

FIJACIÓN SIMBIÓTICA DEL N₂ EN DOS GENOTIPOS DE CAUPÍ DETERMINADOS CULTIVADOS EN SUELO FERRALÍTICO ROJO CON BAJA FERTILIDAD¹.

Luis A. Gómez²; Graciela Dueñas² y Angélica Martínez³.

¹ El presente trabajo formó parte de la tesis de Doctorado del autor principal. Investigación con Financiamiento parcial de la OIEA y el PPR en Cuba.

² Estación Experimental "La Renée". Instituto de Suelos. MINAG. Carretera de Bejucal Quivicán, Km. 33¹/₂, Quivicán. Habana. Cuba. E-mail: larenee@ceniai.inf.cu

³ 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

RESUMEN.

El caupí se cultiva en Cuba mayormente en asocio o en rotación con otros cultivos, existiendo dificultades para cosechar el grano por déficit en mano de obra, lo que ha obligado a los mejoradores a seleccionar cultivares más precoces y de maduración más uniforme con vista a mecanizar la cosecha. En el presente trabajo se compararon dos genotipos determinados (INIFAT 93 y Titán), introducidos en el país como resultado de este trabajo, los que se evaluaron en campo en un suelo Ferralítico Rojo con baja fertilidad, esta comparación incluyó los parámetros, producción de follaje y grano, niveles de N₂ fijado del aire en los diferentes órganos (calculados empleando método de dilución isotópica del ¹⁵N), balance de N después de la cosecha y una evaluación económica que consideró el rendimiento en grano y el N aportado al suelo. Los resultados permitieron comprobar que el genotipo Titán produjo significativamente más follaje y grano que el cultivar INFAT 93 debido a su mayor capacidad para fijar N₂ del aire. Como consecuencia de este fenómeno las parcelas cultivadas con Titán tuvieron un balance de N más positivo entre 9 y 37 Kg. ha⁻¹ en relación con la influencia que ejerció la aplicación de fertilizante fosforico sobre el proceso simbiótico. Por ello cuando se realizó el análisis económico el cultivo de Titán permitió alcanzar ganancias entre 1 197 y 2 375 pesos en MN superiores que cuando se sembró INIFAT 93, lo que sugiere proponer a los productores el cultivo de este genotipo no solo por su precocidad y maduración más uniforme, sino también por su alta capacidad para fijar N₂ del aire.

INTRODUCCIÓN.

El caupí (*Vigna unguiculata* L, Walp) es una leguminosa de grano de amplio uso agrícola en Cuba, la importancia económica de este cultivo para el país esta dada por dos razones fundamentales: a) constituye una fuente de proteína vegetal de consumo animal y humano y b) sus follajes se emplean con mucha frecuencia como abonos verdes (Chailloux *et al.*, 2003).

De acuerdo a datos recientes del Ministerio de la Agricultura, los promedios de siembra en los últimos años del cultivo del caupí fueron de casi 8 000 ha, de las cuales el 60 % se ubicaron en áreas de pequeños productores privados y el otro 40 % en área de grandes empresas estatales, las que mostraron promedios en rendimiento en granos de 0.93 t ha⁻¹ en el sector privado y 0.70 t ha⁻¹ en el estatal . La producción nacional anual media en estas campañas superó las 5 600 t de granos, lo que permitió generar una ganancia de cerca de 4 788 500 USD cada año por concepto de la venta del grano (MINAG, 2002).

Para el suministro de N al cultivo en estas áreas se recomienda inocular el grano con cepas de *Rhizobium* específicas (Hernández *et al.*, 1994), y aplicar 25 kg de N ha⁻¹ como dosis de "arranque". Esta recomendación permite ahorrar al país unas 1 300 t de urea en cada campaña, pues cuando no se inocula las áreas deben ser fertilizadas con 100 kg de N ha⁻¹ para garantizar altos rendimientos.

Debido al déficit de mano de obra que enfrenta la agricultura cubana y lo complicado que resulta la recolección de las vainas en los genotipos de hábito de crecimiento indeterminado y de maduración poco uniforme, desde el año 1991 los Programas de Mejoramiento Genético del Cultivo en Cuba incorporaron como objetivos básicos el evaluar y seleccionar genotipos de hábito de crecimiento determinado y de maduración más uniforme para poder mecanizar la recolección del grano (Faure *et al.*, 1997).

