

# Fijación biológica de nitrógeno por cuatro fabáceas en suelos ácidos de Tabasco, México

## Biological nitrogen fixation of fabaceae in acid soils of Tabasco, Mexico

Samuel Córdova-Sánchez <sup>1</sup>  
Raúl Cárdenas-Navarro <sup>2</sup>  
Juan José Peña-Cabriales <sup>3</sup>  
Sergio Salgado-García <sup>4</sup>

Mepivoseth Castelán-Estrada <sup>4</sup>  
Cristian Lobbit-Phellipe <sup>2</sup>  
José Antonio Vera-Núñez <sup>2</sup>

Originales: Recepción: 05/11/2011 - Aceptación: 26/10/2012

### RESUMEN

La fijación biológica de nitrógeno (FBN) es un proceso que ocurre en la naturaleza y representa la fuente de N más barata para los suelos ácidos del trópico húmedo. El objetivo de este trabajo fue cuantificar la cantidad de N fijado por cuatro especies de fabáceas a través de técnicas isotópicas con <sup>15</sup>N, en un suelo de sabana en México. Los tratamientos se establecieron bajo un diseño de bloques completos al azar, con cuatro repeticiones. Las variables evaluadas fueron; biomasa fresca (BF), materia seca (MS), número de nódulos (NN), masa seca de nódulos (MSN), Nitrógeno total (Nt) y Nitrógeno fijado biológicamente (Nf). Los resultados muestran que *Mucuna deerengiana* L. presentó mayor producción de BF y MS (17,50 y 5,47 Mg ha<sup>-1</sup>) así como MSN (58,79 mg planta<sup>-1</sup>) y también mayor contenido de Nt y Nf (526,94 y 522,11 kg ha<sup>-1</sup>) respectivamente, en comparación con *Cajanus cajan* L., *Phaseolus lunatus* L. y *Sesbania emerus* L., especies que mostraron valores bajos en dichas variables. Se concluye que *Mucuna deerengiana* L. tolera bien los factores desfavorables que predominan en los suelos ácidos y por ello expresa una eficiencia superior a 500 kg ha<sup>-1</sup> de Nf; se considera adecuada para aumentar el nivel de nitrógeno en los suelos de sabana sin aplicar fertilizantes químicos.

### ABSTRACT

Biological nitrogen fixation is a process that occurs in nature and is the cheapest source of N for humid tropical acid soils. The aim of this study was to quantify the amount of N fixed by species of fabaceae through <sup>15</sup>N isotopic techniques, in a savanna soil in Mexico. The treatments were established under a design of a randomized complete block, with four replicates. The variables evaluated were: fresh biomass (FB), dry matter (DM), nodule number (NN), nodule dry mass (NDM), total nitrogen (tN) and biologically fixed nitrogen (fN). Our results show that *Mucuna deerengiana* L. had higher production of FB and DM (17.50 and 5.47 Mg ha<sup>-1</sup>), NDM (58.79 mg plant<sup>-1</sup>) and higher content of tN and fN (526.94 and 522.11 kg ha<sup>-1</sup>) respectively, compared with *Cajanus cajan* L., *Phaseolus lunatus* L. and *Sesbania emerus* L., species that showed low values in these variables. We conclude that *Mucuna deerengiana* L. tolerates unfavorable factors prevailing in acid soils and therefore has efficiency greater than 500 kg ha<sup>-1</sup> fN; we consider it appropriate to increase the level of nitrogen in savanna soils, without applying chemical fertilizers.

- 1 Centro Maya de Estudios Agropecuarios de la Universidad Autónoma de Chiapas. Carretera Catazaja-Palenque km. 4. C. P. 29980 Catazaja, Chiapas, México. samuel.cordova@unach.mx
- 2 Instituto de Investigaciones Agropecuarias y Forestales, Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. Unidad Posta, km 9,5 Carr. Morelia-Zinapécuaro Tarimbaro, Michoacan, C. P. 58880, México.
- 3 Centro de Investigación y Estudios Avanzados (CINVESTAV-IPN), Unidad Guanajuato. km 9,6 Libramiento Norte Carr. Irapuato-León Irapuato Guanajuato, C. P. 36821, México.
- 4 Colegio de Postgraduados, Campus Tabasco. LP1-2: AESS. Carr. Cárdenas-Huimanguillo km 3,0 Periférico Carlos A. Molina S/S H. Cárdenas Tabasco, C. P. 86500, México.

