

Comportamiento simbiótico de poblaciones rizobianas nativas de suelos de sabana en *Arachis hypogaea* L.

Symbiotic performance of natural rhizobia populations from savanna soils on *Arachis hypogaea* L.

J. R. Méndez-Natera¹ y J. Mayz-Figueroa²

Resumen

A fin de evaluar la población rizobiana nativa se midieron caracteres vegetativos y caracteres relacionados con la nodulación de tres cultivares de maní ('India-39', 'India-41' y 'Rojo'), sembrados en suelo de sabana virgen o previamente cultivado con algodón, maíz o frijol. Se aplicó fertilización a razón de 500 kg/ha de 12-24-12 CP y encalado utilizando 1000 kg/ha de cal agrícola, con riego interdiario. En un arreglo factorial con tres repeticiones, los factores estudiados fueron cultivares de maní y tipos de suelo. La cosecha se realizó a los 60 días después de la siembra. Las diferencias entre tratamientos se detectaron con la prueba de rangos múltiples de Duncan ($P \leq 0,05$). No se encontraron diferencias significativas para los cultivares o para la interacción cultivares x condiciones de suelo. En el suelo virgen o previamente cultivado con frijol las plantas presentaron mayor número de folíolos, altura de planta y peso seco de hojas, correspondiendo los valores más bajos a los suelos previamente cultivados con maíz o algodón. Además, en el suelo virgen o previamente cultivado con frijol el número y peso seco y fresco de los nódulos fueron similares entre sí. El número de nódulos y el peso seco nodular/planta correlacionaron entre sí en cada una de las cuatro condiciones de suelo, en los tres cultivares y para la interacción suelo x cultivar. En el suelo cultivado con frijol y con el cultivar 'Rojo' las correlaciones significativas entre el número de nódulos, masa nodular y caracteres vegetativos se presentaron con mayor consistencia estadística que en las restantes condiciones de suelo y cultivares, no así en el caso de las correlaciones encontradas para el número de nódulos y altura de planta, y masa nodular con altura de planta, peso seco de hojas y peso seco de tallos, al compararse con las encontradas en el caso del cultivar 'India 39'. Las poblaciones rizobianas nativas del suelo virgen o previamente sembrado con frijol fueron más efectivas que las presentes en el suelo previamente cultivado con maíz o algodón.

Palabras clave: nodulación, coeficientes de correlación, rizobia nativa, peso nodular.

Recibido el 08-10-1998 ● Aceptado el 17-01-2000

1. Escuela de Ingeniería Agronómica. Dpto. de Agronomía. Universidad de Oriente. Núcleo de Monagas. Campus "Los Guaritos". Maturín. Venezuela.

2. Laboratorio de Rizobiología. Universidad de Oriente. Núcleo de Monagas. Campus "Juanico". Maturín. Venezuela.

Abstract

In order to evaluate the savanna native rhizobial population, vegetative and nodulation characters were measured in three peanut cultivars ('India-39', 'India-41' and 'Rojo'), grown in savanna soil not cultivated or previously cultivated with cotton, maize or cowpea. Soils were fertilized with 500 kg/ha of 12-24-12 CP, limed with 1000 kg/ha of agricultural lime and inter-daily watering. A factorial arrangement with three replications was used, including the factors: peanut cultivars and soil types. Harvest was carried out 60 days after planting. Duncan multiple range test was used to detect treatment differences ($P \leq 0.05$). There were not significant differences between cultivars and also interaction cultivars x soil conditions. In the virgin soil or previously cultivated with cowpea, plants had the highest values of folioles number, plant height, and dry weight of leaves, corresponding the lowest values to the soils previously cultivated with maize or cotton. Also, in the virgin soil or previously cultivated with cowpea the nodule number and dry and fresh weight were similar. Nodule number and dry weight/plant were correlated to each other in all soil conditions, cultivars and also to interaction soils by cultivars. Correlations between nodule number, nodule mass and vegetative characters were higher than in the remaining soil conditions and cultivars, in number and magnitude in virgin soil or previously cultivated with cowpea, and sowed with 'Red' cultivar. In the correlations the coefficients were lower between nodule number and plant height and nodular mass and plant height, leaves dry weight and stem dry weight correlation were higher in cultivar 'India 39'. Rhizobial native populations from soil previously cultivated with cowpea or virgin were more effective than populations present in soil previously cultivated with maize or cotton.

Key words: nodulation, correlation coefficients, native rhizobia, nodular weight.

Introducción

La fijación biológica de nitrógeno es otro insumo de N_2 para los suelos agrícolas, la cual se estima que contribuye un promedio anual de 140 Tn de N_2 (5, 23). Los cultivos leguminosos son inoculados con cepas de rizobia con la expectativa de que la inoculación incrementa la fijación de nitrógeno y el rendimiento; sin embargo, algunos factores edáficos limitan la expresión completa de la respuesta del inóculo, entre estos: la

competencia con las cepas nativas y la reducida viabilidad de los rizobia debido a la presencia de diversos tipos de agotamientos (3, 16, 19).

El maní es cultivado tanto por pequeños, medianos y grandes productores en las mesas de sabana, cuyos suelos característicamente presentan pH ácido, deficiencias de calcio y fósforo y toxicidad de aluminio y/o manganeso, condiciones que afectan la persistencia de las cepas rizobianas

(4, 14, 20, 21, 24, 33).