Como consecuencia de este trabajo se introdujeron el genotipo Titán (IT84 - D449) (García *et al.*, 1996, Sing *et al.*, 1997) procedente del International Institute of Tropical Agriculture (IITA de Nigeria) y el INIFAT 93 (Díaz *et al.*, 1997) de procedencia nacional (Instituto de Investigaciones Fundamentales de la Agricultura Tropical, INIFAT de Cuba).

Los autores anteriormente mencionados reportaron entre las principales características de estos dos genotipos el poseer: a) altos índices de cosecha, b) baja producción de biomasa foliar y c) elevada velocidad de defoliación durante la maduración, lo cual hacía pensar que estos no serían adecuados para áreas donde los suelos fuesen de baja fertilidad, teniendo en cuenta el rol que deben jugar las leguminosas en suelos tropicales de incorporar N₂ fijado del aire.

Por todo ello los objetivos de este trabajo fueron: a) Evaluar la capacidad para fijar N₂ del aire de los genotipos antes mencionados cultivados en un suelo con baja fertilidad, b) Calcular el balance de N una vez realizada la cosecha del grano y c) Realizar un análisis económico teniendo en cuenta también el proceso de fijación simbiótica del N₂.

MATERIALES Y MÉTODOS.

Durante el estudio se incluyeron los genotipos de caupí (*Vigna unguiculata* L. Walp) INIFAT 93 y Titán que se encontraban en fase de generalización. Las características de estos dos genotipos se describen en el Cuadro 1 de acuerdo a García *et al.*, 1996, Díaz *et al.*, 1997, Sing *et al.*, 1997 y Chailloux *et al.*, 2003, donde puede observarse que ambos difieren en el color del grano, el peso de 100 semilla, los días a flor y cosecha y en el número de vainas por planta y el rendimiento en grano, pero a pesar de ello estos cultivares son más precoces que variedades comerciales de más amplio uso agrícola en Cuba como Viñales 144 A y Habana 82 introducidas por el INIFAT (Chailloux *et al.*, 2003)

Las investigaciones se llevaron a cabo en las áreas experimentales del Instituto Politécnico Agropecuario "Rubén Martínez Villena", debido al vínculo que existe en este lugar en relación a alimentación animal y el cultivo de leguminosas tropicales. El clima y el suelo son típicos de la llanura Habana - Matanzas, encontrándose que en el periodo de estudio (Junio - Agosto 1998) el promedio de las precipitaciones, la temperaturas y la humedad relativas fueron de 1471 mm, 27.6 °C y 80 % respectivamente.

El suelo es de tipo Ferralítico Rojo Típico (Hernández *et al.*, 1995), de textura arcillosa, de pH cercano a la neutralidad, de bajos contenidos de fósforo y potasio y medio en materia orgánica, las características físico-químicas de este suelo se describen en detalles en Gómez *et al.*, 2004 en prensa.

Para llevar a cabo el ensayo, el suelo fue preparado empleando inicialmente maquinaria agrícola; pero el surcaje así como las otras labores se realizaron empleando bueyes y arado de rejas. Las semillas de caupí fueron sembradas en parcelas de 11.20 m² (4 m de largo con 4 surcos separados a 0.70m) con distancia entre tratamientos de 2 m y entre replicas de 1.4 m (2 surcos), las inoculaciones se realizaron mezclando las semillas inmediatamente antes de la siembra con el inoculante mixto (Gómez *et al.*, 2000) preparado con turba como soporte.

Todas las parcelas antes de la siembra se fertilizaron con 60 kg ha⁻¹ de K₂O en forma de KCl; mientras que el fósforo (P) fue añadido a las parcelas fertilizadas en forma de superfosfato sencillo para alcanzar una dosis de 60 kg de P₂O₅ ha⁻¹.

Después de la germinación las parcelas fueron ajustadas a una densidad de siembra de 120 000 plantas x ha⁻¹ mediante raleo. Para la toma de muestra y observaciones las parcelas se dividieron en dos subparcelas, una de 1m de largo y otra de 2 m, ambas en los dos surcos centrales quedando conformada la primera de 1.4 m² y la segunda de 2.8 m² de área, siendo ubicadas al menos a 0.50 m del borde de cada parcela.

