

Evaluación de leguminosas arbóreas en un Ultisol enmendado con cal y nutrientes¹

Feliciano A. Andújar²

El café (*Coffea arabica*) es el cultivo que mayor área ocupa en Puerto Rico, con 15,144 hectáreas. De esa área, 4,640 ha (31 %) se cultivan bajo sombra y 10,504 ha (69 %) se cultivan a pleno sol. En Puerto Rico el café está localizado en zonas donde predominan suelos ácidos y propensos a la pérdida por erosión hídrica. Es necesario promover sistemas de cultivo bajo sombra de árboles de leguminosas fijadoras de nitrógeno atmosférico. El objetivo principal de esta investigación fue evaluar 29 especies de leguminosas arbóreas en un Ultisol de Puerto Rico bajo condiciones de invernadero. Se utilizó un diseño de parcelas divididas en cuatro bloques aleatorizados. La parcela principal consistió en la enmienda (con y sin cal) y la subparcela, la especie. Se evaluó la longitud del tallo, la masa seca de la planta y el número y materia seca de los nódulos a los 180 días después de la siembra. Las medias fueron comparadas con Tukey ($\alpha=0.05$). Los resultados indican que la longitud del tallo de las plantas fue igual en el suelo con y sin enmienda ($p = 0.0651$). Las especies con más de 140 cm de longitud del tallo fueron: *Enterolobium cyclocarpum* (184 cm), *Leucaena leucocephala* (181 cm), *Calliandra houstoniana* (147 cm) y *Flemingia macrophylla* (140 cm). La materia seca promedio de las plantas fue superior para las especies en el suelo con enmienda (21.38 g) ($p=0.0188$), siendo *Albizia procera*, *Erythrina poeppigiana* y *Leucaena leucocephala* las que respondieron mejor a este tratamiento. El número de nódulos fue superior ($p < 0.01$) para *Inga vera* (176 nódulos) en el suelo sin enmienda. La materia seca de nódulos fue superior ($p < 0.01$) para *Pterocarpus indicus* (1.32 g), *Samanea saman* (1.20 g) y *Albizia lebbbeck* (0.97 g), todas en el suelo sin enmienda.

Palabras claves: Nódulos, *Rhizobium*, *Coffea arabica*, Enmiendas

INTRODUCCIÓN

El café (*Coffea arabica*) es el cultivo que mayor área ocupa en Puerto Rico. El censo de 2007 del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos reportó un total de 15,144 hectáreas cultivadas de café. De ese total, 4,640 ha (31 %) se cultivan bajo sombra, con una cosecha de 1,936 Mg (24 % de la producción total) y un rendimiento estimado de 0.42 Mg ha⁻¹. El cultivo a pleno sol ocupa un área de 10,504 ha (69 %), con una cosecha de 6,256 Mg (76 % de la producción total; USDA 2009) y un rendimiento de 0.60 Mg ha⁻¹. El consumo para el año 2005 fue de 6,480 Mg (USDA 2007).

El café a sol requiere mayores cantidades de fertilizantes, plaguicidas y mano de obra, con un efecto en la disminución en la biodiversidad (O'Connell 2004) y en la calidad de los acuíferos (Ryan *et al.* 2001). En el café a pleno sol

ocurre una mayor pérdida de suelo y nutrientes por efecto de la erosión (Arellano 2001, Siebert 2002, DaMatta 2004).

En Puerto Rico, el cultivo de café está localizado en zonas marginales donde predominan suelos ácidos y propensos a la pérdida por erosión hídrica (Muñiz-Torres y Monroig-Inglés 1994, Cruz y Schröder 2006, Arango 2007). Estos suelos son, en su mayoría, del orden Ultisol (44.7 %), y dentro de estos predomina la serie Humatas en un 22.5 % (Cruz y Schröder 2006). Es necesario, entonces, promover sistemas de cultivo bajo sombra de árboles de leguminosas fijadoras de nitrógeno atmosférico, puesto que contribuyen con la agricultura sustentable mediante la restauración, el mantenimiento de la fertilidad de los suelos y el combate de la erosión (Danso *et al.* 1992).

Las leguminosas constituyen una familia de

¹ Aceptado para publicación el 1/09/2011

² Universidad de Puerto Rico, Recinto Mayagüez. Investigador Asistente. Instituto Dominicano de Investigaciones Agropecuarias y Forestales (IDIAF), Estación Experimental Mata Larga. Tel: (809)588-6400 ext. 28. Correo electrónico: fandujar@idiaf.gov.do

aproximadamente 727 géneros y cerca de 19,325 especies (Lewis *et al.* 2005). La característica más importante que posee la mayoría de las plantas de esta familia es la de fijar nitrógeno de la atmósfera mediante la simbiosis con bacterias de la Familia *Rhizobiaceae* (*Rhizobium* y *Bradyrhizobium*). La Familia *Leguminosae* se ha dividido en tres sub-familias: *Mimosoideae*, *Caesalpinioideae* y *Papilionoideae* (Allen y Allen 1981, Sprent 2001, Lewis *et al.* 2005, Sprent 2007).