En los suelos tropicales existe una gran diversidad de cepas rizobianas nativas que podrían proporcionar el nitrógeno requerido por un cultivo leguminoso o ser una vía de suministro de nuevos aislados para la producción de inoculantes (1, 12, 13, 35). Como lo mostró Martins *et al.* (18) en su estudio, la cepa SSF 8 aislada de frijol cultivado sin inoculación en suelos de Brasil, fue más eficiente que la cepa de *Bradyrhizobium* BR 2001, usada como inoculante comercial; similarmente, Martin *et al.* (19) encontró que la cepa de *Bradyrhizobium* NSI, aislada de una población nativa de un suelo de Canadá fue más efectiva en soya que la cepa comercial usada. Esto enfatiza la importancia de evaluar los rizobia nativos fisiológica y genéticamente

adaptados al ambiente antes de la introducción de otras cepas. En concordancia, Sprent (31) acotó que la presión de selección sobre los rizobia conduce a la evolución de cepas tolerantes y adaptadas a los ambientes.

En Venezuela no se lleva a cabo la inoculación de maní, la nodulación ocurre gracias a los rizobia nativos, de allí que la evaluación de éstos puede determinar tanto la necesidad de inoculación como la estrategia a seguir en caso de existir cepas indígenas eficientes.

En este trabajo se midieron caracteres vegetativos y caracteres relacionados con la nodulación de tres cultivares de maní *Arachis hypogaea* L. sembrados en un suelo de sabana virgen o previamente cultivado con otras especies, con la finalidad de evaluar la población rizobiana nativa.

Materiales y métodos

Los cultivares 'India-39', 'India-41' y 'Rojo' obtenido en Venezuela fueron cultivados en bolsas negras de polietileno (20 cm × 15 cm) con 3 kg de suelo de sabana virgen o previamente sembrado con algodón, maíz o frijol. La fertilización (12-24-12 CP) se realizó a razón de 500 kg/ha y el encalado (cal agrícola) con 1000 kg/ha. Se aplicó riego interdiario. En el diseño estadístico de bloques al azar en arreglo factorial con tres repeticiones, un factor estuvo representado por los cultivares de maní y el otro por los diferentes tipos de suelo.

El ensayo se condujo en Jusepín, estado Monagas, Venezuela, en suelos ultisoles de Sabana.

La cosecha se realizó a los 60 días

(plantas en plena floración) después de la siembra, evaluando en ese momento los caracteres vegetativos (número de foliólos y ramas; altura de planta y longitud de la raíz principal desde el nudo cotiledonal hasta el ápice caulinar o radical respectivamente; diámetro de tallo y raíz a 0,5 cm del nudo cotiledonal; peso seco y fresco de hojas, raíces y tallos y los caracteres relacionados con la nodulación (número y peso fresco y seco de nódulos). Los pesos secos se determinaron después del posterior secado del material en estufa a 60°C durante 72 horas. El análisis de varianza para cada parámetro se realizó de acuerdo al diseño empleado y las diferencias entre los tratamientos se detectaron con la

prueba de rangos múltiples de Duncan al nivel de significación del 5%. Además, se calcularon los coeficientes de correlación simple (r) entre los caracteres vegetativos y los relacionados con la nodulación (32).

En el cuadro 1 se muestra el análisis físico y químico (profundidad: 20 cm) para las cuatro condiciones de suelo. El suelo de sabana virgen o previamente sembrado con algodón

presentó clase textural areno francosa, mientras que los suelos sembrados previamente con maíz o frijol franco arenosa, todos con bajo contenido de materia orgánica, calcio, magnesio y potasio y baja capacidad de intercambio catiónico. (25) Una alta saturación de aluminio se detectó en el suelo virgen o previamente sembrado con frijol.

Resultados y discusión

De acuerdo con los resultados no se encontraron diferencias significativas para los cultivares o para la interacción cultivares x condiciones de suelo para las variables evaluadas; sin embargo, todas los parámetros resultaron significativos para las diferentes condiciones de suelo, a excepción del peso seco por nódulo (cuadro 2).

El suelo cultivado previamente con frijol y el suelo virgen presentaron plantas con un mayor desarrollo de los caracteres vegetativos: número de folíolos, altura de planta, y peso seco de hojas, correspondiendo los valores más bajos a los suelos previamente cultivados con algodón o maíz. Además, el suelo virgen o previamente cultivado con frijol fueron similares entre si para los caracteres relacionados con la nodulación: número, y peso seco y fresco de nódulos. El suelo cultivado con frijol presentó plantas con una mayor longitud de raíces, mientras que el suelo virgen presentó mayor diámetro y peso seco y fresco de tallo al igual que mayor peso fresco de hojas (cuadro 3).

Los coeficientes de correlación li-

neal (r) entre los caracteres vegetativos de un cultivo leguminoso con la nodulación permiten conocer la asociación entre estos caracteres y evaluar la contribución de la fijación de nitrógeno en el crecimiento de las plantas. El cuadro 3 muestra los diferentes coeficientes de correlación lineal obtenidos en el ensayo tomando en consideración la condición del suelo utilizado. El número de nódulos/planta estuvo significativamente correlacionado con el peso seco nodular/planta en las cuatro condiciones de suelo. En el suelo virgen esta variable correlacionó significativamente en forma positiva con el número de folíolos y ramas, altura de planta, diámetro de tallo, longitud de raíz y peso seco de tallo ($r = 0,721$ a $0,888$), siendo estas asociaciones de mayor magnitud que en las restantes condiciones de suelo; mientras que en el suelo previamente cultivado con frijol correlacionó positivamente con el diámetro de tallo y raíz, y el peso seco de hojas y raíz. La masa nodular estuvo asociada significativamente de manera positiva con el número de folíolos y ramas, altura de planta, diámetro de tallo y

Cuadro 1. Propiedades físicas y químicas de los suelos ultisoles de sabana donde se evaluaron poblaciones rizobianas nativas en simbiosis con maní (profundidad: 20 cm) en Jusepín, Venezuela.

