation.

INTRODUCCIÓN

En la familia Fabaceae hay especies de árboles, arbustos y hierbas perennes o anuales, de distribución cosmopolita con aproximadamente 730 géneros y 19400 especies, reconocida por sus múltiples usos y funciones (Thomas y Sumberg, 1995), tal es el caso de *Phaseolus vulgaris* L. usada como una fuente de proteína vegetal para el consumo humano (Iqbal *et al.*, 2006), *Canavalia ensiformis* L. empleada como abono verde (Ramos *et al.*, 2001) y *Clitoria ternatea* L. apreciada por ser fuente de proteína para la alimentación de rumiantes (Juma *et al.*, 2006). La familia Fabaceae es caracterizada por permitir la fijación del nitrógeno atmosférico al suelo, mediante su asociación con diversas cepas de *Rhizobium* spp., éstas habitan en los nódulos de las raíces en forma de bacteroides y permiten la Fijación Biológica de Nitrógeno (FBN), transformado el nitrógeno en un compuesto asimilable por las plantas (Mpai *et al.*, 2016). Por ello, el uso de leguminosas representa una alternativa que disminuye el uso de fertilizantes nitrogenados y aumenta los rendimientos de cultivos de interés agropecuario (St. Luce *et al.*, 2015), calculando un ahorro de US\$ 3,3 billones en fertilizantes (Moreira *et al.*, 2012). No obstante, muchos agricultores de países tropicales no han usado en gran medida esta alternativa, debido a que no aprecian una mejora visible en el suelo, en proporción con el trabajo que implica (Sumberg, 2002). En México, de acuerdo con datos del SNIIM (SNIIM, 2016), los precios de la Urea y del Superfosfato simple, en los últimos quince años, han incrementado en 390,5% y 417,6%, respecti-

vamente. Por ello, el objetivo fue evaluar el crecimiento vegetativo de tres leguminosas tropicales (*Phaseolus vulgaris*, *Canavalia ensiformis* y *Clitoria ternatea*) y la inversión económica asociada al aporte rizosférico de N y P en dos suelos: uno de uso pecuario (Up) y otro agrícola (Ua), mediante la determinación de dichas propiedades edáficas y su consecuente conversión monetaria, con el propósito de que los agricultores tengan una estimación, que les permita tomar decisiones con respecto al cuidado del suelo, mediante el cultivo de leguminosas tropicales.

MATERIALES Y MÉTODOS

Se seleccionaron dos sitios, uno de uso pecuario (Up) y otro de uso agrícola (Ua), de donde se recolectó suelo dentro de los primeros 30 cm de profundidad, siguiendo el procedimiento de la NOM-021-RECNAT-2000 (SEMARNAT, 2001). La primera zona se seleccionó por haber permanecido bajo un sistema de pastoreo extensivo por más de 15 años, con ganado bovino y praderas con *Brachiaria brizantha*, las propiedades de suelo fueron: pH 5,4; Materia Orgánica, MO 3,9%; Carbono total, CT 2,3%; Nitrógeno total, N 0,06%; Fósforo aprovechable, P 2,6 mg kg⁻¹; Capacidad de Intercambio Catiónico, CIC 7,8 cmol(+) kg⁻¹ y clase textural Franco-arcillo-arenoso con 23% de arena, 10% de limo y 68% de arcilla. El segundo sitio se eligió por haber sido mantenido bajo un sistema agrícola tradicional con maíz (*Zea mays* L.) por más de 15 años. Las características del suelo fueron: pH 4,5; MO 5,0%; CT 2,9%; N 0,09%; P 20,6 mg kg⁻¹; CIC 8,6 cmol(+) kg⁻¹ y clase textural Franco-arcillo-arenoso con 28% de arena, 9% de limo y 63% de arcilla.