Para mejorar las condiciones de los suelos en la zona cafetalera de Puerto Rico, se han recomendado medidas como la aplicación de cal para aumentar el pH, y la aplicación de nutrientes (Muñiz-Torres y Monroig-Inglés 1994). Sin embargo, a nivel local no existe información sobre el efecto de esta enmienda en el crecimiento de las especies de leguminosas presentes en el cafetal y de otras con uso potencial.

El objetivo de la presente investigación fue identificar y cuantificar cuáles especies leguminosas responden mejor a la enmienda de cal y nutrientes. Los resultados del estudio servirán para ampliar la información disponible sobre el uso adecuado de esta enmienda y para identificar las especies leguminosas con mayor crecimiento y potencial de fijación de nitrógeno.

MATERIALES Y MÉTODOS

Localización y duración del experimento

El experimento se realizó en los invernaderos del Laboratorio de Fijación Biológica de Nitrógeno del Departamento de Agronomía y Suelos. Estos invernaderos están localizados en la Finca Alzamora de la Universidad de Puerto Rico, Recinto de Mayagüez. Geográficamente están ubicados en 18°13'09.1" latitud Norte y 67°08'55.8" longitud Oeste, a una altitud de 22 m sobre el nivel del mar. La temperatura promedio es de 28 °C.

Procedencia y características del suelo utilizado

Se utilizó un suelo Ultisol de la serie Humatas. El suelo se extrajo de los primeros 30 a 40 cm de una zona no cultivada localizada entre los 18°10'45.1" latitud norte y 66°47'55.3" longitud

Oeste, en la Subestación Experimental de Adjuntas, Universidad de Puerto Rico. Antes de iniciar el experimento se tomó una muestra compuesta de este suelo. La muestra se secó al aire y se tamizó con una malla calibre 2.0 mm para su posterior análisis (Tabla 1). Se determinó el número de Rhizobios viables en el suelo mediante el conteo de infección de plantas conocido como 'Número más probable' (NMP; Somasegaran y Hoben 1994).

Para no alterar la población nativa de Rhizobios en el suelo, este no se esterilizó. Se pasó por un tamiz con aberturas de 4.5 cm² y luego se echó en tarros negros de polipropileno con capacidad para 10 kg.

Especies de leguminosas arbóreas

Se utilizaron semillas de 29 especies de leguminosas arbóreas (Tabla 2), obtenidas del banco de semillas del Laboratorio de Fijación de Nitró-

Tabla 1. Propiedades químicas del suelo utilizado (2008). Subestación Experimental de Adjuntas, Universidad de Puerto Rico

Variable	Valores
pH	4.08
Materia orgánica (%)	0.92
Nitrógeno total (%)	0.06
Aluminio intercambiable (cmol ₍₊₎ kg ⁻¹)	5.28
Fósforo (mg kg ⁻¹)	3.52
Calcio (cmol ₍₊₎ kg ⁻¹)	0.85
Magnesio (cmol ₍₊₎ kg ⁻¹)	0.51
Potasio (cmol ₍₊₎ kg ⁻¹)	0.24
Nitratos (mg kg ⁻¹)	184
Amonio (mg kg ⁻¹)	22.4
Manganeso (mg kg ⁻¹)	27
Sulfato (mg kg ⁻¹)	122
Sodio (mg kg ⁻¹)	47
Zinc (mg kg ⁻¹)	1.59
Boro (mg kg ⁻¹)	0.427
Cobre (mg kg ⁻¹)	1.38
Arcilla (%)	40.80
Limo (%)	42.20
Arena (%)	17.00
NMP* (Rhizobios g ⁻¹ suelo)	4.5 × 10 ³

*NMP= número más probable

geno, provenientes de árboles sanos localizados mediante puntos de coordenadas (GPS) en diferentes lugares de Puerto Rico, de ECHO (Educational Concerns for Hunger Organization) y de la República Dominicana (Tabla 2). Las semillas se escarificaron con ácido sulfúrico al 95 % y con agua destilada a 90 °C, luego se colocaron a pre-germinar con una temperatura de 28 °C en la oscuridad.

Determinación de la cantidad de carbonato de calcio (CaCO₃)

La cantidad de cal a aplicar se determinó con el procedimiento sugerido por Abruña y Vicente (1955). Según este procedimiento, se tomaron muestras de 10 g de suelo tamizado a 2 mm. El suelo se diluyó en 100 ml de agua destilada y se añadieron cantidades variables de una solución 0.05 N de Ca(OH)₂. La muestra se calentó durante 5 minutos y luego se dejó enfriar en una bandeja con agua a temperatura ambiente. Se midió el pH de la suspensión y con estos datos se hizo una curva de calibración, relacionando el pH con la cantidad de cal. La ecuación de calibración fue: $y = 2809x + 2.942$, ($r^2=0.96$), con la cual se determinó la cantidad de cal requerida para incrementar el pH del suelo a 6.45.