| S | Ar % | Cl Tex | pH | MO % | P ppm | Al | H | Ca meq | Mg | K | CICE | Al % | Fe | Cu ppm | Mn | Zn |
|------|---------|-----------|-----|---------|----------|------|------|-----------|------|------|------|---------|------|-----------|------|------|
| Alg | 7,2 | AF | 5,5 | 0,61 | 6,6 | Trz | 0,10 | 1,80 | 0,48 | 0,01 | 2,29 | Trz | 31,6 | 0,36 | 1,76 | 0,04 |
| Maíz | 9,2 | Fa | 5,3 | 0,61 | 6,6 | Trz | 0,15 | 1,41 | 0,35 | 0,02 | 1,78 | Trz | 56,0 | 0,36 | 2,32 | 0,44 |
| Vir | 9,2 | AF | 4,9 | 0,53 | 4,2 | 0,64 | 0,34 | 0,60 | 0,31 | 0,03 | 1,58 | 40,51 | 55,6 | 0,04 | 0,76 | 0,24 |
| Fri | 10,2 | Fa | 4,8 | 0,70 | 4,6 | 0,52 | 0,31 | 0,87 | 0,48 | 0,01 | 1,88 | 27,66 | 37,0 | 0,44 | 0,48 | 0,52 |

| | |
|---------------|-----------|
| pH \leq 5,5 | Muy ácido |
| MO < 2% | Bajo |
| P 0 – 11 ppm | Bajo |
| Ca < 5 meq | Bajo |
| Mg < 1 meq | Bajo |
| K < 0,15 meq | Bajo |
| CICE < 10 | Bajo |
| Al > 25% | Alto |

S: Suelo. Ar: Arcilla. Cl Tex: Clase textural. Alg: Algodón. Vir: Virgen. Fri: Frijol. Trz: Trazas. (Palmaven, 1986).

Cuadro 2. Análisis de varianza para los caracteres vegetativos (A) y los relacionados con la nodulación (B), evaluados en plantas de maní noduladas por rizobia nativos de suelo de sabana virgen o previamente cultivado con frijol, algodón o maíz en Jusepín, Venezuela.

(A)

| FV | GL | Cuadrados Medios | | | | | | | | |
|--------------|----|-----------------------------------|--|--------------------------------|---|--|--|---|--|---|
| | | N°. folíolos planta ⁻¹ | Altura planta (cm planta ⁻¹) | N°. Ramas planta ⁻¹ | Diámetro tallo (cm planta ⁻¹) | Longitud raíz (cm planta ⁻¹) | Diámetro raíz (cm planta ⁻¹) | Peso seco hojas (g planta ⁻¹) | Peso seco raíz (g planta ⁻¹) | Peso seco tallo (g planta ⁻¹) |
| Repetición | 2 | 657,370 | 36,139 | 1,290 | 0,003 | 7,477 | 0,000 | 19,074 | 0,410 | 3,562 |
| Suelo (S) | 3 | 10006,997* | 120,614* | 20,178* | 0,005* | 14,562* | 0,004* | 131,233* | 1,161* | 227,994* |
| Cultivar (C) | 2 | 99,334ns | 4,309ns | 0,443ns | 0,001ns | 2,556ns | 0,002ns | 6,435ns | 0,243ns | 1,125ns |
| S x C | 6 | 136,848ns | 1,053ns | 1,063ns | 0,000ns | 0,808ns | 0,001ns | 8,081ns | 0,300ns | 3,178ns |
| Error | 22 | 266,258 | 7,946 | 0,926 | 0,001 | 1,828 | 0,001 | 8,233 | 0,184 | 13,888 |
| C.V. (%) | | 13,31 | 18,41 | 9,78 | 7,88 | 18,80 | 7,22 | 26,92 | 19,39 | 32,06 |

(B)

| Fuente de variación | Grados de libertad | Cuadrados medios | | |
|---------------------|--------------------|----------------------------------|--|-------------------------------------|
| | | N°. nódulos planta ⁻¹ | Peso seco nodular (mg planta ⁻¹) | Peso seco nódulo ⁻¹ (mg) |
| Repetición | 2 | 87,804 | 0,001 | 0,023235 |
| Suelo (S) | 3 | 1706,325* | 0,006* | 0,0022093ns |
| Cultivar (C) | 2 | 52,406ns | 0,000ns | 0,0000815ns |
| S x C | 6 | 21,908ns | 0,000ns | 0,0009060ns |
| Error | 22 | 204,467 | 0,001 | 0,0016893 |
| C.V. (%) | | 73,86 | 88,68 | 74,67 |

· Significativo (P ≤ 0,05), ns No significativo (P > 0,05).

Cuadro 3. Prueba de rangos múltiples de Duncan para los caracteres vegetativos y los relacionados con la nodulación de plantas de maní cultivadas sin inoculación en cuatro condiciones de suelo de sabana en Jusepín, Venezuela.