El suelo fue secado bajo sombra, tamizado e introducido en contenedores (25 cm por 30 cm) (OECD, 1984). La humedad se mantuvo al 30%. Los bioensayos fueron establecidos bajo un diseño completamente al azar con tres repeticiones por tratamiento. Las especies fueron seleccionadas debido a su valoración agronómica en el trópico (Cáceres *et al.*, 1995; Villanueva *et al.*, 2012; Hernández-López *et al.*, 2013). El establecimiento de los bioensayos se desarrolló en condiciones semi-controladas. Durante el proceso de los ensayos no se aportaron nutrimentos, con la finalidad de evitar interferencias. Se evaluó hasta llegar a la floración, debido a que en este período se ha encontrado la mayor actividad nitrato reductasa en la raíz (Pliego *et al.*, 2002). Esta fase varió de 66 días para *Clitoria ternatea*, 109 para *Phaseolus vulgaris* y 54 para *Canavalia ensiformis*.

El trabajo en laboratorio fue regido por la NOM-021-REC-NAT-2000. El N total fue analizado por el procedimiento AS-25 y el P aprovechable por el método de Olsen (AS-10) (SEMARNAT, 2001). El potencial aporte de N y P, resultó de restarle al valor final de cada elemento, el valor inicial en suelo rizosférico de cada unidad experimental.

Análisis financiero

Las estimaciones económicas del aporte de N y P estuvieron basadas en el precio promedio de mercado en México para la Urea (\$7768,36 t⁻¹) y el Superfosfato simple (\$5693,33 t⁻¹), expresado en pesos mexicanos (SNIIM, 2016) y fueron calculadas de acuerdo con las formulaciones de estos elementos, 46-00-00 y 00-20-00, respectivamente. El potencial de aporte de N y P fueron estimados según las densidades de siembra recomendadas por hectárea, siendo de 250000 plantas para *Phaseolus vulgaris* (Jiménez y Acosta, 2013) y para *Clitoria ternatea* (Villanueva et al., 2012); mientras que para *Canavalia ensiformis* fue de 148149 plantas (Martín y Rivera, 2015). Los datos obtenidos fueron transformados de pesos mexicanos (\$) a dólares estadounidenses (US\$), conforme al tipo de cambio (\$17.8601), correspondiente al 11 de marzo de 2016 (SAT, 2016). Los resultados fueron analizados usando ANOVA y comparación de medias, mediante la prueba de Tukey ($P \leq 0.05$). Los resultados fueron procesados con el software estadístico SAS versión 9.1 usando PROC GLM (SAS, 2004).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El suelo de Up con *Phaseolus vulgaris* fue el que menos precisó N al suelo (0.006% por planta, correspondiente 14.72 kg N ha⁻¹). *Clitoria ternatea* fue la especie que más P aportó en suelo de Up (18.124 mg P kg⁻¹), correspondiente a 26.85 kg P ha⁻¹ (Cuadro 1), mientras que en Ua no se encontró aporte alguno, por el contrario existió extracción de N y P, a excepción de *Clitoria ternatea*, cuya aportación estimada fue de 4.32 kg N ha⁻¹; aunque no fue significativa, por lo que hay que considerar que esto puede representar una pérdida en los reservorios de N y P en el suelo (Cuadro 2). Al respecto, se ha encontrado que suelos de pradera con cantidades limitadas de P son difíciles de restaurar (Kooijman et al., 2016) y puede reducir hasta en 12% la actividad microbiana, debido al

incremento del N mineral (Geisseler et al., 2016). En el caso de la agricultura, resulta ser una actividad que incrementa el riesgo de lixiviación o escorrentía del N, así como la velocidad de oxidación del NH₄⁺, en comparación con los bosques. Por ello, en regiones tropicales se recomienda la aplicación de fertilizantes orgánicos con altas relaciones C/N, para aumentar el contenido de carbono orgánico y mejorar la capacidad de inmovilización del N en el suelo (Zhang et al., 2013). En un estudio realizado en Tailandia, se encontraron reducciones en la pérdida de N hasta en 55 kg N ha⁻¹, la labranza mínima combinado con el cultivo de fabáceas en el contorno de los sistemas de barreras vivas, han demostrado ser una alternativa para la conservación de suelos con pendientes moderadas (Pansak et al., 2008).

