

## NOTA TÉCNICA

EVALUACIÓN DE LA TOLERANCIA AL DÉFICIT DE FÓSFORO EN CAUPÍ (*Vigna unguiculata* L. WALP) EN CUBA. II. CULTIVO EN SUELO<sup>1</sup>

Luis A. Gómez Jorrín<sup>2</sup>, Angélica Martínez Cruz<sup>3</sup>, Tamara Sanchez García<sup>2</sup>, Graciela Dueñas Vegas<sup>2</sup>

## RESUMEN

**Evaluación de la tolerancia al déficit de fósforo en caupí (*Vigna unguiculata* L. Walp) en Cuba. II. Cultivo en suelo.** Se evaluó la tolerancia al déficit de P de ocho variedades comerciales en Cuba. Se emplearon macetas con suelo a varias dosis de P. Los resultados mostraron (empleando la metodología de Cate y Nelson 1971) que los niveles crítico para máxima acumulación de N foliar fueron de 10 ó 60 mg de P/kg de suelo, si se emplean las técnicas de Bray 1 u Onianí respectivamente para la determinación de los niveles de P disponibles. Los genotipos mostraron diferencias en rendimiento relativo, respuesta y consumo de P para acumular N foliar; así como en capacidad para producir raíces y en la actividad de las raíces para extirpar P de la solución de suelo, independientemente del hábito de crecimiento. Las diferencias en N acumulado a baja disponibilidad de P entre los diversos cultivares se debieron más a variaciones en eficiencia del uso del P que, a cambios en la habilidad para extraer el elemento de la solución de suelo. Habana 82 y California Blackeyes V respectivamente fueron las variedades más promisorias a la deficiencia de fósforo.

**Palabras claves:** caupí, genotipo, respuesta a fertilización fosfórica, raíces, eficiencia de uso.

## ABSTRACT

**Evaluation of tolerance to phosphorus stress in cowpea (*Vigna unguiculata* L. Walp) in Cuba. II. Soil culture.** This work evaluated the tolerance to P stress of eight genotypes of cowpea widely grown in Cuba, cultivating the plants in pots with soils subjected to several levels of available P. The results showed that employing the methodology of Cate and Nelson (1971), critical levels for maximal accumulation of N in the foliage were from 10 to 60 mg of P / kg of soil. The genotypes exhibited differences in yield potential, relative yield, response and consumption of P in order to accumulate N in the foliage, as well as in their capacity to produce roots and in the activity of the roots to extract P independently of the growth habit studied. The difference in N accumulated under low P between the diverse cultivars was due to variations in P use efficiency rather than to their ability to extract the element from the soil solution. Habana 82 and California Blackeyes V were the most promissory varieties for tolerance to P deficiency.

**Key words:** cowpea, genotype, phosphorus fertilization response, roots, P use efficiency.



## INTRODUCCIÓN

El caupí es una leguminosa de grano más tolerante a la deficiencia de fósforo (P) en comparación con la soya y el frijol común (Cassman *et al.* 1981; Gómez *et*

*al.* 2002). En este último trabajo mencionado la mayor tolerancia de la especie, así como las variaciones entre los genotipos de la especie se relacionaron a tres caracteres principales: a) mayor eficiencia en el uso del fósforo para acumular cada unidad de nitrógeno, b) mayor

<sup>1</sup> Recibido: 5 de noviembre, 2003. Aceptado: 15 de febrero, 2004. Los datos forman parte de la tesis de doctorado del autor principal. Investigación financiada parcialmente por el proyecto Franco - Cubano PPR.

<sup>2</sup> Estación Experimental "La Renee". Instituto de Suelos. MINAG. Carretera de Bejucal Quivicán, km 33<sup>1</sup>/<sub>2</sub>, Quivicán. Habana. Cuba. E-mail: larenee@ceniai.inf.cu

<sup>3</sup> Departamento de Agrobiología. Instituto de Suelos. MINAG. Autopista Costa - Costa y Antigua Carretera de Vento. Boyeros, Ciudad de La Habana. E-mail: larenee@ceniai.inf.cu.

actividad nodular específica y c) diferencias en distribución del P total acumulado entre la parte aérea y las raíces noduladas. Sin embargo, este estudio (Gómez *et al.* 2002) se realizó con las plantas en solución nutritiva libre de N donde las plantas debieron crecer a espensas del N<sub>2</sub> que fueron capaces de fijar del aire y por lo tanto los resultados podrían ser diferentes, a si éstas se cultivan en suelo (Crafts - Brandner 1992), probablemente porque, las leguminosas inoculadas con *Rhizobium* y cultivadas en este medio de cultivo obtienen nitrógeno para crecer de tres fuentes diferentes (suelo, fertilizante y aire); pero además porque la mayor parte del P necesario para óptimo crecimiento no está totalmente disponible para las plantas.

En investigaciones llevadas a cabo en plantas de caupí cultivadas en suelo, se reportaron que las diferencias en tolerancia a la deficiencia de P, entre los diferentes genotipos evaluados se debieron a variaciones en la habilidad para extraer P del suelo (Akomah *et al.* 1995) o en la eficiencia de uso del P para acumular cada unidad de N (Amara y Sualé 1996), mostrando que existen diferencia en los resultados que se pueden alcanzar durante el estudio de diferentes viveros de la especie.

En Cuba, el cultivo del caupí goza de gran popularidad y la mayor parte del grano que se siembra en el país se inocula con cepas específicas para cada localidad (Hernández *et al.* 1994), pero a pesar de que se reconoce la importancia del nutriente fósforo para la eficiencia de la simbiosis Leguminosa - *Rhizobium* (Drevon 1995), no se han llevado a cabo estudios detallados sobre el tema.