| Suelo | Nº folíolos plantas ⁻¹ | Altura planta (cm planta ⁻¹) | Nº ramas planta ⁻¹ | Diámetro tallo (cm planta ⁻¹) | Longitud raíz (cm planta ⁻¹) | Diámetro raíz (cm planta ⁻¹) | Nº nódulos planta ⁻¹ | Peso seco nódulo ⁻¹ |
|---------|-----------------------------------|--|-------------------------------------|---|--|--|---|--------------------------------|
| Frijol | 143,8 ^a | 17,1 ^a | 10,6 ^{ab} | 0,43 ^b | 9,04 ^a | 0,36 ^b | 35,9 ^a | $\bar{X} = 1,74 \text{ mg}$ |
| Virgen | 158,3 ^a | 19,4 ^a | 11,2 ^a | 0,48 ^a | 6,14 ^b | 0,41 ^a | 23,6 ^{ab} | |
| Algodón | 93,3 ^b | 11,2 ^b | 7,7 ^c | 0,44 ^b | 6,79 ^b | 0,38 ^{ab} | 14,5 ^{bc} | |
| Maíz | 95,1 ^b | 13,5 ^b | 9,9 ^b | 0,42 ^b | 6,79 ^b | 0,36 ^b | 3,4 ^c | |
| | | Peso hojas (g planta ⁻¹) | Peso raíz (g planta ⁻¹) | | Peso tallo (g planta ⁻¹) | | Peso nódulos (mg planta ⁻¹) | |
| Suelo | Fresco | Seco | Fresco | Seco | Fresco | Seco | Fresco | Seco |
| Frijol | 32,51 ^b | 13,91 ^a | 4,14 ^b | 2,35 ^{ab} | 39,06 ^b | 13,95 ^b | 143 ^a | 68 ^a |
| Virgen | 51,87 ^a | 13,90 ^a | 5,88 ^a | 2,61 ^a | 69,09 ^a | 17,60 ^a | 119 ^a | 53 ^{ab} |
| Algodón | 27,29 ^b | 6,53 ^b | 4,53 ^b | 1,76 ^c | 30,09 ^b | 7,05 ^c | 123 ^a | 32 ^{bc} |
| Maíz | 33,40 ^b | 8,30 ^b | 4,99 ^{ab} | 2,13 ^{bc} | 33,75 ^b | 7,89 ^c | 36 ^b | 7 ^c |

a, b, c: Promedios con la misma letra son estadísticamente iguales (a = 0,05).

raíz, peso seco de tallo y peso nodular/planta en el suelo virgen; mientras que en el suelo previamente cultivado con frijol estuvo correlacionado con signo positivo con el diámetro de tallo y raíz, peso seco de hojas, raíz y tallo y masa nodular/planta. En las otras dos condiciones de suelo las correlaciones fueron menos consistentes, no significativas y en algunos casos negativas, excepto para número de nódulos longitud de raíz y masa nodular con peso seco nódulos/planta en el suelo previamente sembrado con maíz. Los resultados sugieren que el tipo de cultivo sembrado previamente afecta las asociaciones entre los caracteres de la nodulación y los caracteres vegetativos evaluados y que en el suelo virgen o previamente cultivado con frijol, la fijación de nitrógeno contribuyó en mayor medida al crecimiento de maní; en concordancia con los resultados previamente discutidos y mostrados en el cuadro 3.

En el cuadro 5, se muestran los valores de los coeficientes de correlación para los cultivares sembrados, así como los valores generales: suelo + cultivar. El número de nódulos/planta estuvo significativamente correlacionado con el peso seco nodular /planta en los tres cultivares. Además, en el cultivar 'Rojo', la correlación fue significativa con el número de folíolos y ramas/planta, altura de planta, diámetro de tallo, longitud de raíz y peso seco de hojas, raíz y tallo. En el cultivar 'India 39', correlacionó con la altura de planta, longitud de raíz y peso seco de hojas y tallo y en el cultivar 'India 41' sólo con el número de folíolos y peso seco de hojas. En el cultivar Rojo, el peso de la masa nodular

correlacionó significativamente con el número de folíolos y ramas/planta, diámetro de tallo, longitud de raíz y peso seco de hojas, raíz y tallo; mientras que en el cultivar 'India 39' estuvo correlacionado con número de folíolos, altura de planta y peso seco de hojas, tallo y nódulos/planta. En el cultivar 'India 41', sólo hubo correlación con el peso seco de hojas. En general, los coeficientes de correlación significativos fueron estadísticamente más consistentes en el cultivar 'Rojo', tanto para el número de nódulos ($r = 0,583$ a $0,860$) como para la masa nodular ($r = 0,593$ a $0,652$); lo cual podría estar relacionado con el origen de este cultivar, el mismo fue desarrollado en el país para las condiciones agroecológicas de sabana, mientras que los otros dos cultivares fueron introducidos de la India. Casi todas las asociaciones entre el número de nódulos/planta y el peso seco de la masa nodular con los caracteres vegetativos fueron positivas, tanto para los cultivares como para las condiciones de suelo usadas, indicando que un incremento en el número de nódulos y el peso seco nodular produce un mayor crecimiento de las plantas, lo que denota el efecto beneficioso de la fijación de N_2 . Correspondencia similar ha sido reportada por varios investigadores en maní (2, 27, 30).

Con relación al peso seco por nódulo, no hubo diferencias significativas entre las tres condiciones de suelo usadas (promedio=1,74 mg/nódulo) y la mayoría de las asociaciones con los caracteres vegetativos no fueron significativas, sugiriendo que el peso nodular individual en este caso no es un buen indicativo de las relaciones

Cuadro 4. Valores de los coeficientes de correlación entre los caracteres vegetativos y los relacionados con la nodulación de tres cultivares de maní en simbiosis con rizobia nativos de suelo ultisol de sabana virgen o previamente sembrado con algodón, maíz o frijol en Jusepín, Venezuela.