En zonas frías y templadas, la estimación de fijación de N en suelo por las leguminosas se ha estimado entre 57 y 210 kg N ha⁻¹ (Yang et al., 2010), mientras que en

Cuadro 1. Estimación del aporte de Nitrógeno total (N) y el Fósforo aprovechable (P) en suelo de uso pecuario (Up) y en suelo de uso agrícola (Ua), con la siembra de *Phaseolus vulgaris*, *Clitoria ternatea* y *Canavalia ensiformis* por densidad de siembra recomendada.

Especie	Up		Ua	
	N	P	N	P
	kg ha ⁻¹			
<i>Phaseolus vulgaris</i>	14.723 ^b	9.279 ^b	-25.137 ^a	-1.962 ^a
<i>Canavalia ensiformis</i>	74.094 ^a	3.036 ^c	-23.581 ^a	-5.708 ^a
<i>Clitoria ternatea</i>	26.104 ^{ab}	26.851 ^a	4.327 ^a	-27.060 ^b

† Medias con la misma letra no son significativamente diferentes (Tukey, $p \leq 0.05$) (a>b).

zonas tropicales y en suelos degradados, la asociación de *Clitoria ternatea* ha mejorado las características físicas, químicas y microbiológicas del suelo (Murillo et al., 2014). La incorporación de 291.25 kg N ha⁻¹ como abono verde de *Canavalia ensiformis* ha sido reportada como equivalente a la aplicación de 158.28 kg N ha⁻¹ de fertilizante sintético, además de una contribución de 31.53 kg P ha⁻¹ (Martín et al., 2007b), resultado del aporte de la biomasa aérea, sin embargo, se ha encontrado que la contribución potencial como cultivo de cobertura es de 173.68 kg N ha⁻¹ y 15.86 kg P ha⁻¹ (Puertas et al., 2008), con una fijación biológica de nitrógeno del 62.84 %, equivalente a 81.77 kg N ha⁻¹ (Martín et al., 2007a), dato cercano al encontrado en el ensayo con suelo de Up. En un estudio donde se evaluaron 68 variedades de *P. vulgaris* se encontró que sin la aplicación de N al suelo, la planta logró aportar 113 kg N ha⁻¹, produciendo de 2.71 a 8.26 t ha⁻¹ de biomasa aérea (Castellanos et al., 1998), dato superior a lo reportado en

la presente investigación; sin embargo, actualmente se sabe que los hongos micorrícicos arbusculares, así como sus redes de hifas extra-radical juegan un papel importante en el proceso de fijación, mediante la promoción de la interconectividad y la transferencia del N y P (Wahbi *et al.*, 2016), lo que sugiere el aporte de P en suelo de Up. Al respecto, se han encontrado quistes formados por *Azotobacter* spp. en muestras de excretas de bovino, asépticamente extraídos del pasaje rectal (Tippannavar y Ramachandra Reddy, 1990), lo que podría estar relacionado con el incremento del N en este suelo de Up, además del aumento en el P rizosférico, el cual se le atribuye principalmente la estimulación de la biomasa microbiana (Jin *et al.*, 2014).

En México, existen pérdidas de N y P incluso en sistemas de conservación (Camas *et al.*, 2012), por ello es importante no sólo conocer lo aportado por las leguminosas, sino que debe ser considerada como una inversión al suelo. No obstante, en suelos agrícolas, su degradación disminuye la acumulación de biomasa y por ende su rendimiento (Escalante-Estrada *et al.*, 2015), por lo que estos costos deberán ser forzadamente amortiguados con las utilidades por ventas, además de ser evaluados consecutivamente, con la finalidad de mejorar el pH y optimizar las condiciones para fijación de N. Los pequeños agricultores a menudo tienen poco dinero para invertir en fertilizantes, por lo que es necesario optimizar la rentabilidad. En este sentido, *Mucuna pruriens* var. Utilis con un rendimiento de 2.6 a 7.9 t ha⁻¹, acumula de 80 a 200 kg N ha⁻¹, de los cuales 34 a 108 kg N

Cuadro 2. Costo total de producción y estimación económica del aporte de N y P en suelo de uso pecuario (Up) y en suelo de uso agrícola (Ua), con la siembra de *Phaseolus vulgaris*, *Clitoria ternatea* y *Canavalia ensiformis*.