El presente trabajo tiene como objetivo comparar la tolerancia a la deficiencia de P de ocho genotipos de caupí de amplio uso agrícola en el país, evaluando la respuesta a dosis crecientes del nutriente y la habilidad para extraer y utilizar las cantidades totales del elemento acumuladas por plantas cultivadas en suelo bajo condiciones controladas.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Cultivo de plantas en Casa de Cristal. Metodología general de trabajo

Para llevar a cabo las investigaciones las macetas fueron llenadas con suelo Ferralítico Rojo Típico (Oxisol) (Hernández *et al.* 1995), colectado de la capa arable (0 – 20 cm) en áreas de investigación de la Escuela Politécnica Agropecuaria “Rubén Martínez Villena” ubicada en Boyeros Ciudad de La Habana. Este suelo

posee las siguientes características químicas: pH en H<sub>2</sub>O (6,7); pH en KCl (6,2); % Materia orgánica (2,5) contenido de P y K, 23,98 y 166,04 mg/kg (0,43 cmol(+)/kg) de suelo respectivamente por (técnica de Oniani) contenido de P, 3,85 mg/kg de suelo (técnica de Bray 1); contenidos de Na; K; Ca y Mg de (1,6; 4,5; 98,6 y 6,7) cmol/kg de suelo.

El suelo se mezcló con los nutrientes durante el llenado de las macetas, lo cual se realizó 21 días antes de la siembra de las semillas. Las macetas se fertilizaron con 15 mg de N y 60 mg de K / kg de suelo en forma de Urea y KCL, respectivamente, éstas además recibieron diferentes niveles de P en forma de superfosfato sencillo (descrito en cada ensayo en particular). Las macetas se regaron durante todo el tiempo con agua corriente para mantener la humedad del suelo al 60 % de la capacidad de campo, con vistas a favorecer que los nutrientes alcanzaran un adecuado equilibrio en el suelo.

Un total de seis semillas de ocho genotipos de caupí (*Vigna unguiculata* L. Walp) correspondiente a: Habana 82; Viñales 144A; Caupí Empresa de Semilla; P 903; Cancarro Holguín; California Blackeyes V; INIFAT 93 e INIFAT 94, fueron sembradas en macetas de 2,5 kg de capacidad. Las inoculaciones de los granos se realizaron goteando 0,5 ml del inoculante mixto (Gómez *et al.* 2002) sobre cada grano durante la siembra. Después de germinadas las semillas se dejaron solo tres plantas por maceta.

Las plantas se cultivaron en la casa de cristal de la Estación Experimental “La Renée”, lugar en el que la temperatura y la humedad relativa media entre los meses de abril y agosto de los años 1994 y 1995 fueron de 27,2 °C y 82 % respectivamente.

#### Ensayo 1 en macetas (M1) (mayo - julio, 1994).

El ensayo se programó con el objetivo de caracterizar la respuesta a la fertilización fosfórica y se combinó con el ensayo M2. Las plantas se fertilizaron con cinco niveles de P (0; 50; 100; 150 y 200 mg de P / kg de suelo). El esquema experimental quedó conformado por un factorial de ocho genotipos x cinco niveles de P organizados en bloques al azar con cuatro repeticiones, las plantas se cortaron a los 35 días de edad y se colectó solo el sistema aéreo.

#### Ensayo 2 en macetas (M2) (julio - agosto, 1994).

El ensayo se programó con el objetivo de caracterizar la respuesta a la fertilización fosfórica y se combinó con el ensayo M1. Las plantas se fertilizaron también con cinco niveles de P: 0; 35; 70; 105 y 140 mg de P / kg de

suelo. El esquema experimental y el muestreo en este ensayo fue similar al ensayo M1.

**Ensayo tres en macetas (M3) (julio - agosto, 1995).** El ensayo se llevó a cabo con el objetivo de evaluar la habilidad de las plantas de los ocho genotipos para extraer el fósforo de la solución de suelo y la eficiencia en la utilización del P extraído para acumular cada unidad de N foliar. En este caso las plantas se fertilizaron con solo dos niveles de P diferentes: 0 y 100 mg de P / kg de suelo. El esquema experimental quedo conformado por un factorial de 8 genotipos x 2 niveles de P organizados en bloques al azar con cuatro réplicas. Las plantas se cortaron a los 45 días de edad y se colectó además el sistema aéreo, las raíces y los nódulos.

#### **Análisis de las plantas, cálculo de los diferentes variables y procesamientos estadísticos**

Para el análisis de los suelos se emplearon las técnicas descritas en el Cuadro 1. Los diferentes órganos de las plantas se secaron a 70 °C en horno eléctrico hasta peso constante y posteriormente fueron analizados químicamente para hallar % N y P empleando los métodos de Kjeldhal, y Murphy y Riley (1962) respectivamente. El cálculo de la eficiencia de uso al P relacionada nitrógeno (EUPN) se realizó empleando la fórmula siguiente:  $EUPN = \text{mg de N acumulado} / \% \text{ de P}$  (Vadez *et al.* 1999).