### Palabras clave

biomasa fresca • cultivos tropicales  
• nódulos • suelos de sabana •  
Rhizobiacea

### Keywords

fresh biomass • tropical crops • nodules  
• savanna soils • Rhizobiacea

## INTRODUCCIÓN

El nitrógeno (N) es uno de los nutrimentos más importantes para las plantas, ya que es parte fundamental de proteínas, aminoácidos y de la clorofila.

En la agricultura se utilizan cultivos con alto potencial productivo que demandan grandes cantidades de N, más que el aportado por el suelo de manera natural.

Las plantas absorben N preferentemente como nitrato ( $\text{NO}_3^-$ ) y amonio ( $\text{NH}_4^+$ ) proveniente de la solución del suelo.

En la actualidad, los altos costos de los fertilizantes nitrogenados los hacen inaccesibles para los productores de bajos ingresos e incrementan los costos de producción de los cultivos.

Por ello, la fijación biológica de nitrógeno (FBN) es un recurso importante de N para las plantas (22); está restringida a los procariontes y la familia de las Rhizobiacea es la más importante de los organismos que poseen la capacidad de transformar el N atmosférico en amonio, el cual es asimilado por las fabáceas (21).

## Objetivo

- Cuantificar la FBN mediante la técnica de dilución isotópica  $^{15}\text{N}$  por cuatro fabáceas que crecen en suelos ácidos de la sabana de Huimanguillo.

## MATERIALES Y MÉTODOS

El experimento se estableció en el Ejido Nueva Esperanza, Huimanguillo, Tabasco, México, en la parcela del Sr. Santiago Gómez con las coordenadas  $17^\circ 54' 54,8''$  latitud Norte y  $93^\circ 38' 27,9''$  longitud Oeste, a una altitud media de 23 m s. n. m., con una pendiente de 5%.

El clima es cálido húmedo con lluvias en verano, presenta una temperatura media anual de  $26,2^\circ\text{C}$  y una precipitación media anual de 2.290 mm (10).

El suelo es un Acrisol Plíntico (AcPI) (16), cuyas propiedades corresponden a un suelo de sabana (tabla 1, pág. 3).

**Tabla 1.** Características químicas y físicas del suelo de la parcela en la cual se estableció el experimento de FBN por fabáceas.

**Table 1.** Characteristics chemical and physical of BNF soil where the experiment of BNF was established.

	pH (1:2 H <sub>2</sub> O)	CE* (dSm <sup>-1</sup> )	MO	N	P Olsen (mg kg <sup>-1</sup> )	K	Ca	Mg	Fe (mg kg <sup>-1</sup> )	Textura
			%		(cmol <sup>(+)</sup> kg suelo)					
			4,1	0,16	2,2	0,18	7,43	0,17	1,5	
NOM-021- REC NAT-2000	Fuertemente ácido	Salinidad despreciable	Medio	Alto	Medio	Muy bajo		Medio	Muy alto	Migajón arenoso

Se evaluaron cuatro especies de fabáceas: *Cajanus cajan* L.; *Mucuna deerengiana* L.; *Phaseolus lunatus* L. y *Sesbania emerus* L., mientras que como planta de referencia no fijadora de N<sub>2</sub> se utilizó el maíz local criollo "Mején".

La parcela experimental constó de 5 surcos de 1,0 m de ancho y 4 m de largo equivalente a 20 m<sup>2</sup>. La parcela útil fue de 12 m<sup>2</sup>, eliminando un surco de cada lado y 0,5 m en las orillas, para evitar el efecto de borde. Las fabáceas se sembraron a 0,75 m entre plantas y 1,0 m entre hileras para obtener una densidad de 13.333 plantas ha<sup>-1</sup>. También se establecieron cuatro parcelas de maíz criollo como cultivo de referencia, las cuales se sembraron a 0,25 m entre plantas y 1,0 m entre hileras para obtener una densidad de siembra de 60.000 plantas ha<sup>-1</sup>. La siembra fue de temporal y se realizó en forma manual con 1 a 2 semillas por punto de siembra. El ensayo se estableció bajo un diseño experimental de bloques completamente al azar (DBCA) con cuatro repeticiones.