Diseño experimental

El diseño experimental utilizado fue Parcelas Divididas. Los niveles de la parcela principal fueron: a) con enmienda

Tabla 2. Especies utilizadas en el experimento evaluación de leguminosas arbóreas en un Ultisol enmendado con cal y nutrientes

Sub-familia	Especie (origen) ¹	Nombre común
		Puerto Rico / Rep. Dom. ²
Mimosoideae	<i>Acacia angustissima</i>	Nd /
	<i>Acacia auriculiformis</i>	Nd
	<i>Acacia mangium</i> (NA)	Nd
	<i>Adenanthera pavonina</i> (NA)	Coralitos
	<i>Albizia lebbek</i> (NA)	Acacia amarilla / chá chá
	<i>Albizia procera</i> (NA)	Albicia
	<i>Anadenanthera peregrina</i> (NA)	Cojóbana, Cojobilla
	<i>Calliandra calothyrsus</i>	Nd
	<i>Calliandra houstoniana</i>	Nd
	<i>Cojoba arborea</i> (N)	Cojoba, Tamarindillo
	<i>Enterolobium cyclocarpum</i> (NA)	Dormilón, Oreja de mono
	<i>Inga vera</i> (N)	Guaba / Guama
	<i>Inga nobilis</i> subsp. <i>quaternata</i> ³ (NA)	Guamá venezolano
	<i>Leucaena diversifolia</i> (NA)	Nd /
	<i>Leucaena leucocephala</i> K-500 (NA)	Zarcilla / Leucaena
	<i>Pithecellobium carbonarium</i> (NA)	Carbonero
	<i>Pithecellobium dulce</i> (NA)	Guamá americano
	<i>Samanea saman</i> (NA)	Dormilón, Samán / Samán
	Papilionoideae	<i>Andira inermis</i> (N)
<i>Clitoria fairchildiana</i> (NA)		Nd / Laurel cubano
<i>Dalbergia sissoo</i> (NA)		Siso /
<i>Erythrina poeppigiana</i> (NA)		Brucayo, Bucayo gigante / Amapola
<i>Erythrina berteroana</i> (NA)		Bucayo enano / Amapola extranjera
<i>Flemingia macrophylla</i>		Nd
<i>Gliricidia sepium</i> (NA)		Madre de cacao, Mata ratón / Piñón cubano
<i>Ormosia krugii</i> (N)		Palo de matos, Peronía
<i>Pterocarpus indicus</i> (NA)		Terocarp
<i>Sesbania grandiflora</i> (NA)		Báculo, Cresta de gallo, gallito
Caesalpinioideae		<i>Cassia javanica</i> (NA)

¹ Origen según Molina y Alemañy (1997), N= nativa NA= naturalizada.

² República Dominicana.

³ Esta especie se sembró tres meses después de las demás especies. Nd= No disponible.

[CaCO₃ a razón de 6.3 g kg⁻¹ de suelo, con una única aplicación al inicio del experimento, más 1.0 ml kg⁻¹ de suelo de la solución nutritiva de Fähræus sin nitrógeno (Somasegaran y Hoben 1994) aplicado mensualmente a partir del segundo mes después de la siembra]; y b) sin enmienda. Los niveles de las sub-parcelas fueron las 29 especies de leguminosas. Cada tratamiento se repitió cuatro veces. La unidad experimental estuvo compuesta por cinco plantas de una misma especie en cinco tarros con 10 kg de suelo (una planta en cada tarro).

Manejo y duración del experimento

Las semillas pre-germinadas se sembraron entre el 15 enero y el 8 de febrero del 2008. Durante el experimento las plantas se regaron diariamente con agua corriente para mantener un nivel adecuado de humedad en el suelo. El control de malezas y plagas se hizo manualmente. Transcurridos 180 días después de la siembra, las plantas se extrajeron de los tarros y el suelo adherido a las raíces se eliminó con agua corriente, evitando dañar las raíces y los nódulos.

VARIABLES ESTUDIADAS

A los 180 días, se hicieron las siguientes mediciones: longitud del tallo (desde el cuello de la

raíz al brote apical), masa seca de la planta, número de nódulos por planta y masa seca de nódulos por planta.

ANÁLISIS ESTADÍSTICO

Los datos se analizaron mediante un análisis de varianza (ANOVA) con un nivel de significación del 5 %. Para comparar promedios de tratamientos se utilizó la prueba de Tukey al 5 % de significación estadística. Los datos del número de nódulos se transformaron con la función $\sqrt{x+1}$, siendo x el número de nódulos. Los datos de materia seca de nódulos se transformaron con la función $\sqrt{x+0.5}$, donde x es la materia seca de nódulos planta⁻¹. Debido a que hubo una alta mortalidad de plantas de la especie *Pithecellobium carbonarium*, esta especie no se tomó en cuenta para el análisis estadístico. Por lo tanto el análisis abarcó 28 especies.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Longitud del tallo de las plantas

Para la longitud promedio del tallo hubo diferencias estadísticas entre especies (p<0.01). Las especies se clasificaron como de crecimiento rápido (R, mayor a 100 cm), de crecimiento medio