Para calcular los niveles críticos de P disponibles

**Cuadro 1.** Métodos empleados para el análisis del suelo.

Característica analizada	Método/solución extractiva	Determinación
pH	Agua y KCl (relación suelo solución, 1: 2.5)	Potenciometría
Materia orgánica (%)	Walkley y Black. Ácido Sulfúrico, Dicromato de Potasio 1N	Valoración
Fósforo Asimilable	1. Oniani ( $H_2SO_4$ 0.1 N). 2. Bray y Kurts 1 ( $NH_4F$ 0,03N + HCl 0,025 N)	colorimetría
CCB y CCC	Acetato de amonio 1N (pH 7)	Fotometría y adsorción atómica
Textura	Análisis mecánico	Método de la pipeta de Robinson

necesario para máxima acumulación de N foliar se empleó el método de Cate y Nelson (1971) y para evaluar la respuesta a la fertilización fosfórica el método de Cate y Nelson (1965), calculando los diferentes parámetros de la manera que se relaciona a continuación:

- **Rendimiento a 0.** Valor del tratamiento sin fertilización fosfórica.
- **Potencial de rendimiento.** Máximo valor de Y alcanzado con dosis óptima de P (representado por la meseta).
- **Dosis óptima.** Menor valor de X con que se alcanza el potencial de rendimiento.
- **Tasa de incremento.** Unidades de rendimiento por unidad de P fertilizado.
- **Incremento neto.** Es la magnitud del incremento provocado por la fertilización fosfórica, surge del cociente entre el potencial y el rendimiento en el tratamiento no fertilizado con P.
- **Índice de consumo.** Expresa las unidades de P necesarias para incrementar una unidad del rendimiento.

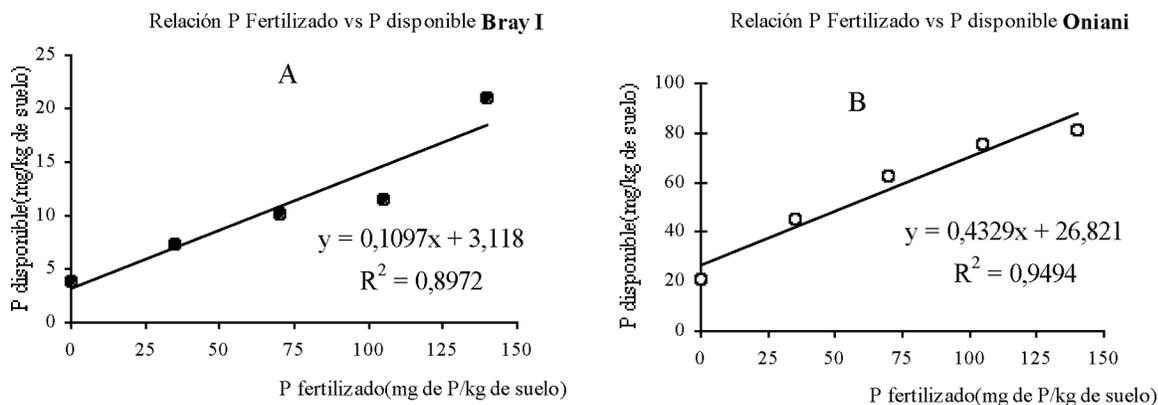
Para el procesamiento estadístico de los datos se empleó análisis de varianza para genotipos, dosis de fertilización fosfórica e interacción entre factores y en caso positivo se aplicó la prueba de rango múltiple de DUNCAN con base en el software MSTATC version 1.42.

## **RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

El incremento de las dosis de P aplicadas al suelo elevó el nivel de disponibilidad de P para las plantas (Figura 1) (técnicas Bray 1 y Onianí). Cada mg de P x kg de suelo aplicado a las macetas elevó la disponibilidad del nutriente en 0,109 y 0,432 mg/kg cuando se utilizaron las técnicas de Bray 1 y Onianí respectivamente, mostrando que en el primer caso se alcanzaron niveles del elemento entre tres y cuatro veces inferiores a los encontrados con la técnica de Onianí resultados que están en correspondencia con lo reportado para este tipo de suelo por otros autores (Matos 1986; García *et al.* 1998; Rodríguez 2000).

La inclusión de ambas técnicas durante las investigaciones se debió a que aun cuando la técnica de Bray 1 es más adecuada para definir niveles críticos de P para los diferentes cultivos, debido a su reproducibilidad en los diferentes tipos de suelo (Matos 1986), la técnica de Onianí es todavía de amplio uso por el servicio agroquímico en Cuba.

Al relacionar la disponibilidad de P y los rendimientos relativos a máxima acumulación, en la parte aérea



**Figura 1.** Relación entre las cantidades de P fertilizadas y las cantidades de P disponibles en la solución de suelo.(A) Método de Bray 1 y (B) Método de Oniani. Ensayo M2. Evaluación de genotipos de caupí en maceta. La Habana, Cuba, 1994.

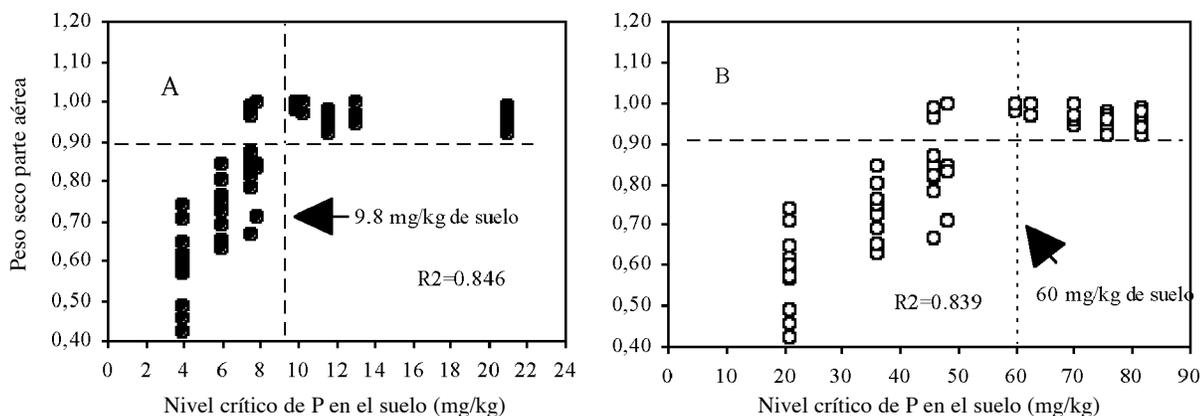
(Figura 2). Con base en la técnica de Bray 1, el nivel crítico en este suelo para este cultivo fue de 10 mg/kg de suelo, mientras que por la técnica de Oniani fue de 60 mg/kg de suelo, aspecto que debe ser considerado en estudios posteriores.