La fertilización se hizo 25 días después de la emergencia. Se aplicaron las dosis 20-80-40 para las fabáceas y 90-40-30 (N-P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>-K<sub>2</sub>O) para el cultivo de referencia a partir de urea, superfosfato de calcio triple y cloruro de potasio (18). Dentro de la parcela útil de las fabáceas se estableció una microparcela isotópica (1 m de largo por 1,5 m de ancho) en la que se aplicó el fertilizante marcado con el isótopo <sup>15</sup>N. Para el cultivo de referencia se aplicó urea al 1% mientras que para las fabáceas al 10% de átomos en exceso (a. e.) de <sup>15</sup>N. El control de malezas se hizo en forma manual. Se realizaron muestreos 90 y 115 días después de la emergencia, correspondientes a la floración y la madurez de las fabáceas y del maíz, respectivamente.

Las variables de estudio fueron: producción de biomasa fresca (BF), producción de materia seca (MS), número (NN) y masa seca de nódulos (MSN), nitrógeno total (Nt) y nitrógeno fijado biológicamente (Nf). Para determinar estas dos últimas variables se ocuparon las fabáceas y el maíz de la microparcela isotópica; estas se secaron a 60°C por 72 h para estimar la producción de biomasa seca; posteriormente se

molieron para determinar el Nt por el método Kjeldahl, y una vez determinado, la muestra se acidificó con HCl 0,1 N y se concentró (plancha LABLINE 60300) a 350°C a 1 mg N mL<sup>-1</sup> para la determinación de la relación isotópica <sup>15</sup>N/<sup>14</sup>N en las fabáceas y en el cultivo de referencia. El cálculo de las variables N-fertilizante y FBN se realizó con las siguientes ecuaciones (4):

Rendimiento de nitrógeno total en (kg ha<sup>-1</sup>):

$$RNT = \%NT * RMS$$

donde:

%NT = porcentaje de nitrógeno total

RMS = rendimiento de materia seca

N derivado del fertilizante (Nddf): se calculó con base en el enriquecimiento de <sup>15</sup>N cuantificado en la fabácea y el enriquecimiento en el fertilizante aplicado (% <sup>15</sup>N a.e.); procedimiento similar se realizó para estimar el nitrógeno derivado del fertilizante (Nddf) en el maíz, con las siguientes ecuaciones:

$$Nddf_{CF} = \frac{\% a.e. \text{ } ^{15}N_{\text{Muestras vegetales}}}{\% a.e. \text{ } ^{15}N_{\text{Fertilizante marcado}}}$$

$$Nddf_{CNF} = \frac{\% a.e. \text{ } ^{15}N_{\text{Muestras vegetales}}}{\% a.e. \text{ } ^{15}N_{\text{Fertilizante marcado}}}$$

donde:

a.e. = átomos en exceso

CF = Cultivo Fijador

CNF = Cultivo No Fijador

n = dosis N<sub>CF</sub> y dosis N<sub>CNF</sub>

El enriquecimiento utilizado fue de 10% y 1% de <sup>15</sup>N a.e. para las fabáceas y el cultivo de referencia, respectivamente.

Nitrógeno derivado de la atmósfera (Ndda): esta variable sólo se evaluó en las fabáceas, se expresa en porcentaje y se calcula con la ecuación del Valor "A":

$$Ndda = 100 \left( 1 - (\% Nddf_{CF}) / n \% Nddf_{CNF} \right) + ^{15}N a.e. CF (1/n - 1)$$

donde:

n = dosis N<sub>CF</sub> y dosis N<sub>CNF</sub>

Nitrógeno derivado del suelo (Ndds): se evaluó en fabáceas y maíz, se expresa en porcentaje y se calculó con la siguiente ecuación:

$$\% Ndds = 100 - \% Nddf_{CNF}$$

Nitrógeno Fijado (Nf): esta variable (g N m<sup>-2</sup>) se calculó con la siguiente ecuación:

$$Nf = \%Ndda \times NRT$$

Para los datos obtenidos en cada una de las variables se realizaron análisis de varianza y pruebas de comparación múltiple de medias mediante test de Tukey (p ≤ 0,05) con el programa estadístico SAS System (19).