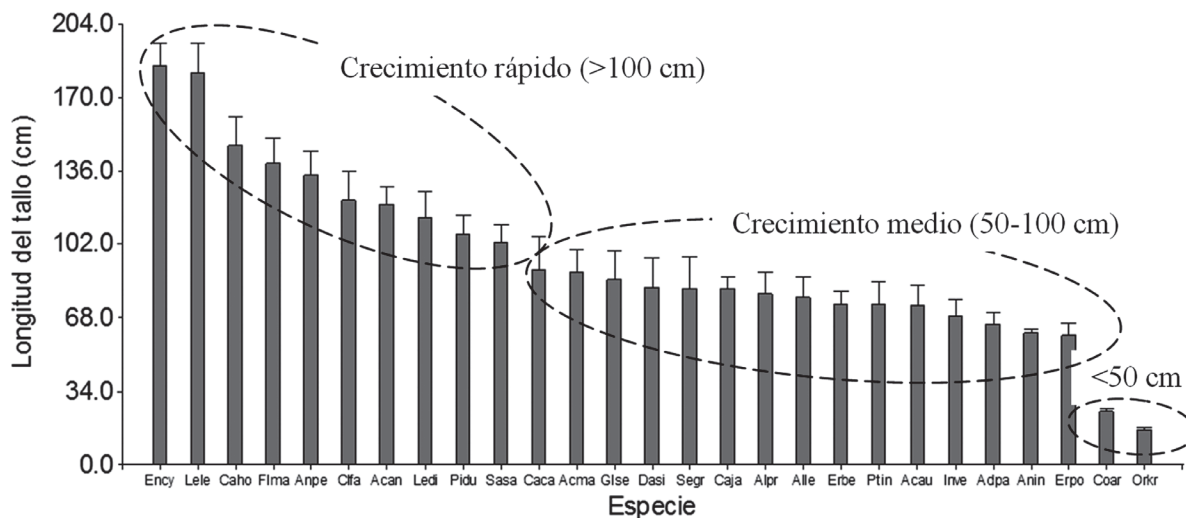


Figura 1. Longitud del tallo de especies arbóreas a los 180 días después de la siembra en un Ultisol enmendado con cal y nutrientes. Puerto Rico, 2009. Ency, *E. cyclocarpum*; Lele, *L. leucocephala*; Caho, *C. houstoniana*; Flma, *F. macrophylla*; Anpe, *A. peregrina*; Clfa, *C. fairchildiana*; Acan, *A. angustissima*; Ledi, *L. diversifolia*; Pidul, *P. dulce*; Sasa, *S. saman*; Caca, *C. calothyrsus*; Acma, *A. mangium*; Glse, *G. sepium*; Dasi, *D. sissoo*; Segr, *S. grandiflora*; Caja, *C. javanica*; Alpr, *A. procera*; Alle, *A. lebbeck*; Erbe, *E. berteriana*; Ptin, *P. indicus*; Acau, *A. auriculiformis*; Inve, *I. vera*; Adpa, *A. peregrina*; Anin, *A. inermis*; Erpo, *E. poeppigiana*; Coar, *C. arborea*; Orkr, *O. krugii*; Inno, *I. nobilis*. Tukey, $\alpha=0.05$, DMS= 51.5. Las barras representan el error estándar de la media.

(M, entre 50 y 100 cm) y de crecimiento lento (L, menor de 50 cm). Las especies que se clasificaron como de crecimiento rápido fueron: *E. cyclocarpum* (184 cm), *L. leucocephala* (181 cm), *C. houstoniana* (147 cm), *F. macrophylla* (139 cm), *A. peregrina* (134.13 cm), *C. fairchildiana* (122.5 cm), *A. angustissima* (120.42 cm), *L. diversifolia* (114.25 cm), *P. dulce* (106.76 cm) y *S. saman* (102.63 cm; Figura 1).

De las veintiocho especies evaluadas, diez (36 %) eran de crecimiento rápido y de estas, ocho especies pertenecían a las *Mimosoideae* y dos a las *Papilionoideae*. Quince especies (53 %) eran de crecimiento medio y de estas, siete pertenecían a las *Mimosoideae*, siete a las *Papilionoideae* y una a las *Caesalpinioideae*. Tres especies (11 %) eran de crecimiento lento, y todas pertenecían a las *Mimosoideae* (Figura 1).

Las longitudes de los tallos de las especies *E. cyclocarpum*, *C. houstoniana* y *C. arborea*, en el presente experimento, fueron superiores a los reportados por Santana (2007). Sin embargo, coinciden en que las dos primeras se encuentran entre las más altas y la tercera fue la de menor crecimiento. Para *A. procera* la longitud del tallo (79.11 cm) fue inferior (94.1 cm) al reportado por Santana (2007).

Contenido de materia seca de las plantas

El análisis de varianza para la materia seca arrojó diferencias estadísticas significativas para la interacción enmienda por especie $p < 0.01$; entre especies $p < 0.01$; y entre enmienda $p = 0.0188$; (Figura 2). En el tratamiento con enmienda, se obtuvo un valor máximo de 65.3 g para *L. leucocephala* y un valor mínimo de 4.10 g para *O. krugii*.