Kang y Nangju en 1983 con esta metodología de trabajo y empleando la técnica de Bray 1 encontraron niveles críticos de 7 mg de P/kg de suelo para el cultivo del caupí en suelos de Africa, valor inferior al reportado en este trabajo. Las diferencias en los resultados pudieron deberse a dos razones fundamentales: a) diferencias en el material vegetal empleado para realizar el estudio y b) el estudio realizado por los investigadores a que nos referimos se llevó a cabo en condiciones de campo, lo que le permitió a estos autores hacer el muestreo en una época más avanzada de desarrollo del cultivo, detalles que deben ser considerados de acuerdo con

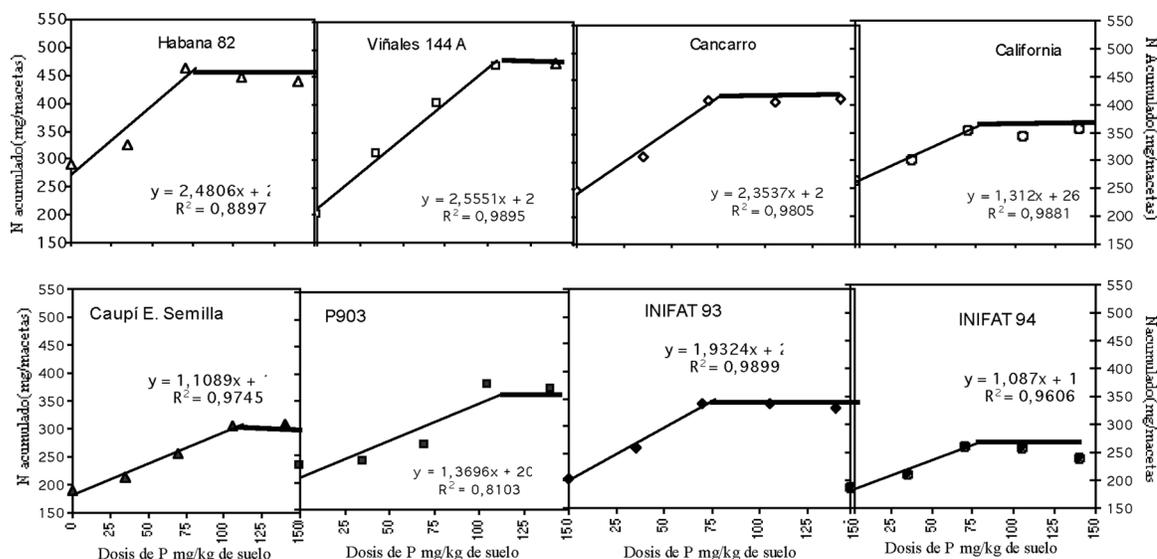
resultados de investigaciones anteriores (Gumbs *et al.* 1982, Reddy y Soxena 1983).

El empleo del método de Cate y Nelson de 1965 para evaluar las respuestas a la fertilización fósforica de las plantas de los ocho genotipos de caupí estudiados (Figura 3, Cuadro 2), existieron diferencias entre los cultivares en cuanto a: rendimiento en suelo no fertilizado con P (control), potencial para acumular N foliar, tasa e incremento neto por fertilización fosfórica, así como en consumo de P para acumular una unidad de N, aspecto de gran importancia agronómica.

Entre los cultivares de hábito de crecimiento indeterminado (Habana 82, Viñales 144 A, Caupí E. Semilla, P 903 y Cancarro Holguín) Habana 82 fue el de mejor comportamiento, pues exhibió un alto rendimiento relativo, potencial y la más baja tasa de consumo de



**Figura 2.** Niveles críticos de P en el suelo para ocho genotipos de caupí cultivados en macetas. Los niveles se calcularon empleando método de Cate y Nelson, 1971. En las figuras A y B se representan los resultados del empleo de las técnicas de Bray 1 y Oniani respectivamente. Eje de las Y representa rendimiento relativo a máxima acumulación de N en el sistema aéreo y el eje de las X disponibilidad de P en mg kg. de suelo<sup>-1</sup>. Los resultados corresponden a los ensayos M1 y M2.La Habana, Cuba, 1994.



**Figura 3.** Respuesta a la fertilización fosfórica en el N acumulado en el sistema aéreo (mg/macetas) de plantas de ocho genotipos de caupí calculada empleando el método de Cate y Nelson, 1965. Los resultados corresponden al ensayo M2. La Habana, Cuba, 1994.

fertilizante fosfórico para acumular una unidad de N foliar (Figura 3, Cuadro 2). En cambio entre los determinados (California Blackeyes, INIFAT 93 e INIFAT 94) California fue en este caso el de comportamiento más positivo, en relación con las variables estudiadas (Figura 3, Cuadro 2), resultado que muestra que existieron diferencias en respuesta a la fertilización fosfórica entre los genotipos de uso agrícola en el país.