| Carácter | Número de nódulos Planta ⁻¹ | Peso seco masa nodular (g) | Peso seco nódulo ⁻¹ (mg) | Cultivo Previamente sembrado |
|---|---|----------------------------------|--|------------------------------------|
| Nº folíolos plantas ⁻¹ | 0,362ns | 0,602ns | 0,614ns | Algodón |
| | 0,322ns | 0,075ns | -0,081ns | Maíz |
| | 0,200ns | 0,339ns | 0,444ns | Frijol |
| | 0,804** | 0,730* | 0,301ns | Virgen |
| Altura planta (cm planta ⁻¹) | -0,090ns | 0,266ns | 0,859** | Algodón |
| | -0,097ns | -0,158ns | -0,338ns | Maíz |
| | 0,404ns | 0,645ns | 0,728* | Frijol |
| | 0,880** | 0,846** | 0,521ns | Virgen |
| Nº ramas planta ⁻¹ | 0,357ns | 0,550ns | 0,477ns | Algodón |
| | -0,246ns | -0,526ns | -0,523ns | Maíz |
| | 0,357ns | 0,442ns | 0,496ns | Frijol |
| | 0,861** | 0,797** | 0,364ns | Virgen |
| Diámetro tallo (cm planta ⁻¹) | -0,346ns | -0,043ns | 0,685* | Algodón |
| | 0,257ns | 0,082ns | 0,023ns | Maíz |
| | 0,762* | 0,832** | 0,788* | Frijol |
| | 0,826** | 0,771* | 0,672* | Virgen |
| Longitud raíz (cm planta ⁻¹) | 0,133ns | 0,276ns | 0,648ns | Algodón |
| | 0,668* | 0,653ns | 0,364ns | Maíz |
| | 0,552ns | 0,292ns | 0,054ns | Frijol |
| | 0,721* | 0,551ns | 0,189ns | Virgen |
| Diámetro raíz (cm planta ⁻¹) | -0,098ns | -0,030ns | 0,021ns | Algodón |
| | 0,357ns | 0,258ns | 0,403ns | Maíz |
| | 0,731* | 0,723* | 0,682* | Frijol |
| | 0,629ns | 0,684* | 0,739* | Virgen |
| Peso seco hojas (g planta ⁻¹) | 0,184ns | 0,485ns | 0,590ns | Algodón |
| | 0,269ns | 0,044ns | -0,045ns | Maíz |
| | 0,754* | 0,784* | 0,752* | Frijol |
| | 0,575ns | 0,580ns | 0,652ns | Virgen |
| Peso seco raíz (g planta ⁻¹) | 0,365ns | 0,548ns | 0,258ns | Algodón |
| | 0,197ns | -0,072ns | -0,077ns | Maíz |
| | 0,977* | 0,721* | 0,593ns | Frijol |
| | 0,591ns | 0,516ns | 0,546ns | Virgen |
| Peso seco tallo (g planta ⁻¹) | 0,083ns | 0,413ns | 0,602ns | Algodón |
| | 0,334ns | 0,152ns | -0,005ns | Maíz |
| | 0,597ns | 0,793* | 0,844** | Frijol |
| | 0,888** | 0,836** | 0,642ns | Virgen |
| Peso seco nodular (mg planta ⁻¹) | 0,909** | 0,396ns | 0,043ns | Algodón |
| | 0,899** | 0,881** | 0,664* | Maíz |
| | 0,839** | 0,785* | 0,442ns | Frijol |
| | 0,890** | 0,720* | 0,471ns | Virgen |

**=Altamente Significativo (P ≤ 0,01).*=Significativo (P ≤ 0,05).ns=No Significativo (P > 0,05).

entre la nodulación y los caracteres vegetativos; la reducción en el número de nódulos en los suelos sembrados con maíz o algodón no fue compensada con un incremento en el peso nodular (cuadros 3, 4 y 5). Prabakaran y Sivasubramanian (26) reportaron un peso/nódulo de 1,96 mg, para maní cv. 'JL24' no inoculado y fertilizado con 70 mg N₂/kg de suelo, valor ligeramente superior al hallado en este ensayo.

El peso fresco de hojas, raíz y tallo presentó un comportamiento similar con el de sus pesos secos, indicando una fuerte asociación entre los pesos fresco y seco de los caracteres, a excepción del peso fresco de los nódulos, el cual fue similar en el suelo virgen y en los suelos previamente sembrados con frijol o algodón; semejanza eliminada después del secado (cuadro 3, figura 1).

Los resultados señalan que la población rizobiana nativa varía entre

los tipos de suelo e indican que en el suelo previamente cultivado con frijol y en el suelo virgen existía una mayor cantidad de rizobia infectivos y efectivos que indujo una mayor nodulación y por ende una mejor respuesta. En el primero la población rizobiana nativa fue mantenida por el cultivo de frijol y en el segundo por la presencia de leguminosas nativas también noduladas por rizobia del grupo *Vigna*, tales como *Desmodium canum*, *Mimosa pudica*, y *Crotalaria retusa*, entre otros, mientras que en los suelos sembrados previamente con algodón o maíz, la población pudo haber disminuido. En relación a esto, Yousef *et al.* (34) encontraron una alta correlación entre la abundancia de los rizobia y los cultivos sembrados en el área al estudiar 66 muestras de suelo de varias localidades de Iraq, usando como hospedero trampa maní, y Martins *et al.* (18) señalaron que la

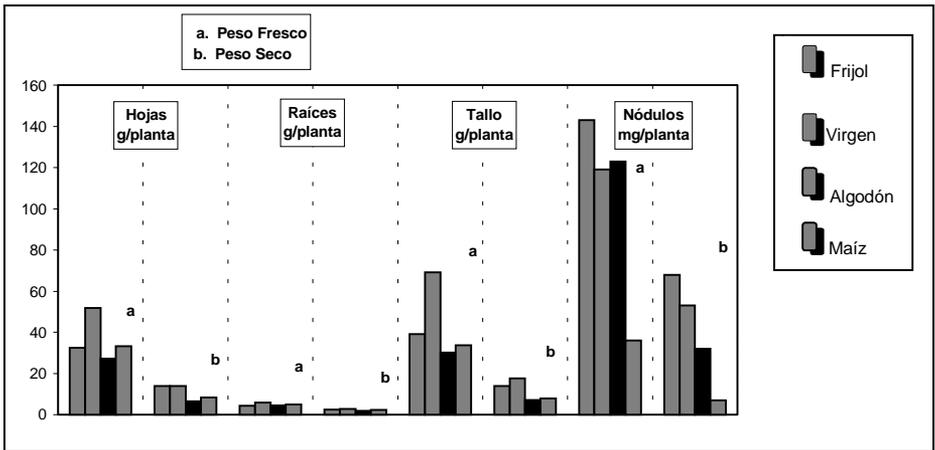


Figura 1. Pesos frescos y secos de hojas, tallos, raíces y nódulos de cultivares de maní sembrados en suelo ultisol de sabana virgen o previamente cultivado con frijol, algodón o maíz en Jusepín, Venezuela.