Las especies con mayor materia seca, con enmienda que sin enmienda, fueron (de mayor a menor): *L. leucocephala* (65.3 g) y *A. procera* (41.8 g). Estas fueron estadísticamente iguales (Figura 2). La especie *E. poeppigiana* (25.2 g) fue estadísticamente igual a *E. cyclocarpum*, *A. procera* y *F. macrophylla*. *E. cyclocarpum* respondió igual con la enmienda y sin la enmienda (48.4 y 38.9 g, respectivamente). Las especies *I. vera* (con=12.4 g, sin=19.2 g), *A. inermis* (con=18 g, sin=15.8 g) y *E. poeppigiana* (con=25.2 g, sin=6.3 g) respondieron indistintamente a la enmienda.

Hubo una correlación positiva ($r = 0.71$) entre la longitud del tallo y la materia seca total de las plantas. La ecuación de regresión que se generó a partir de los datos fue la siguiente: $y = -0.11 + 0.21x$ ($r^2 = 0.50$) donde y es la materia seca total y x la longitud del tallo.

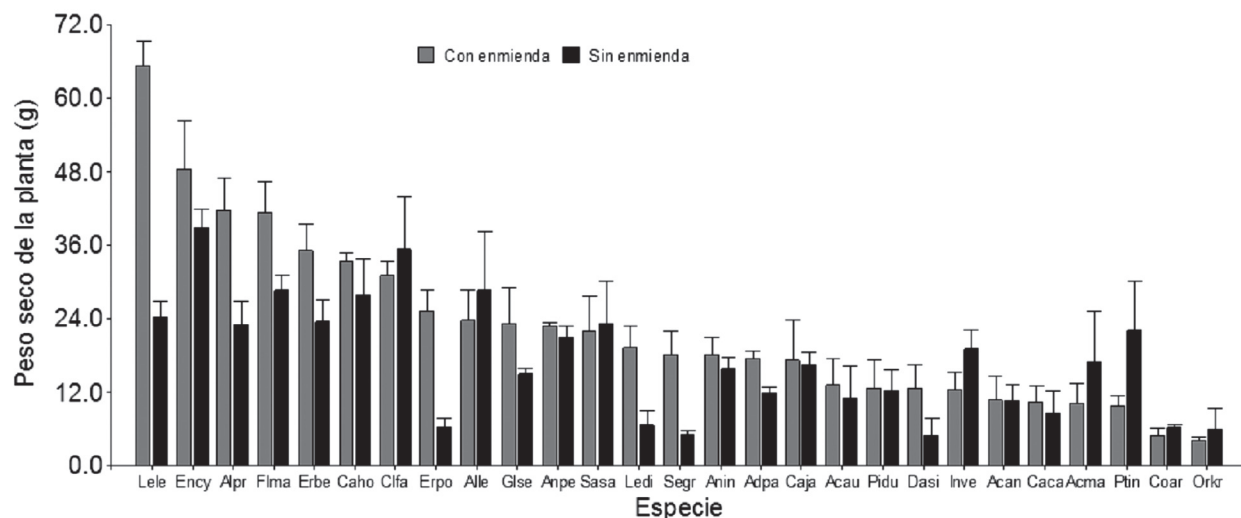


Figura 2. Materia seca total de las leguminosas arbóreas del experimento Lele, *L. leucocephala*; Ency, *E. cyclocarpum*; Apr, *A. procera*; Flma, *F. macrophylla*; Erbe, *E. berteroana*; Caho, *C. houstoniana*; Clfa, *C. fairchildiana*; Erpo, *E. poeppigiana*; Alle, *A. lebeck*; Glse, *G. sepium*; Anpe, *A. peregrina*; Sasa, *S. saman*; Ledi, *L. diversifolia*; Segr, *S. grandiflora*; Anin, *A. inermis*; Adpa, *A. peregrina*; Caja, *C. javanica*; Acau, *A. auriculiformis*; Pidú, *P. dulce*; Dasi, *D. sissou*; Inve, *I. vera*; Acan, *A. angustissima*; Caca, *C. calothyrsus*; Acma, *A. mangium*; Ptin, *P. indicus*; Coar, *C. arborea*; Orkr, *O. krugii*; Inno, *I. nobilis*. Tukey, $\alpha = 0.05$, DMS=24.31344. Las barras representan el error estándar de la media.

Se registró un efecto positivo de la enmienda en las plantas. En el presente experimento la especie que respondió mejor a la enmienda fue *L. leucocephala*, ya que obtuvo una masa seca de 65.28 g. El comportamiento superior de *L. leucocephala* en el suelo enmendado es consistente con lo reportado por otros autores (Naidu *et al.* 1990, Yamoah *et al.* 1998).

Número de nódulos

El análisis de varianza para el número de nódulos arrojó diferencias estadísticas significativas para la interacción enmienda por especie ($p=0.002$) y para especies ($p<0.01$). El análisis indica que el efecto de la enmienda depende de

la especie. De las 28 especies evaluadas 22 (76 %) nodularon con y sin enmienda. Dos especies (7 %) nodularon sólo en el suelo con enmienda, mientras que cuatro (14 %) no nodularon.