Especie	Costo total de producción estimado [¶]	Estimación de la aportación económica de los reservorios de N y P en suelo [‡]			
		Up		Ua	
		N	P	N	P
<i>Phaseolus vulgaris</i>	\$189,04*	\$13,92 ^{bt}	\$14,79 ^c	-\$23,77 ^a	-\$3,13 ^a
<i>Canavalia ensiformis</i>	\$460,08**	\$70,06 ^a	\$4,84 ^b	-\$22,30 ^a	-\$9,10 ^a
<i>Clitoria ternatea</i>	\$210,00***	\$24,68 ^{ab}	\$42,80 ^a	\$4,09 ^a	-\$43,13 ^b

[¶]Expresado en dólares estadounidenses; [‡]Estimación bruta, sin restar costos de producción; * (Jiménez y Acosta, 2013); ** (Martín y Rivera, 2015); *** (Torres *et al.*, 2002; Villanueva *et al.*, 2012). [†]Medias con la misma letra no son significativamente diferentes (Tukey, $p \leq 0,05$) (a>b).

ha⁻¹ son procedentes de la atmósfera, por lo que estas estrategias de suministro de N son rentables (Kaizzi *et al.*, 2006), debido a que permiten fijar el N al suelo (nitrogeno invertido) e incrementar entre 39% y 49% el rendimiento de los cereales asociados (Shah *et al.*, 2003).

CONCLUSIONES

El cultivo de tres especies tropicales fijadoras de nitrógeno (*Phaseolus vulgaris*, *Canavalia ensiformis* y *Clitoria ternatea*) hasta la etapa de floración tuvieron efectos significativos sobre el aporte de N y P en el suelo, siendo *Canavalia ensiformis* y *Clitoria ternatea* las que presentaron mayor desarrollo en biomasa y favorecieron significativamente el aporte de N y P en suelo de Up, respectivamente. En suelo de Ua, las condiciones previas de manejo no favorecieron el crecimiento de *Phaseolus vulgaris*, ni el aporte económico potencial de N y P por parte de ninguna de las leguminosas estudiadas, por lo que hay considerar que este aporte, dependerá en gran medida de las condiciones de los suelos y manejo previo. Se recomienda el estudio de leguminosas de doble propósito (valor agropecuario y mejora de suelo), con la finalidad de facilitar su proceso de adopción, esperando que impacte de manera positiva en el entorno agroecológico, social y financiero del sector agropecuario.

AGRADECIMIENTOS

Al Colegio de la Frontera Sur, Unidad Villahermosa, al PIFI-UV-FISPA y al PROMEP (UV-PTC-730), además al Sistema Nacional de Investigadores (CONACyT-57345) por el financiamiento de la presente publicación. A la Universidad Veracruzana, Área Biológico-Agropecuaria por la publicación del presente artículo

LITERATURA CITADA

- Cáceres O., González E., Delgado R. 1995. *Canavalia ensiformis*: leguminosa forrajera promisoría para la agricultura tropical. Pastos y Forrajes 18.
- Camas G.R., Turrent F.A., Cortes F.J.I., Livera M.M., González E.A., Villar S.B., López M.J., Espinoza P.N., Cadena I.P. 2012. Erosión del suelo, escurrimiento y pérdida de nitrógeno y fósforo en laderas bajo diferentes sistemas de manejo en Chiapas, México. Revista mexicana de ciencias agrícolas 3, 231-243.
- Castellanos J., Peña J., Badillo V., Aguilar S., Acosta G., Rodríguez G. 1998. Características agronómicas del frijol asociadas a la capacidad de fijación de N₂ en el centro de México. Terra 16, 351-357.
- Escalante-Estrada J.A., Rodríguez-González M.T., Escalante-Estrada Y.I. 2015. Nitrógeno,