En estudios llevados a cabo con diferentes genotipos de caupí de origen brasileño Oliveira *et al.* (1982 citado por Marsh 1990), encontraron también diferencias en respuesta a la fertilización fosfórica entre los

mismos y los autores propusieron que los de mayor respuesta fueron los adecuados para el cultivo en condiciones de baja disponibilidad de P. De acuerdo a esta propuesta Habana 82 y California Blackeyes V serían materiales promisorios entre los cultivares indeterminados y determinados estudiados respectivamente para este tipo de condición.

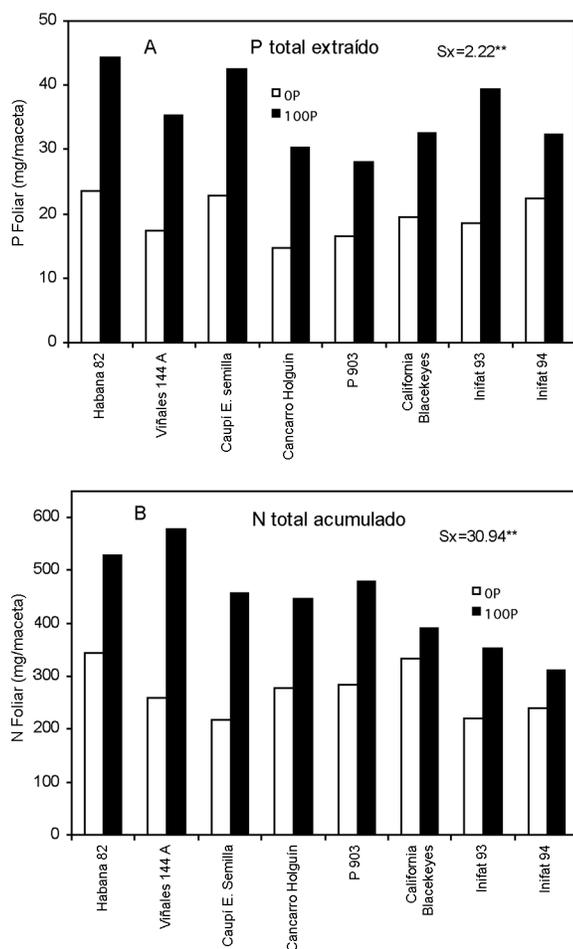
El incremento de las dosis aplicadas de 0 a 100 mg de P/kg de suelo a las macetas, elevó significativamente la extracción de P por las plantas de los ocho genotipos estudiados en el ensayo M3 (Figura 4 A). Cuando las plantas se cultivaron en suelo no fertilizado con P, los

**Cuadro 2.** Variables calculadas a partir de las ecuaciones de ajustes (Método de Cate y Nelson, 1965, Figura 3).

Genotipo	Rend a 0P (mg de N macetas <sup>-1</sup> )	Potencial (mg de N macetas <sup>-1</sup> )	Dosis óptima (mg de P ferti- zado kg de suelo <sup>-1</sup> )	Tasa de increm (mg de N mg de P fertilizado <sup>-1</sup> )	Incremento (mg de N de macetas <sup>-1</sup> )	Consumo (mg de P mg de N acumulado <sup>-1</sup> )
Habana 82	272,6	446,3	70	2,48	173,3	0,156
Viñales 144A	212,2	480,6	105	2,55	268,4	0,218
Caupí E. Semilla	182,6	299,1	105	1,1	116,5	0,351
P 903	208,2	352,1	105	1,36	143,9	0,298
Cancarro	240,8	405,6	70	2,35	164,8	0,172
California	260,1	352	70	1,31	91,9	0,198
INIFAT 93	200,4	335,8	70	1,93	135,4	0,208
INIFAT 94	181,3	257,3	70	1,08	76	0,272

Nota: Rend a 0P y Tasa de increm significan rendimiento en suelo no fertilizado con P mineral y tasa de incremento respectivamente.

genotipos Habana 82 e INIFAT 94 indeterminado y determinado respectivamente extrajeron significativamente más P que el resto de similar hábito de crecimiento (Figura 4 A). Al fertilizar con 100 mg de P se encontró que Habana 82 fue también el de mejor comportamiento entre indeterminados, mientras que las plantas de INIFAT 93 fueron las que más P extrajeron entre los determinados (Figura 4 A). Este aumento en las cantidades de P extraídas del suelo por fertilización fosfórica estuvo asociada a los incrementos de N foliar observadas en las plantas de los ocho genotipos (Figura 4 B).



**Figura 4.** (A) P total extraído por las plantas de la solución de suelo (mg/macetas) y (B) N total acumulado (mg/macetas) en plantas de ocho genotipos de caupí cultivadas en macetas a dos niveles de P (0 y 100 mg de P/kg de suelo). Ensayo M3. La Habana, Cuba, 1995.

Con base en la capacidad para producir raíces y de la actividad de las raíces para extraer P de la solución de suelo (Figura 5), el cultivar indeterminado Habana 82 fue el de mayor producción de raíces a bajo suministro de P (Figura 5 A), debido a su adecuado equi-