La especie *C. fairchildiana* reportó la mayor cantidad de nódulos con un valor de 183 nódulos por planta (Tabla 3), mientras que la menor cantidad de nódulos la presentó *A. angustissima* con un promedio de 1 nódulo por planta (ambas especies en el tratamiento sin enmienda). La especie *I. vera* respondió mejor en el tratamiento sin enmienda (176 nódulos por planta) que con enmienda (43 nódulos por planta). Las demás especies se comportaron igual en enmienda y sin enmienda (Tabla 3).

Tabla 3. Número de nódulos por especie en un Ultisol enmendado con cal y nutrientes

Especie	Con enmienda		Sin enmienda		Promedio
<i>C. fairchildiana</i>	134	a	183	a	158
<i>I. vera</i>	43	cdef	176	a	110
<i>F. macrophylla</i>	114	abcdef	164	abc	139
<i>P. indicus</i>	51	bcdef	153	abcd	102
<i>C. houstoniana</i>	116	abcdef	41	cdef	73
<i>E. poeppigiana</i>	95	abcdef	29	def	62
<i>G. sepium</i>	86	abcdef	11	ef	49
<i>A. auriculiformis</i>	40	cdef	71	abcdef	56
<i>E. cyclocarpum</i>	67	abcdef	26	def	47
<i>A. inermis</i>	65	abcdef	34	def	49
<i>A. angustissima</i>	58	abcdef	1	f	29
<i>S. saman</i>	35	def	50	bcdef	43
<i>P. dulce</i>	48	cdef	2	f	25
<i>A. lebbeck</i>	20	ef	47	cdef	34
<i>A. mangium</i>	16	ef	43	cdef	29
<i>D. sissoo</i>	27	def	39	cdef	33
<i>A. procera</i>	38	cdef	35	def	37
<i>C. calothyrsus</i>	38	cdef	11	ef	25
<i>L. leucocephala</i>	22	ef	32	def	27
<i>S. grandiflora</i>	31	def	0	f	16
<i>L. diversifolia</i>	25	ef	0	f	12
<i>A. peregrina</i>	12	ef	20	ef	16
<i>E. berteriana</i>	20	ef	10	ef	15
<i>C. arborea</i>	4	f	13	ef	9
<i>A. pavonina</i>	0	f	0	f	0
<i>O. krugii</i>	0	f	0	f	0
<i>I. nobilis subsp. quaternata</i>	0	f	0	f	0
<i>C. javanica</i>	0	f	0	f	0

DMS= 127.7 DMS = 87.2

Medias seguidas de la misma letra en una misma columna, no difieren estadísticamente (Tukey, $\alpha=0.05$)