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Producción de BF y MS

Los resultados del análisis de varianza para la producción de BF y MS (tabla 2), indican diferencias altamente significativas (p ≤ 0,01): *M. deerengiana* L. presentó la mayor producción en ambas variables (17,50 y 5,47 Mg ha<sup>-1</sup>, respectivamente), en comparación con las otras fabáceas bajo experimentación, que presentaron coeficiente de variación (CV) de 15,17 y 22,7%, lo cual muestra variabilidad en la determinación de la producción de BF y MS entre especies de fabáceas.

**Tabla 2.** Producción de biomasa fresca (BF) y materia seca (MS) por fabáceas sembradas en un suelo ácido de la sabana de Huimanguillo.

**Table 2.** Production of fresh biomass (FB) and dry matter (DM) for fabaceae planted in acid soil of the savanna of Huimanguillo.

Especie	BF	MS
	Mg ha <sup>-1</sup>	
<i>Mucuna deerengiana</i> L.	17,50 a †	5,47 a †
<i>Cajanus cajan</i> L.	5,54 b	2,07 b
<i>Phaseolus lunatus</i> L.	2,10 c	0,61 c
<i>Sesbania emerus</i> L.	0,37 c	0,14 c
C. V.	15,2	22,7
Probabilidad de F	0,01 **	0,01 **
Valor de F	175,26	71,84
CME	1,20	0,28
GL	10	10

† Literales diferentes dentro de la columna indican diferencia estadística (Tukey P ≤ 0,05).

\*\* Efecto altamente significativo, \* Efecto significativo, NS: No significativo.

† Different letters within the column indicate statistical difference (Tukey P ≤ 0.05).

\*\* Highly significant effect, \* Significant effect, NS: Not significant.

La tabla 2 (pág. 5) muestra también que *M. deerengiana* L. (17,50 Mg ha<sup>-1</sup>) presentó mayor producción de BF respecto de *C. cajan* L., *P. lunatus* L. y *S. emerus* L. (5,54; 2,10 y 0,37 Mg ha<sup>-1</sup>, respectivamente). Los valores de BF de *C. cajan* L. están abajo del rango de 19,6 a 25,4 Mg ha<sup>-1</sup> reportados en otros trabajos para dicha especie (1, 3); probablemente esto es debido a que durante el experimento las condiciones ecológicas fueron restrictivas por exceso de lluvia durante el periodo de crecimiento de las fabáceas, las cuales son sensibles al exceso de humedad.

Por su parte, en el presente estudio *M. deerengiana* L. mostró el mayor rendimiento de MS con 5,47 Mg ha<sup>-1</sup> respecto de las otras leguminosas evaluadas (tabla 2, pág. 5); estos resultados son similares a los obtenidos en una asociación con *Saccharum spp.* (5,10 Mg ha<sup>-1</sup>); este rendimiento se considera normal, ya que se encuentra en el promedio de producción de MS de esta fabácea (3), por otro lado, la incorporación de MS mejora la retención hídrica y disminuye la lixiviación de N (8).

### Nodulación

El análisis de varianza para el número de nódulos (NN) y masa seca de nódulos (MSN) indica diferencias significativas entre las fabáceas (tabla 3), presentando un CV de 16,7 y 12,7%, respectivamente.

**Tabla 3.** Nodulación (NN) y materia seca de nódulos (MSN) por fabáceas sembradas en un suelo ácido de la sabana de Huimanguillo, México.

**Table 3.** Nodulation (NN) and nodule dry matter (DMN) for fabaceae planted in acid soil of the savanna of Huimanguillo, Mexico.