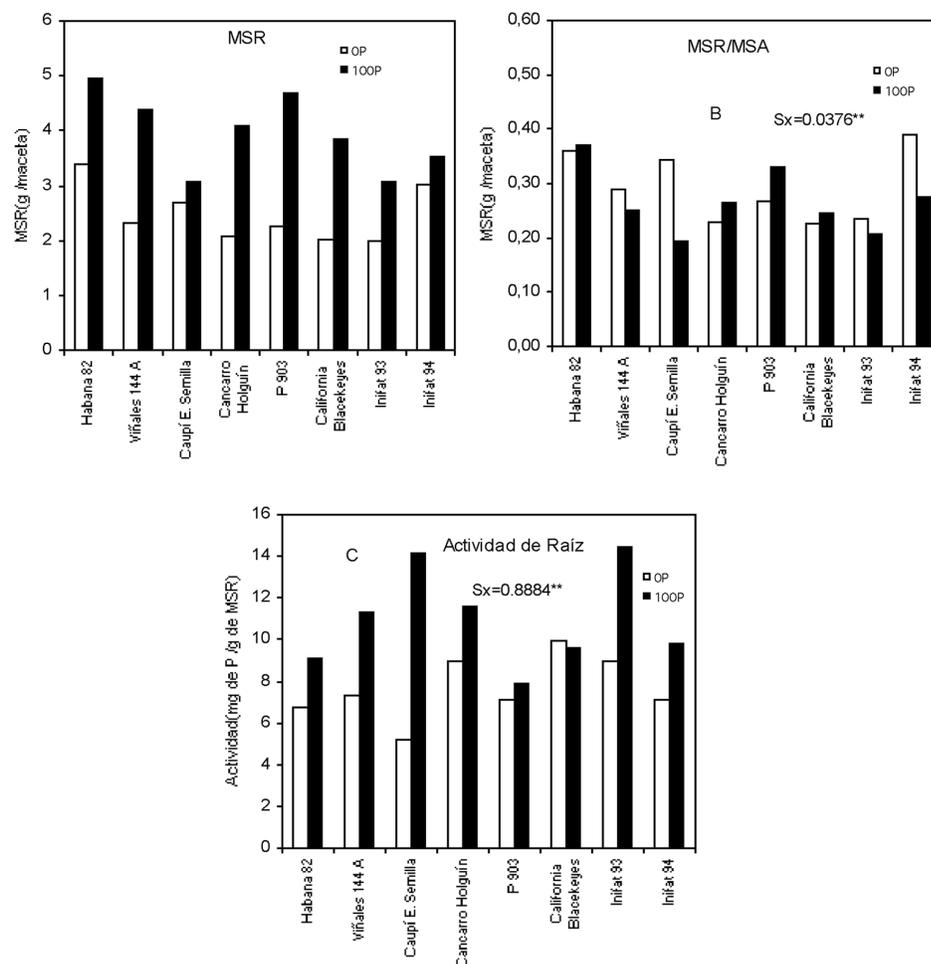
librio entre las producciones de unidades de masa seca aérea (MSA) y masa seca radical (MSR) (Figura 5 B). Entre los genotipos determinados INIFAT 94 fue el de más alta producción de MSR a bajo y alto P (Figura 5 A), debido a su habilidad para incrementar el crecimiento radical en detrimento de las unidades de MSA (Figura 5 B). Contrariamente las plantas de Cancarro Holguín y California Blackeyes V, genotipos indeterminado y determinado respectivamente, de más baja producción de MSR (Figura 5 A), fueron los que mostraron las más altas actividades de raíces para incorporar P de la solución de suelo (Figura 5 C).

La fertilización con P también incrementó la eficiencia de uso del elemento para acumular N en el sistema aéreo (Figura 6). La comparación entre genotipos indeterminados mostró que, cuando no se fertilizaron las plantas con P mineral las de P 903 y Cancarro Holguín fueron las más eficientes, en cambio las de Viñales 144 A resultaron ser las más eficientes en suelo fertilizado con 100 mg de P / kg de suelo (Figura 6). Entre los de hábito de crecimiento determinado California Blackeyes V fue el genotipo de más alta eficiencia a los dos niveles de P estudiado en el ensayo M3 (Figura 6).

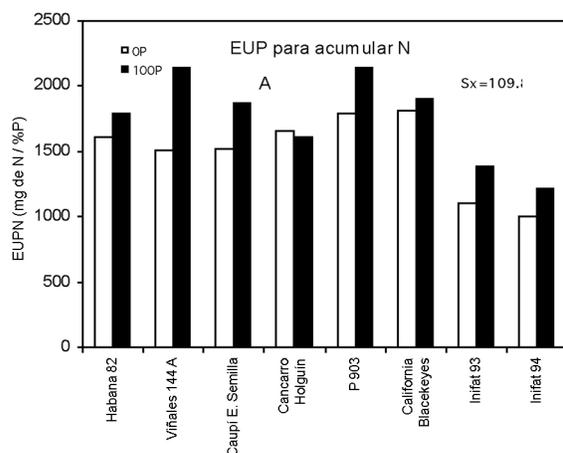
Durante el estudio de este fenómeno se empleó el esquema de cuadro de doble entrada (Cuadro 3 y 4) para realizar el análisis de las correlaciones lineales (R) entre las diferentes variables estudiadas. Cuando se cultivaron las plantas sin fertilización fosfórica la habilidad para extraer P del suelo dependió más de la capacidad de los genotipos para producir raíces que de la actividad de las raíces para la extracción del P (Cuadro 3), fenómeno que resultó contrario al alto suministro de P (Cuadro 4), lo que muestra que al menos en los cultivos estudiados la capacidad para explorar un mayor volumen de suelo es más importante cuando el P es limitante; pero la actividad de raíces lo es cuando hay de P disponible.

La correlación negativa entre producción de unidades de raíces y la actividad radical tanto a bajo como a alto suministro de P (Cuadro 3 y 4), indica que unos genotipos emplearon como estrategia para extraer P del suelo alta producción de MSR, otros utilizaron una elevada actividad de raíces, resultado similar al reportado por Föhse *et al.* (1988) y (1991), al estudiar diferentes especies de plantas.

Las diferencias en el N total acumulado entre los ocho genotipos estudiados a los dos niveles de P suministrados a las plantas en el ensayo M3, estuvieron más asociadas a diferencias en eficiencia de uso del P que a capacidad para extraer P de la solución de suelo (Cuadro 3 y 4), resultado que concuerda con lo reportado para la especie por Amara y Sualé (1996).