Cuadro 5. Valores de los coeficientes de correlación entre los caracteres vegetativos y los relacionados con la nodulación de tres cultivares de maní nodulados por rizobia nativos de suelo de sabana virgen o previamente sembrado con algodón, maíz o frijol en Jusepin, Venezuela.

| Carácter | Número de nódulos Planta ⁻¹ | Peso seco masa nodular | Peso seco nódulo ⁻¹ (mg) | Cultivar |
|--|--|------------------------|-------------------------------------|----------|
| Nº folíolos plantas ⁻¹ | 0,511ns | 0,619* | 0,503ns | India 39 |
| | 0,627* | 0,605* | 0,233ns | India 41 |
| | 0,781** | 0,630* | -0,112ns | Rojo |
| General | 0,642** | 0,612** | 0,210ns | |
| Altura planta (cm planta ⁻¹) | 0,754** | 0,857** | 0,598* | India 39 |
| | 0,340ns | 0,376ns | 0,038ns | India 41 |
| | 0,713 | 0,558ns | -0,200ns | Rojo |
| General | 0,593** | 0,638** | 0,234ns | |
| Nº ramas planta ⁻¹ | 0,449ns | 0,507ns | 0,203ns | India 39 |
| | 0,264ns | 0,234ns | -0,293ns | India 41 |
| | 0,712** | 0,593* | -0,184ns | Rojo |
| General | 0,451** | 0,423** | -0,036ns | |
| Diámetro tallo (cm planta ⁻¹) | 0,341ns | 0,552ns | 0,785** | India 39 |
| | 0,279ns | 0,249ns | 0,015ns | India 41 |
| | 0,583* | 0,651* | 0,327ns | Rojo |
| General | 0,380* | 0,498** | 0,493** | |
| Longitud raíz (cm planta ⁻¹) | 0,602* | 0,423ns | 0,270ns | India 39 |
| | 0,326ns | 0,410ns | 0,274ns | India 41 |
| | 0,820** | 0,652* | 0,046ns | Rojo |
| General | 0,588** | 0,453** | 0,173ns | |
| Diámetro raíz (cm planta ⁻¹) | 0,270ns | 0,475ns | 0,622* | India 39 |
| | 0,565ns | 0,543ns | 0,313ns | India 41 |
| | 0,283ns | 0,271ns | 0,255ns | Rojo |
| General | 0,323ns | 0,430** | 0,417* | |
| Peso seco hojas (g planta ⁻¹) | 0,592* | 0,759** | 0,570ns | India 39 |
| | 0,622* | 0,626* | 0,044ns | India 41 |
| | 0,786** | 0,634* | 0,114ns | Rojo |
| General | 0,672** | 0,667** | 0,269ns | |
| Peso seco raíz (g planta ⁻¹) | 0,191ns | 0,391ns | 0,245ns | India 39 |
| | 0,467ns | 0,473ns | 0,018ns | India 41 |
| | 0,793** | 0,622* | 0,138ns | Rojo |
| General | 0,458** | 0,483** | 0,160ns | |
| Peso seco tallo (g planta ⁻¹) | 0,658* | 0,855** | 0,606* | India 39 |
| | 0,471ns | 0,485ns | 0,192ns | India 41 |
| | 0,860** | 0,767** | 0,090ns | Rojo |
| General | 0,666** | 0,722** | 0,343* | |
| Peso seco nodular (mg planta ⁻¹) | 0,899** | 0,652* | 0,412ns | India 39 |
| | 0,989** | 0,490ns | 0,428ns | India 41 |
| | 0,866** | 0,408ns | 0,128ns | Rojo |
| General | 0,908** | 0,532** | 0,308ns | |

** = Altamente Significativo (P \leq 0,01). * = Significativo (P \leq 0,05). ns = No Significativo (P > 0,05).

población rizobiana nativa es dependiente de las condiciones edafoclimáticas, pero que la presencia de las leguminosas es un fuerte determinante de la persistencia de las cepas en el suelo. En concordancia, Kucey y Hynes (15) al evaluar poblaciones de *R. leguminosarum* bv. *phaseoli* y bv. *viceae* en suelos de Alberta, Canadá encontraron que las poblaciones de la bv. *phaseoli* fueron 1×10^2 a 1×10^3 veces más altas en suelos que habían sido cultivados con caraota que en esos que habían sido sembrados con arvejas o trigo, mientras que los suelos que habían sido cultivados con arvejas, mantuvieron poblaciones de la bv. *viceae*, 10 a 100 veces más altas que esos que habían sido sembrados con caraota o trigo. Hiltbold *et al.* (11) indicaron que las poblaciones de *R. japonicum* en el suelo fueron máximas después del cultivo de soya, mientras que ocurrió una rápida disminución bajo el cultivo de algodón o maíz. Mhamdi *et al.* (23) al examinar cepas de rizobia aisladas de caraota cultivada en suelo de Tunisia de tres áreas geográficamente distintas, encontraron que en las dos regiones donde este cultivo es sembrado frecuentemente se recobraron cepas efectivas de las especies *Rhizobium gallicum*, *R. etli* y *R. leguminosarum*, mientras que en el área donde la caraota no había sido sembrada en los últimos 10 años se recobraron cepas inefectivas de taxa no reconocido.