Especie	Nódulos por Planta	Materia Seca de Nódulos (mg planta <sup>-1</sup> )
<i>Mucuna deerengiana</i> L.	42,17 b	58,79 a †
<i>Cajanus cajan</i> L.	88,11 a †	31,58 b
<i>Phaseolus lunatus</i> L.	19,56 c	21,50 c
<i>Sesbania emerus</i> L.	0,0 d	0,0 d
C. V.	16,7	12,7
Probabilidad de F	0,01 **	0,01 **
Valor de F	83,69	94,69
CME	52,64	17,16
GL	10	10

† Literales diferentes dentro de la columna indican diferencia estadística (Tukey  $P \leq 0,05$ ).

\*\* Efecto altamente significativo, \* Efecto significativo, NS: No significativo.

† Different letters within the column indicate statistical difference (Tukey  $P \leq 0.05$ ).

\*\* Highly significant effect, \* Significant effect, NS: Not significant.

En tres de las cuatro fabáceas se observó nodulación; esto indica que la acidez del suelo no inhibió la población de *Rhizobium* ni la infección inicial de raíces previa a la formación de nódulos. Los nódulos observados en *M. deerengiana* L. y *P. lunatus* L. son de superficie rugosa, grandes, de forma irregular y dispersos en todo el sistema radical (6, 14). En *C. cajan* L. los nódulos fueron más pequeños, esféricos, y se encontraron dispersos en todo el sistema radical.

Las fabáceas evaluadas presentaron entre 19,56 a 88,11 nódulos planta<sup>-1</sup>. *C. cajan* presentó el mayor NN con 88,11 planta<sup>-1</sup>, superando estadísticamente a *M. deerengiana* L., *P. lunatus* L. y *S. emerus* L. (tabla 3, pág. 6); fueron valores menores a los reportado por Mayz-Figueroa (15). La baja o nula formación de nódulos en *S. emerus* L. probablemente es debida a la competencia por nutrimentos y bajo contenido de P asimilable (9), así como a la presencia de Al, Fe y Mn en el suelo, lo cual ocasiona toxicidad en plantas (12). Entre las fabáceas evaluadas, la que presentó mayor MSN fue *M. deerengiana* L., con 58,79 mg planta<sup>-1</sup>, superando a *C. cajan* L. y *P. lunatus* L., aunque este valor es inferior a 65 mg planta<sup>-1</sup> reportado por Mays-Figueroa (15).

### Contenido de Nt y Nf

El análisis de varianza para las variables Nt y Nf (tabla 4) muestra diferencias significativas para las cuatro fabáceas en estudio, con CV de 29% y 30%, lo cual indica la alta variabilidad que ocurre en estas variables, en estos suelos.

**Tabla 4.** Acumulación de nitrógeno total (Nt) y fijado (Nf) por fabáceas sembradas en un suelo ácido de la sabana de Huimanguillo, México.

**Table 4.** Accumulation of total nitrogen (tN) and fixed (fN) by fabaceae planted in acid soil of the savanna of Huimanguillo, Mexico.

Cultivo	Nt	Nf
	kg ha <sup>-1</sup>	
<i>Mucuna deerengiana</i> L.	526,94 a †	522,11 a †
<i>Cajanus cajan</i> L.	127,61 b	98,94 b
<i>Phaseolus lunatus</i> L.	46,96 b	35,22 b
<i>Sesbania emerus</i> L.	4,00 c	0,00 c
C. V.	29,0	30,9
Probabilidad de F	0,01 **	0,01 **
Valor de F	60,44	63,15
CME	3414,25	3378,34
GL	10	10

† Literales diferentes dentro de la columna indican diferencia estadística (Tukey  $P \leq 0,05$ ).

\*\* Efecto altamente significativo, \* Efecto significativo, NS: No significativo.

† Different letters within the column indicate statistical difference (Tukey  $P \leq 0.05$ ).

\*\* Highly significant effect, \* Significant effect, NS: Not significant.

En general, *M. deerengiana* L. presentó mayor contenido de Nt (526,94 kg N ha<sup>-1</sup>) en comparación con el resto de las fabáceas evaluadas, valores superiores a los reportados en un suelo Leptosol donde los autores encontraron 199,87 y 314,42 kg ha<sup>-1</sup> (20). El Nt de *C. cajan* L., *P. lunatus* L. y *S. emerus* L. (127,61; 46,96 y 4,00 kg N ha<sup>-1</sup>, respectivamente) está estrechamente relacionado con la producción de MS aérea en la etapa de floración, la cual fue menor en estas tres especies respecto de la producida por *M. deerengiana* (tabla 4).