**Figura 5.** (A) Producción de masa seca radical (MSR), (B) Relación entre unidades de masa seca aérea y radical (MSR/MSA) y (C) Actividad de las raíces para extraer P de la solución de suelo en plantas de ocho genotipos de caupí cultivadas en macetas a dos niveles de P (0 y 100 mg de P / kg de suelo). Ensayo M3. La Habana, Cuba, 1995.



**Figura 6.** Eficiencia de uso al P para acumular N en el sistema aéreo (EUPN) de plantas de ocho genotipos de caupí cultivadas en macetas a dos niveles de P (0 y 100 mg de P kg. de suelo<sup>-1</sup>). Ensayo M3. La Habana, Cuba, 1995.

El mejor genotipo para condiciones de baja disponibilidad de P, será el que muestre tanto elevada capacidad para extraer P de la solución de suelo, como una alta eficiencia de uso del P para acumular N, lo que le permitirá con pequeñas dosis de P alcanzar altos rendimientos, tal como ocurrió con el genotipo indeterminado Habana 82 y al genotipo determinado California Blackeyes V.

Existieron diferencias en la tolerancia al estrés de P entre los principales genotipos de uso agrícola en Cuba cuando son cultivados en suelo y que estas diferencias estuvieron más asociadas a variaciones en la eficiencia de uso del elemento para acumular N que a la capacidad para extraer P de la solución del suelo, resultados que concuerda con reportes anteriores (Gómez *et al.* 2000 y 2002) en el que las plantas se cultivaron en solución nutritiva. En estos reportes también se reconoció que los genotipos Habana 82 y California Blackeyes V fueron

**Cuadro 3.** Matriz de correlación entre ocho variables medidas en plantas de ocho genotipos de caupí cultivadas en suelo con bajo contenido de P y sin fertilización fosfórica. La Habana, Cuba, 1994.

Parámetros	N total	MSA	MSR	MSR/MSA	Act de Raíz	EUPn	EUPm
P total	<b>N.S</b>	N.S	0,80**	0,795**	-0,54*	-0,31*	-0,32*
N total		0,80**	N.S	N.S	0,32	<b>0,67*</b>	0,21 N.S
MSA			N.S	-0,38	0,49*	0,50*	0,21 N.S
MSR				0,92***	-0,65**	-0,22	-0,33*
MSR/MSA					-0,778**	-0,40*	-0,40*
Act de Raíz						N.S	N.S
EUPn							0,84**

Nota: MSA, MSR; MSR/MSA; Act de Raíz y EUPn significan masa seca aérea, radical y relación entre las unidades producidas entre estos dos órganos, actividad de raíz para extraer P del suelo y eficiencia de uso al P para acumular cada unidad de N respectivamente. \*, \*\* y \*\*\* significación a  $p < 0,05$ ,  $0,01$  y  $0,001$  respectivamente.

**Cuadro 4.** Matriz de correlación entre ocho variables medidas en plantas de ocho genotipos de caupí cultivadas en suelo con bajo contenido de P ( $3,8 \text{ mg kg de suelo}^{-1}$ ) fertilizadas con  $100 \text{ mg kg de suelo}^{-1}$ . La Habana, Cuba, 1994.

Parámetros	N total	MSA	MSR	MSR/MSA	Act de Raíz	EUPn	EUPm
P total	<b>N.S</b>	N.S	N.S	N.S	0,48*	N.S	-0,42*
N total		0,47*	0,68*	0,37*	N.S	<b>0,80***</b>	N.S
MSA			N.S	-0,55**	0,42*	0,57*	0,58*
MSR				0,88**	-0,78**	0,54*	N.S
MSR/MSA					-0,83**	N.S	-0,38*
Act de Raíz						-0,30*	N.S
EUPn							0,54*

Nota: MSA, MSR; MSR/MSA; Act de Raíz y EUPn significan masa seca aérea, radical y relación entre las unidades producidas entre estos dos órganos, actividad de raíz para extraer P del suelo y eficiencia de uso al P para acumular cada unidad de N respectivamente.

\*, \*\* y \*\*\* significación a  $p < 0,05$ ,  $0,01$  y  $0,001$  respectivamente.

los de mejores comportamiento, mostrando que a pesar de las diferencias entre los dos medios de cultivos (solución nutritiva y suelo), los resultados pueden ser comparables, aspecto que debe ser considerado durante la identificación de genotipos con alta capacidad para fijar  $\text{N}_2$  del aire a baja disponibilidad de P.

## LITERATURA CITADA

AKOMAH, A.B; ZAPATA, F; DANSON, S.K.A; AX-MANN, H. 1995. Cowpea varietal differences in upta-

ke phosphorus from Gafsa phosphate rock in low P Ultisol. *Fertilizer Research*. 41: 219 - 225.