- distancia entre surcos, rendimiento y productividad del agua en dos cultivares De frijol. *Bioagro* 27, 75-82.
- Geisseler D., Lazicki P.A., Scow K.M. 2016. Mineral nitrogen input decreases microbial biomass in soils under grasslands but not annual crops. *Applied Soil Ecology* 106, 1-10.
- Hernández-López V.M., Vargas-Vázquez M., Luisa P., Muruaga-Martínez J.S. Hernández-Delgado S., Mayek-Pérez N. 2013. Origen, domesticación y diversificación del frijol común: Avances y perspectivas. *Revista fitotecnia mexicana* 36, 95-104.
- Iqbal A., Khalil I.A., Ateeq N., Sayyar Khan M. 2006. Nutritional quality of important food legumes. *Food Chemistry* 97, 331-335.
- Jiménez G.J.C., Acosta G.J.A. 2013. Efecto de la densidad a simple y doble hilera en el rendimiento de frijol de temporal en Chihuahua, México. *Revista mexicana de ciencias agrícolas* 4, 393-407.
- Jin J., Tang C., Robertson A., Franks A.E., Armstrong R., Sale P. 2014. Increased microbial activity contributes to phosphorus immobilization in the rhizosphere of wheat under elevated CO₂. *Soil Biology and Biochemistry* 75, 292-299.
- Kaizzi C.K., Ssali H., Vlek P.L.G. 2006. Differential use and benefits of Velvet bean (*Mucuna pruriens* var. *utilis*) and N fertilizers in maize production in contrasting agro-ecological zones of E. Uganda. *Agricultural Systems* 88, 44-60.
- Kooijman A.M., Cusell C., van Mourik J., Reijman T. 2016. Restoration of former agricultural fields on acid sandy soils: Conversion to heathland, rangeland or forest? *Ecological Engineering* 93, 55-65.
- Martín A.G.M., Rivera E.R. 2015. Efecto económico de la rotación canavalia-maíz y de la sustitución parcial de fertilizantes minerales. *Cultivos Tropicales* 36, 34-39.
- Martín G.M., Rivera R., Mujica Y. 2007a. Estimación de la fijación biológica del nitrógeno de la *Canavalia ensiformis* por el método de la diferencia de N total. *Cultivos Tropicales* 28, 75-78.
- Martín G.M., Rouws J.R.C. Urquiaga S., Rivera R.A. 2007b. Rotación del abono verde *Canavalia ensiformis* con maíz y micorrizas arbusculares en un suelo nitisol ródico eútrico de Cuba. *Agronomía Tropical* 57, 313-321.
- Moreira F.M.S., Huising E.J., Bignell D.E. 2012. Manual de biología de suelos tropicales. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT) e Instituto Nacional de Ecología (INE). México DF.
- Mpai T., Jaiswal S.K., Dakora F.D. 2016. Biological nitrogen fixation and molecular diversity of rhizobia isolated from root nodules of wild legumes: *Polhillia*, *Wiborgia* and *Wiborgiella* species of the South African Cape fynbos. *South African Journal of Botany* 103, 336.
- Murillo J., Rodríguez G., Roncallo B., Amparo Rojas L., Bonilla R.R. 2014. Efecto de la aplicación de prácticas sostenibles en las características físicas, químicas y microbiológicas de suelos degradados. *Pastos y Forrajes* 37, 270-278.
- OECD 1984. Terrestrial plants growth test. Test guideline no. 208, guidelines for the testing of chemicals. OECD, Paris.
- Pansak W., Hilger T.H., Dercon G., Kongkaew T., Cadisch G. 2008. Changes in the relationship between soil erosion and N loss pathways after establishing soil conservation systems in uplands of Northeast Thailand. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 128, 167-176.
- Pliogo L., Ocaña A., Lluch C. 2002. Crecimiento, fijación de nitrógeno, acumulación y asimilación de nitratos con dosis de nitrógeno en frijol. *Terra Latinoamericana* 21, 213-223.