Por su parte, *M. deerengiana* L. presentó el mayor valor de Nf con 522,11 kg N ha<sup>-1</sup>; tiene alto potencial de fijación de N (3, 5, 7), mientras que las fabáceas *C. cajan* L., *P. lunatus* L. y *S. emerus* L. presentaron un promedio de N fijado entre 0 y 98,94 kg N ha<sup>-1</sup>, valores similares a los reportados por Adu-Gyamfi *et al.* (2). Cabe destacar que en el experimento desarrollado en este estudio *M. deerengiana* L. mostró una alta cantidad de Nf, pese a los factores restrictivos existentes en estos suelos, ya que lo encontrado en este estudio es superior a los valores de 41 y 280 kg N ha<sup>-1</sup> reportados por la Red de Grupos de Agricultura de Cobertura (17). Se estima que una FBN superior a 500 kg ha<sup>-1</sup> es suficiente para satisfacer las necesidades de muchos cultivos y para enriquecer el contenido de N del suelo, sin recurrir a la aplicación de fertilizantes químicos (11).

No obstante que *C. cajan* L. presentó en este estudio el mayor NN y MSN por planta, es posible que la baja cantidad de N fijado se deba a la baja eficiencia de los nódulos, la cual puede obedecer a una baja disponibilidad de P y K en estos suelos, elementos que son necesarios para el funcionamiento normal de *Rhizobium* (13).

## CONCLUSIONES

La fabácea *M. deerengiana* L. presentó los valores más altos en producción de biomasa fresca, biomasa seca, masa nodular, así como nitrógeno total. La cantidad de nitrógeno fijado es superior a 500 kg ha<sup>-1</sup>, por lo que representa una opción para aportar cantidades considerables de este elemento a los suelos de sabana, sin recurrir al uso de fertilizantes químicos.

## BIBLIOGRAFÍA

1. Abreu, X. 1996. Evaluación de cuatro leguminosas como barbecho mejorado durante dos épocas del año para ser usados como cultivos de cobertura. *Revista Venesuelos*. 4(1-2): 8-13.
2. Adu-Gyamfi, J. J.; Myaka, F. A.; Sakala, W. D.; Odgaard, R.; Vesterager, J. M.; Henning Høgh-Jensen. 2007. Biological nitrogen fixation and nitrogen and phosphorus budgets in farmer-managed intercropped of maize-pigeon pea in semi-arid Southern and Eastern Africa. *Plant Soil*. 295: 127-136.
3. Ambrosano, E. J.; Rossi, F.; Guirado, N.; Ambrosano, G. M.; Chammas, E.; Muraoka, T.; Trivelin, P. C.; Camargo, I.; Mota, B. 2009. Desempenho de adubos verdes consorciados com cana-de-açúcar. *Revista Brasileira de Agroecologia*. 4(2): 5.
4. Axmann, H.; Sebastianelli, A.; Arrillaga L. J. 1990. Sample preparation techniques of biological material for isotope analysis. In: Hardarson, G. (Ed.). *Use of nuclear techniques in studies of soil-plant relationship*. International Atomic Energy Agency. Viena, Austria. p. 41-53.
5. Chikowo, R.; Mapfumo, P.; Nyamugafaja, P.; Giller, K. E. 2004. Woody legume fallow productivity, biological N<sub>2</sub>-fixation and residual benefits to two successive maize crops in Zimbabwe. *Plant Soil*. 262(1-2): 303-315.
6. Contreras, E.; Marín, C. D.; Viera, J. 1989. Evaluación ecofisiológica de cultivos asociados. II. Canavalia-maíz. *Agronomía Tropical*. 39(1-3): 45-61.
7. Córdova-Sánchez, S.; Castelán-Estrada, M.; Salgado-García, S.; Palma-López, J. D.; Vera-Núñez, J. A.; Peña-Cabriales, J. J.; Lagunes-Espinoza, L. C.; Cárdena-Navarro, R. 2011. Fijación biológica de nitrógeno por tres fabáceas (Leguminosae) en suelos ácidos de Tabasco, México. *AIA* 15(1): 31-50.
8. De Grazia, J.; Tiltonell, P. A.; Chiesa, A. 2011. Fertilización nitrogenada en plantines de pimiento (*Capsicum annum* L.) cultivados en sustratos con diferentes proporciones de materiales compostados: efecto sobre los parámetros de calidad del plantín. *Rev. FCA UNCUIYO*. 43(1): 175-186.