AMARA, D.S; SUALÉ, D.S. 1996. Genotypic difference in yield formation, phosphorus utilization and nitrogen fixation by cowpeas in Sierra Leone. *In: Isotope studies on plant productivity. Results of coordinated research programme organized by the Soil Fertility, Irrigation and Crop Production Section, Joint FAO/IAEA Division of Nuclear Technique in Food and Agriculture. FAO/IAEA. IAEA - TECDOC - 889. Printed by the IAEA in Austria., pp 39 - 52.*

- CASSMAN, K.G; WHITNEY, A.S.; FOX, R.L. 1981. Phosphorus requirement of soybean and cowpea as affected by mode of nutrition. *Agronomy Journal*. 73:17-23.
- CATE, R.B.; NELSON, L.A. 1965. A rapid for correlation of soil test analyses plant response. North Caroline University. Technical Bulletin. 7: 53- 61.
- CATE, R.B.; NELSON, L.A. 1971. A simple statistical procedure for partitioning soil test correlation data into two classes. *Soil Science Society of American Proceeding*. 35: 658 - 659.
- CRAFTS - BRANDNER, S.J. 1992. Phosphorus nutrition influence on starch and sucrose accumulation and activities of ADP - Glucose pyrophosphorylase and sucrose - phosphate synthase during the grain filling period in soybean. *Plant Physiology* 98: 1133- 1138.
- DREVON, J.J. 1995. Phosphore et fixation de l'azote atmosphérique par les symbioses legumineuse - *Rhizobium*. Reporte de la Mision a Cuba. 28 p.
- FÖHSE, D; CLAANSEN, N.; JUNK, A. 1988. Phosphorus efficiency of plant. I external and internal P requirement and P uptake efficiency of different plant species. *Plant and Soil* 110: 101 -109.
- FÖHSE, D; CLAANSEN, N.; JUNK, A. 1991. Phosphorus efficiency of plant. II significance of root radius, root hairs and cation - anion balance for phosphorus influx in seven plant species. *Plant and Soil*. 132: 261 - 272.
- GARCÍA, A; NUVIOLA, A.; HERNANDEZ, G.; ALVAREZ, C. 1998. Algunos resultados de evaluaciones de roca fosfórica natural y modificada. Resultados en Cuba utilizando técnicas nucleares. *In: E. Casanova (ed.)*. Manejo eficiente de los fertilizantes fosfatados con énfasis en rocas fosfóricas de aplicación directa. ARCAL, IAEA, FAO. pp 51- 63.
- GÓMEZ, L.A; DUEÑAS, G.; SÁNCHEZ, T. 2000. Fijación de N<sub>2</sub> en caupí y frijol común sometidos a estrés de fósforo (P). *In: J, J Peñas Cabriales (ed.)*. La fijación biológica del nitrógeno en América Latina: El aporte de las técnicas isotópicas. IMPROSA, S.A de C.V, Irapuato México, pp. 77 - 88.
- GÓMEZ, L.A; VADEZ, V.; HERNANDEZ, G.; SÁNCHEZ, T.; TOSCANO, V.; SÁNCHEZ, M. 2002. Evaluación de la tolerancia al estrés de fósforo en caupí (*Vigna unguiculata L. Walp*) en Cuba. I. Cultivo en solución nutritiva. *Agronomía Mesoamericana* 13 (1): 59 - 65.
- GUMBS, F.A; LINSAY, J.I.; OSEI - YEBOAH, S. 1982. The variation of N, P, K of cowpea *Vigna unguiculata (L.) Walp* leaves with tillage, plant maturity and flooding on a clay soil. *Plant and Soil* 66: 51 - 56.
- HERNÁNDEZ, G; TOSCANO, V.; VÁZQUEZ, H.; GÓMEZ, L.A.; MÉNDEZ, N.; M, SÁNCHEZ; MOSQUERA, M. 1994. Uso y manejo de inoculantes a base de *Rhizobium* en Vignas. *In: INCA (ed.)*. IX Seminario Científico del INCA. BIOFERTRO '94. 1<sup>er</sup> Simposio sobre agricultura sostenible. INCA. San José, La Habana. Cuba. Cultivos Tropicales 15: 73.
- HERNÁNDEZ, A., PEREZ, J.M., BOCH, D. 1995. Nueva versión de la clasificación genética de los suelos de Cuba. Instituto de Suelos. MINAGRI. 45 p.
- KANG, B. J.; NANGJU, D. 1983. Phosphorus response of cowpea (*Vigna unguiculata L. walp*). *Tropical Grain Legume Bulletin* 27:11 -16.
- MARSH, D.B.1990. Mineral nutrition of cowpea: macronutrients. *In: Miller, J.C.; J.P. Miller y R.L., Fery. (eds.)*. Cowpea Research A U.S. Perspective. Proceeding of the Second Southermpea (Cowpea) Workshop, p. 57 - 65.
- MATOS, M.A. 1986. Estudio de diferentes métodos de determinación de fósforo disponible y su utilidad para estimar los requerimientos de fertilizantes fosfóricos. Tesis para optar por el grado de doctor en Ciencias Agrícolas. Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas, San José de Las Lajas, La Habana, Cuba. 150 p.
- MURPHY, J.; RILEY, J.P. 1962. A modified single solution method for determination of phosphate in natural water. *Anales of Chemicals Acta*. 27:32-36.
- OLIVEIRA, I. P; KLUTHOROUSKI, J.; AIDAR, H. 1982. Effect of phosphorus levels, cultivars and plant population on *Vigna unguiculata* production. *Tropical Grain Legumes Bull*. 24: 15 - 19.
- REDDY, V. N; SAXENA, M.C. 1983. Studies on concentration and uptake of nitrogen , phosphorus and potassium at various growth stages of cowpea as affected season and genotypes. *Indian Journal Agronomy* 28: 1 - 6.
- RODRÍGUEZ, R.M. 2000. Fertilización con roca fosfórica parcialmente acidulada en suelos ferralíticos rojos compactados de PH neutral. Tesis presentada en opción al grado de doctor en Ciencias Agrícolas. INCA, San José de las Lajas. 150 p.
- VADEZ, V; LASSO, J.H.; BECK, D.P.; DREVON, J.J. 1999. Variability of N<sub>2</sub> fixation in common bean (*Phaseolus vulgaris L.* ) under deficiency is related to use efficiency. N<sub>2</sub> fixation tolerance to P deficiency. *Euphytica* 106: 231- 242.