- Puertas F., Arévalo E., Zúñiga L., Alegre J., Loli O., Soplin H., Baligar V. 2008. Establecimiento de cultivos de cobertura y extracción total de nutrientes en un suelo de trópico húmedo en la amazonia Peruana. *Ecología Aplicada* 7, 23-28.
- Ramos M.G., Villatoro M.A.A., Urquiaga S., Alves B.J.R., Boddey R.M. 2001. Quantification of the contribution of biological nitrogen fixation to tropical green manure crops and the residual benefit to a subsequent maize crop using 15N-isotope techniques. *Journal of Biotechnology* 91, 105-115.
- SAS. 2004. SAS/GRAPH 9.1 Reference. SAS Institute, North Carolina, USA.
- SAT. 2016. Servicio de Administración tributaria.
- SEMARNAT. 2001. Norma Oficial Mexicana que establece las especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelos, estudio, muestreo y análisis. *Diario Oficial de la Federación*, México, D.F., p. 85.
- Shah Z., Shah S.H., Peoples M.B., Schwenke G.D., Herridge D.F. 2003. Crop residue and fertiliser N effects on nitrogen fixation and yields of legume-cereal rotations and soil organic fertility. *Field Crops Research* 83, 1-11.
- SNIIM. 2016. Sistema Nacional de Información e Integración de Mercados.
- St. Luce M., Grant C.A., Zebarth B.J., Ziadi N., O'Donovan J.T., Blackshaw R.E., Harker K.N., Johnson E.N., Gan Y., Lafond G.P., May W.E., Khakbazan M., Smith E.G. 2015. Legumes can reduce economic optimum nitrogen rates and increase yields in a wheat-canola cropping sequence in western Canada. *Field Crops Research* 179, 12-25.
- Sumberg J. 2002. The logic of fodder legumes in Africa. *Food Policy* 27, 285-300.
- Thomas D., Sumberg J.E. 1995. A review of the evaluation and use of tropical forage legumes in sub-Saharan Africa. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 54, 151-163.
- Tippannavar C.M., Ramachandra Reddy T.K. 1990. Aerobic microorganisms in bovine waste with reference to the isolation of nitrogen-fixing *Azotobacter* spp. *Biological Wastes* 33, 287-293.
- Torrealba G.T., Viera J., Bravo P. 1998. Factores relacionados con la acidez del suelo y su efecto sobre el crecimiento de la *Canavalia ensiformis* (L.) DC. *Agronomía Trop* 48, 19-32.
- Torres O., Herrera J., Zaluz J., Holmann F. 2002. Análisis de alternativas tecnológicas de los sistemas de producción agropecuarios en el valle del Cesar, Colombia. *REv. Pasturas Tropicales* 23, 1-9.
- Villanueva A., Bonilla C., Rubio C., Bustamante G. 2012. Agrotecnia y utilización de *Clitoria ternatea* en sistemas de producción de carne y leche. *Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias* 42, 79-96.
- Wahbi S., Maghraoui T., Hafidi M., Sanguin H., Oufdou K., Prin Y., Duponnois R., Galiana A. 2016. Enhanced transfer of biologically fixed N from faba bean to intercropped wheat through mycorrhizal symbiosis. *Applied Soil Ecology* 107, 91-98.
- Yang J.Y., Drury C.F., Yang X.M., De Jong R., Huffman E.C., Campbell C.A., Kirkwood V. 2010. Estimating biological N₂ fixation in Canadian agricultural land using legume yields. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 137, 192-201.
- Zhang J., Zhu T., Meng T., Zhang Y., Yang J., Yang W., Müller C., Cai Z. 2013. Agricultural land use affects nitrate production and conservation in humid subtropical soils in China. *Soil Biology and Biochemistry* 62, 107-114.