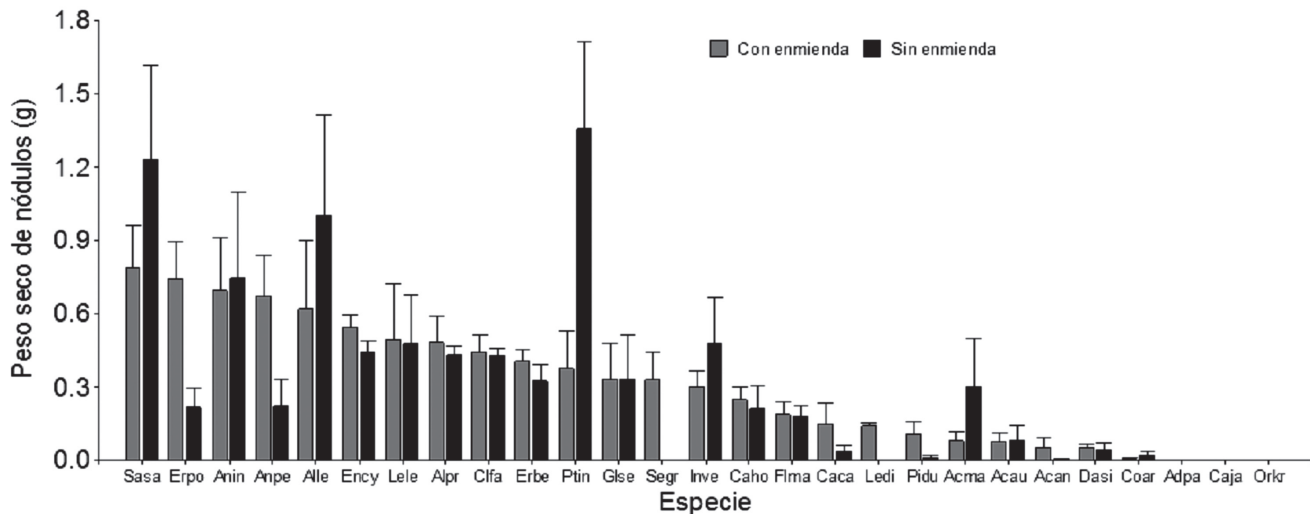


Figura 3. Materia seca de nódulos por planta de las leguminosas arbóreas. Sasa, *S. saman*; Erpo, *E. poeppigiana*; Anin, *A. inermis*; Anpe, *A. peregrina*; Alle, *A. lebbeck*; Ency, *E. cyclocarpum*; Lele, *L. leucocephala*; Alpr, *A. procera*; Clfa, *C. fairchildiana*; Erbe, *E. berteroana*; Ptin, *P. indicus*; Glse, *G. sepium*; Segr, *S. grandiflora*; Inve, *I. vera*; Caho, *C. houstoniana*; Flma, *F. macrophylla*; Caca, *C. calothyrsus*; Ledi, *L. diversifolia*; Pidul, *P. dulce*; Acma, *A. mangium*; Acau, *A. auriculiformis*; Acan, *A. angustissima*; Dasi, *D. sissou*; Coar, *C. arborea*; Adpa, *A. peregrina*; Caja, *C. javanica*; Orkr, *O. krugii*; Inno, *I. nobilis*. Tukey, $\alpha=0.05$, DMS= 0.78, datos originales. Las barras representan el error estándar de la media.

Se observaron más de 100 nódulos por planta en 7 especies (4 en suelo sin enmienda y 3 en suelo con enmienda). Entre estas especies, las de mayor nodulación (aunque estadísticamente igual a las demás) fueron *C. fairchildiana* (183) e *I. vera* (176 nódulos por planta), en el suelo sin enmienda. En cuanto al comportamiento de estas especies en el suelo Humatas, estos resultados coinciden con Santana (2007). Este autor reportó un promedio de 234.69 nódulos por planta para *C. fairchildiana*, 180 días después de la siembra, y 110 para *I. vera*, 300 días después de la siembra. Sin embargo, en el presente ensayo *C. fairchildiana* fue estadísticamente igual en el suelo con enmienda y en el sin enmienda. Esto no sucedió con *I. vera* que fue la única con diferencias entre los tratamientos con y sin enmienda. Esto sugiere que *I. vera* podría estar adaptada a suelos ácidos o que la especie de Rhizobio nativo en el suelo y homólogo a *I. vera* es más eficiente en el suelo no enmendado. El resultado es consistente con el hecho de que *I. vera* es una de las especies predominantes en las fincas de café bajo sombra en Puerto Rico (Arango 2007). Roskoski (1981), en evaluaciones de árboles de *I. vera* e *I. jinicul* en una plantación en México, no encontró nódulos en las raíces de la primera, pero sí abundantes en la segunda.

Materia seca de los nódulos

El análisis de varianza de la materia seca de los nódulos arrojó diferencias estadísticas significativas para la interacción enmienda por especie ($p=0.0191$), y entre especies ($p<0.01$). La materia seca promedio máxima se observó en las plantas de la especie *P. indicus*. Esta especie respondió mejor al suelo sin enmienda (1.32 g). Todas las demás especies respondieron igual en el suelo enmendado y en el sin enmendar (Figura 3).

Mahmud *et al.* (2005) reportaron materia seca de nódulos de 1.14, 1.25 y 1.38 g en *A. procera*, *L. leucocephala* y *P. juliflora*, respectivamente, 10 meses después de la siembra en tarros. En el presente ensayo, los valores para *A. procera* (con=0.47 g, sin=0.42 g) y *L. leucocephala* (con=0.48 g, sin=0.46 g) son inferiores a los obtenidos por estos autores, debido posiblemente al tipo de suelo utilizado en ambos ensayos. El suelo usado por Mahmud *et al.* (2005) fue moderadamente grueso a fino, de gris a gris verdoso y con un subsuelo areno limoso moderadamente grueso. Sin embargo, independientemente de la especie, y tomando en cuenta el tiempo, no hubo diferencias entre este ensayo (1.32 g seis meses después de la siembra) y el de Mahmud *et al.* (2005) con 1.38 g diez meses después de la siembra.

CONCLUSIONES

Las especies que alcanzaron una mayor longitud de tallo fueron *Enterolobium cyclocarpum*, *Leucaena leucocephala*, *Calliandra houstoniana* y *Flemingia macrophylla*.

Las especies *Albizia procera*, *Erythrina poeppigiana* y *Leucaena leucocephala*, fueron las que respondieron mejor a la aplicación de cal, al reportar una mayor materia seca.

Inga vera fue la especie con más nódulos en el suelo sin enmienda de cal.

Pterocarpus indicus, *Samanea saman* y *Albizia lebbek* presentaron mayor materia seca de los nódulos en el suelo sin enmienda.

Estas especies podrían ser utilizadas en experimentos posteriores como sombra de café y su potencial en la fijación de nitrógeno.

AGRADECIMIENTOS

La presente investigación se llevó a cabo gracias a: los doctores Eduardo Schroder (Ph.D.) y David Sotomayor (Ph.D.); Universidad de Puerto Rico, Recinto Mayagüez; Consejo Nacional de Investigaciones Agropecuarias y Forestales (CONIAF), de la República Dominicana; Instituto Dominicano de Investigaciones Agropecuarias y Forestales (IDIAF); y Centro para el Desarrollo Agropecuario y Forestal (CEDAF), de República Dominicana.