La carencia de cepas efectivas en los suelos cultivados con algodón y maíz, probablemente no es sólo consecuencia de la falta previa de leguminosas hospederas del grupo

Vigna, sino también de las concentraciones de manganeso presentes: 1,76 y 2,32 ppm respectivamente. Los suelos previamente cultivados con frijol, algodón y el suelo virgen produjeron 35,9, 14,5 y 23,6 nódulos/planta con pesos de 68, 32 y 53 mg/planta respectivamente (cuadro 2), valores dentro de los rangos reportados (número de nódulos/planta: 11,7 y 81 y masa de nódulos/planta: 6,7 - 113,3 mg) por Manoharn *et al.* (17) para 100 genotipos de maní cultivados en un suelo con población rizobiana nativa. A pesar de que en el suelo cultivado con algodón el número y el peso seco de nódulos/planta estuvieron dentro de los límites referidos, la reducción alcanza un promedio de un 50% con relación a los valores encontrados en el suelo virgen o previamente sembrado con frijol. En el suelo previamente cultivado con maíz donde la concentración de Mn fue mayor, el número de nódulos y peso seco/planta fueron drásticamente reducidos respectivamente a 3,4 y 7 mg (cuadros 1 y 3). Bordeleu y Prevost (6) y Evans *et al.* (7) en ensayos con leguminosas y especies de *Rhizobium* encontraron que la máxima nodulación y efectividad estuvo negativamente correlacionada con el contenido de Mn del suelo y que éste afectó algunos aspectos de la simbiosis.

Los resultados también sugieren que a pesar de que el suelo cultivado con frijol y el virgen presentaron mayor contenido de Al, este pudo haber sido neutralizado por la aplicación de la cal, incrementándose así el pH, lo cual favorece la formación y

funcionamiento de los nódulos. Smyth y Cravo (29) reportaron un incremento de la nodulación en suelos ácidos de la Amazonia brasileña con la aplicación de calcita o cal y lo atribuyeron a un aumento del pH; similarmente, Silva y Sodek (28) atribuyeron al pH ácido la reducción del número de nódulos en soya cultivada hidropónicamente. Los efectos desfavorables del pH ácido sobre las etapas de la nodulación han sido reportados para varias leguminosas (8, 12, 13, 20, 22, 33, 36).

Las poblaciones nativas de rizobia en el suelo previamente cultivado con frijol o en el suelo virgen fueron más efectivas en suministrar el nitrógeno requerido para el crecimiento de maní. Con relación a esto, Graham y Scott (9) y Hartzog *et al.* (10) señalaron respectivamente que la nodulación natural efectiva con rizobia nativos puede suministrar la mayoría o todo el N requerido para el crecimiento de maní y frijol.

Literatura citada

1. Akkermans, A.D.L., M.S. Mirza, H.J.M Harmsen, H.J. Block, D. S. Herron, A. Sessitsch and W.M. Akkermans. 1994. Molecular ecology of microbes: A review of promises, pitfalls and true progress. FEMS Microbiol. Rev. 15:185-194.
2. Arrendel, S., J. C. Wynne, G.H. Elkan and T.G. Isleib. 1985. Variation for nitrogen fixation among progenies of a Virginia x Spanish peanut cross. Crop. Sci. 25:865-869.
3. Athar, M. 1997. A quality study of the nodulating ability of legumes of Pakistan. List 5. Acta Bot. Gall. 144:67-72.
4. Ballen, K.G., P.H. Graham, R.K. Jones and J.M. Bowers. 1998. Acidity and calcium interaction affecting cell envelope stability in *Rhizobium*. Can. J. Microbiol. 44:582-587.
5. Bæckman, O.C. 1997. Fertilizers and biological nitrogen fixation as sources of plant nutrients: Perspectives for future agriculture. Plant Soil 194:11-14.
6. Bordeleu, L.M. and D. Prevost. 1994. Nodulation and nitrogen fixation in extreme environments. Plant Soil 161:115-125.
7. Evans, J., B.J. Scott and W. J. Lill. 1987. Manganese tolerance in subterranean clover (*Trifolium subterraneum* L.) genotypes grown with ammonium nitrate or symbiotic nitrogen. Plant Soil 97: 207-215.
8. Fettell, N.A., G.E. Oconnor, D. J. Carpenter, J. Evans, I. Bamforth, C. Otiboateng, D.M. Hebb and J. Brockwell. 1997. Nodulation studies on legume exotic to Australia. The influence of soil populations and inoculation of *Rhizobium leguminosarum* bv. *viceae* on nodulation and nitrogen fixation by field peas. Appl. Soil Ecol. 5:197-210.
9. Graham, R. A. and T. W. Scott. 1984. Response of cowpea *Vigna unguiculata* (L.) Walp. to nitrogen and inoculation in Trinidad. Trop. Agric. 61: 56-58.
10. Hartzog, D., F. Adams, and A. E. Hiltbold. 1983. The effect of inoculation and nitrogen fertilizer on peanut yields and grades. Proc. Am. Peanut Res. Ed. Soc. 15: 119.
11. Hiltbold, A. E., R. M. Patterson and R. B. Reed. 1985. Soil population of *Rhizobium japonicum* in a cotton-corn-soybean rotation. Soil Sci. Soc. Am. J. 49: 343-348.
12. Ibeckwe, A.M., J. S. Angle, R.L. Chaney and P. Vanberkum. 1997. Enumeration and N₂ fixation potential of *Rhizobium leguminosarum* bv. *trifolii* grown in soil with varying pH values and heavy metal concentrations. Agric. Eco. Environ. 61:2-3.