9. Friensen, D. K.; Rao, I. M.; Thomas, R. J.; Oberson, A.; Sanz, J. I. 1997. Phosphorus acquisition and cycling in crop and pasture systems in low fertility tropical soils. *Plant and Soil*. 196: 289-294.
10. García, E. 1973. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen. Universidad Nacional Autónoma de México. 243 p.
11. Giletto, C. M.; Rattín, J.; Echeverría, H. E.; Caldiz, D. O. 2011. Requerimiento de nitrógeno para alcanzar máximo rendimiento y calidad en variedades industriales de papa. *Rev. FCA UNCUYO*. 43(1): 85-95.
12. Jiménez, Z. J. J.; Peña-Cabriales, J. J. 2000. Fijación biológica de N<sub>2</sub> en leguminosas de América Latina. *ARCAL*. p. 1-16.
13. Leidi, E. O.; Rodríguez, N. D. N. 2000. Nitrogen and phosphorus availability limit N<sub>2</sub> fixation in bean. *New Phytologist*. 147: 337-346.
14. Marín, C. D.; Viera, J. 1989. Crecimiento, nodulación y fijación de nitrógeno en plantas de *Canavalia ensiformis* (L) DC., bajo diferentes dosis de fertilización con nitrógeno y frecuencias de riego. *Agronomía Tropical*. 40(1-3): 103-124.
15. Mayz-Figueroa, J. 2007. *Cajanus cajan* L.: fijación biológica de nitrógeno (FBN) en un suelo de sabana. *Revista de la Facultad de Agronomía (LUZ)*, 24(1): 312-317.
16. Palma-López, D. J.; Cisneros, D. J.; Moreno, C. E.; Rincón-Ramírez, J. A. 2007. Suelos de Tabasco: su uso y manejo sustentable. Colegio de Postgraduados-ISPROTAB-FUPROTAB. Villahermosa, Tabasco, México. 195 p.
17. Red de Grupos de Agricultura de Cobertura. 2002. Base de información sobre especies con potencial de abonos verdes y cultivos de cobertura. Rockefeller Foundation.
18. Salgado, G. S.; Núñez, E. R. 2010. Manejo de fertilizantes y abonos orgánicos. Colegio de Postgraduados y Mundi-Prensa. México. 146 p.
19. SAS. 2002. Getting Started with SAS. Ver 9.0 SAS Inst., Inc., USA.
20. Teodoro, R. B.; Oliveira, F. L.; Silva, D.; Fávero, C. 2009. Acúmulo de fitomassa e ciclagem de nutrientes por leguminosas herbáceas no Município de Turmalina-MG. *Revista Brasileira de Agroecologia*. 4(2): 1511-1514.
21. Twornlow, S. 2004. Increasing the role of legumes in smallholder farming systems. The future challenge. In: Rachid Serraj (Ed.) *Symbiotic Nitrogen Fixation*. Sci. Publ. Inc. USA. 382 p.
22. Urzúa, H. 2005. Ensayo. Beneficios de la fijación biológica de nitrógeno en Chile. Santiago de Chile. *Ciencia e Investigación Agraria*. 32(2:) 133-150.

### Agradecimientos

A la OIEA a través del CRP Suelos ácidos, al Instituto de Investigaciones Agropecuarias y Forestales-Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, al Colegio de Postgraduados-Campus Tabasco, CINVESTAV-IPN, Unidad Guanajuato, al Sr. Santiago Gómez Candeler, por los recursos y facilidades dadas para realizar esta investigación.