LITERATURA CITADA

- Abruña, F. y Vicente, J. 1955. Refinement of a quantitative method for determining the lime requirement of soils. J. of Agric. Univ. P. R. 39:41-45.
- Allen O. N., Allen E. K. 1981. The Leguminosae: a source book of characteristics, uses and nodulation. University of Wisconsin Press/Macmillan, Madison, WI. 812 p.
- Arango, M. 2007. Zonificación agroecológica del café en Puerto Rico y análisis estructural y de composición de especies arbóreas presentes en el agroecosistema cafetero. Tesis M.S. Universidad de Puerto Rico, Depto. Agronomía y Suelos, Mayagüez, P.R. 126 p.
- Arellano, R. 2001. Evaluación del escurrimiento y pérdida de suelo en agrosistemas de café. Rev. Forest. Venez. 45:9-14.
- Cruz L. y Schröder E. 2006. Characterization of soil in the Puerto Rico coffee agrosystem. Caribbean Food Crops Society. Conferencia Anual. San Juan. Resumen. p 66.
- Danso S. K. A., Bowen G. D. y Sanginga, N. 1992. Biological nitrogen fixation in trees in agro-ecosystems. Plant and Soil 141: 177-196.

- DaMatta, F. M. 2004. Ecophysiological constraints on the production of shaded and unshaded coffee: a review. Field Crops Research 86:99-114.
- Escalante, E. E. 1995. Coffee and agroforestry in Venezuela. Agroforestry Today. 7 : 5-7.
- Lewis, G., Schrire, B., Mackinder, B. y Lock, M. (eds). 2005. Legumes of the world. Royal Botanical Gardens. Kew, UK. 577 p.
- Mahmud, S., Rafiqul Hoque, A.T.M. y Mohiuddin, M. 2005. Nodulation behaviour and biomass productivity of three leguminous plant species at nursery stage in Chittagong University Soils. Res. J. Agric. Biol. Sci. 1: 89-93.
- Molina, S. y Alemañy, S. 1997. Species codes for the trees of Puerto Rico and the U.S. Virgin Island. Gen. Tech. Rep. SO-122. Asheville, NC:U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Southern Research Station. 67 p.
- Muñiz-Torres O. y Monroig-Inglés M. 1994. Región cafetalera de Puerto Rico: Características y manejo de los suelos. Universidad de Puerto Rico Recinto Universitario.
- Naidu, R., Tillman, R.W., Syers, J.K. y Kirkman, J.H. 1990. Lime-aluminium-phosphorus interactions and the growth of *Leucaena leucocephala*. I. Plant growth studies. Plant and Soil 126:1-8.
- O'Connell, D. A. 2004. Shade-grown coffee plantations in northern Latin America: a refuge for more than just birds & biodiversity. UCLA Journal of Environmental Law & Policy. University of California at Los Angeles. <http://www.thefreelibrary.com/Shade-grown+coffee+plantations+in+northern+Latin+America:+a+refuge...-a0116452004>.
- Roskoski, J. P. 1981. Nodulation and N₂-fixation by *Inga jinicuil*, a woody legume in coffee plantations. I. Measurements of nodule biomass and field C₂ H₂ reduction rates. Plant and Soil 59:201-206.
- Ryan, M. C., Graham, G. R. y Rudolph, D. L. 2001. Contrasting nitrate adsorption in andisols of two coffee plantations in Costa Rica. J. Environ. Qual. 30:1848-1852.
- Santana, M. 2007. Fijación biológica de nitrógeno por leguminosas arbóreas para la sombra de café en Puerto Rico. Tesis M.S. Universidad de Puerto Rico, Mayagüez, P.R. 90 p.
- Siebert, S. F. 2002. From shade- to sun-grown perennial crops in Sulawesi, Indonesia: implications for biodiversity conservation and soil fertility. Biodiversity and Conservation 11:1889-1902.
- Somasegaran P., Hoben H. J. 1994. Handbook for Rhizobia: Methods in legume-Rhizobium technology. Primera edición. Springer-Verlag, New York. pp 192-398.
- Sprent, J. I. 2001. Nodulation in legumes. Royal Botanic Garden, Kew. 146 p.
- Sprent, J. I. 2007. Evolving ideas of legume evolution and diversity: a taxonomic perspective on the occurrence of nodulation. New Phytologist 174: 11-25.
- USDA (United States Department of Agriculture). 2007. Tropical products: World Market and Trade. Foreign Agricultural Service. Circular series FTROP 4-07. December 2007. 25 p. http://www.fas.usda.gov/tropical_arc.asp.
- USDA (United States Department of Agriculture). 2009. Census of Agriculture 2007. Puerto Rico, island and municipio data. Volume 1. Geographic Area Series. Part 54. USDA-NASS. Washington, D. C. p 15, 204. <http://www.agcensus.usda.gov/Publications/2007/Full_Report/Outlying_Areas/prv1.pdf>.
- Yamoah, C. F., Nguemou, M. y Ngong, C. 1998. Stimulation of top and root growth of *Leucaena* with farm manure in the mid-altitude agro-ecological zone of North-West Cameroon. Expl. Agric. 34:313-322.