13. Kahindi, J.H.F., P. Woomeer, T. George, F.D.M. Moreira, N.K. Karanja and K.E. Giller. 1997. Agricultural intensification, soil biodiversity and ecosystem function in the tropics: the role of nitrogen-fixing bacteria. *Appl. Soil Ecol.* 6:55-76.
14. Kingsbury, N. and M. Kellman. 1997. Root mat depths and surface soil chemistry in southeastern Venezuela. *J. Trop. Ecol.* 13:475-479.
15. Kucey, R. M. N. and M. F. Hynes. 1989. Populations of *Rhizobium leguminosarum* biovars *phaseoli* and *viceae* in fields after bean or pea in rotation with nonlegumes. *Can. J. Microbiol.* 35:661-667.
16. Malek, W., M. Inaba, H. Ono, Y. Kaneko and Y. Murooka. 1998. Competition for *Astragalus sinicus* root nodule infection through its native microsymbiont *Rhizobium huakuii* bv. *rengae* B3 and *Rhizobium* sp. ACMP18 strain, specific for *Astragalus cicer*. *Appl. Microbiol. Biotech.* 50:261-265.
17. Manoharn, V., R. Sridhar and S. Thangavelu. 1990. Studies on root nodulation in groundnut. *J. Oilseeds Res.* 7:140-142.
18. Martins, L.M.V., M.G.P. Neves and N.G. Rumjanek. 1997. Growth characteristics and symbiotic efficiency of rhizobia isolated from cowpea nodules of the north-east region of Brazil. *Soil Biol. Biochem.* 29:1005-1010.
19. Martin, R.C., T. Astatkie and J.M. Cooper. 1998. The effect of *Bradyrhizobium* strains on monocropped and intercropped soybean *Glycine max* (L.) Merr. biomass and protein. *J. Agron. Crop Sci.* 181:1-6.
20. Mayz, J. 1998. Influencia del pH sobre el crecimiento y el desarrollo nodular de frijol *Vigna unguiculata* (L.) Walp. *Oriente Agrop.* 23:24-29.
21. Mayz, J. 1998. Efecto de niveles de aluminio sobre el desarrollo simbiótico de *Vigna unguiculata* (L.) Walp. *Oriente Agrop.* 23:68-78.
22. Mayz, J. 1999. Relación del pH con la toxicidad de aluminio y sus efectos sobre el crecimiento y la nodulación de frijol *Vigna unguiculata* (L.) Walp. *Oriente Agrop.* 24:1-6.
23. Mhamdi, R., M. Jebara, M.E. Aouani, R. Ghrir and M. Mars. 1999. Genotypic diversity and symbiotic effectiveness of rhizobia isolated from root nodules of *Phaseolus vulgaris* grown in Tunisian soils. *Biol. Fert.* 28:313-320.
24. Mukherjee, S.K and S. Asanuma. 1998. Possible role of cellular phosphate pool and subsequent accumulation of inorganic phosphate on the aluminum tolerance in *Bradyrhizobium japonicum*. *Soil Biol. Biochem.* 30:1511-1516.
25. Palmaven, S.A. 1986. Análisis de suelo y su interpretación. Serie B. *Información Técnica.* 13p.
26. Prabakaran, J. and K. Sivasubramanian. 1991. Influence of composite *Rhizobium* seed inoculation on nodulation and yield of groundnut cultivar 'JL 24'. *Int. Arachis New.* No. 10, pp. 13-14.
27. Shantharan, S. and A. K. Mattoo. 1997. Enhancing biological nitrogen fixation: an appraisal of current and alternative technologies for N input into plants. *Plant Soil* 194:205-216.
28. Silva, D.M. and L. Sodek. 1997. Effect of aluminum on soybean nodulation and nodule activity in a split-root system. *J. Plant Nutr.* 20:963-974.
29. Smyth, T.J. and M. S. Cravo. 1992. Aluminum and calcium constraints to continuous crop production in a Brazilian Amazon Oxisol. *Agron. J.* 84:843-850.
30. Solaiman, A..M. and A.K.M. Habibullah. 1990. Responses of groundnut to *Rhizobium* inoculation in Bangladesh. *Bangladesh J. Soil Sci.* 21:42-46.
31. Sprent, J.I. 1994. Evolution and diversity in the legume-*Rhizobium* symbiosis: Chaos or theory?. *Plant Soil* 161:1-10.
32. Steel, R. y J. Torrie 1980. *Bioestadística. Principios y procedimientos.* McGraw Hill-Interamericana de México, México 622 p.

33. Taurian, T., S. Castro and A. Fabra. 1998. Physiological response of two peanut rhizobia strains to acid pH. *Symbiosis* 24:327-336.
34. Yousef, A.N., A.S. Al-Nassiri, S.K. Al-Azawi and N. Abdul-Hussain. 1987. Abundance of peanut *Rhizobium* as affected by environmental conditions in Iraq. *Soil Biol. Biochem.* 19:391-396.
35. Vance, C.P. and P. H. Graham. 1995. Nitrogen fixation in agriculture, applications and perspectives. *In* Nitrogen fixation, fundamentals and applications. H.A., Tikbonovich *et al.* (eds.). Kluwer Publ., Dordrecht, The Netherlands. pp. 77-86.
36. Voigt, P.W., H.W. Godwin, and D.R. Morris. 1999. Effect of four acid soils on root growth of white clover seedlings using a soil-on-agar procedure. *Plant Soil* 205:51-56.