Inmediatamente después del raleo las subparcelas de trabajo (con 2.8 m² de área) se marcaron isotópicamente con 1.5 g de N m⁻² (15 kg de N ha⁻¹) en forma de solución acuosa de (NH₄)₂SO₄ con 10.41 átomo % de ¹⁵N en exceso, distribuyendo uniformemente esta cantidad, utilizando para ello una mochila de fumigación (21 g/1L de H₂O destilada), el resto del área de las parcelas también se fertilizaron con 15 kg. de N del mismo modo y empleando el mismo portador no marcado.

Para determinar la proporción de N derivado del aire (% N_{dda}) y el N₂ total fijado del aire se utilizó la metodología de dilución isotópica del ¹⁵N (Hardarson, 1990) empleando como plantas de referencia soya (*Glycine, max (L.) Merr.*) var., William 82 sin inocular, la cual fue sometida a los mismos tratamientos que el caupí. El ensayo quedó conformado por un factorial de **3 cultivares x 2 niveles de fósforo** organizados en bloques al azar con cuatro repeticiones.

En la etapa de desarrollo R₈ se tomaron como muestras seis plantas de las subparcelas de trabajo, las que se trasladaron al laboratorio y fueron separadas en hojas, tallos, pecíolos, y raíces. Los diferentes órganos se secaron a 70 °C hasta peso constante para determinar masa seca de los diferentes órganos.

La cosecha se realizó en la etapa de desarrollo R₉, 2 m lineales (1 m de cada surco de la parcela de 2.8 m²) fueron cosechados para calcular el rendimiento sobre la base del peso del grano al 14%. Para calcular los componentes del rendimiento se tomaron diez plantas en la misma parcela y el número de vainas por planta fue registrado. Independientemente de la muestra anterior se tomaron 20 vainas de la parcela de observación para calcular número de grano por vaina y la longitud de las vainas. Paralelamente 100 granos fueron también pesados en el laboratorio al 14 % de humedad y el peso fue registrado como peso de 100 semillas.

Para determinar el % de N de los diferentes órganos se utilizó la técnica de Kjeldahl y la lectura en un colorímetro, en cambio para el análisis de los átomos % de ¹⁵N en exceso, después de la extracción del N se realizó la lectura de la solución empleando espectrometría de emisión (NOI 6) en el INIFAT en Cuba.

Para el cálculo del % de N₂ y el N₂ total fijado por las plantas se emplearon las fórmulas siguientes:

$$\%N \text{ derivado de la atmósfera (\%Ndda)} = \left(1 - \frac{\text{átomo } ^{15}\text{N en exceso del fijador}}{\text{átomo en exceso del no fijador}}\right) \times 100$$

(Hardarson, 1990)

$$N_2 \text{ total fijado} = \frac{\%Ndda \times N \text{ total en el cultivo fijador}}{100}$$

(Hardarson 1990)

Los datos fueron procesados estadísticamente por análisis de varianza para hallar diferencias entre genotipos, niveles de P e interacción entre los factores y una vez comprobada la significación se aplicó la prueba de rangos múltiples de DUNCAN, utilizando para ello el paquete estadístico MSTATC versión 1.42.

Para el cálculo económico se empleó la metodología propuesta por Ojeda en 1998, el cual utilizó la fórmula siguiente:

$$G. R = (VPP - CPP) - (VPB - CPB)$$

Donde

GR, significa Ganancia Relativa

VPP, significa Valor de Producción de la Variante Propuesta

VPB, significa Valor de Producción de la Variante Base

CPP, significa Costo de Producción de la Variante Propuesta

CPB, significa Costo de Producción de la Variante Base.

Para hacer las evaluaciones se consideró que los costos de producción de las parcelas cultivadas con los dos genotipos sometidos al mismo tratamiento no se diferenciaron, por lo que la ganancia relativa solo podía ser afectada por: a) incremento de la producción de granos por unidad de área cultivada y b) incorporación o pérdida de N del suelo después de cosechadas las parcelas. Se consideró también que debido a la falta de recomendaciones en relación con el genotipo de caupí a cultivar en suelos con baja fertilidad, se designó entonces al genotipo de peor comportamiento como la variante base.

Se tuvo en cuenta también que aun cuando existen diferencias en las preferencias en el tipo de semilla a consumir por las personas que pueblan las diferentes regiones del País, el quintal de semilla producida de los dos genotipos tiene el mismo precio de 160 pesos en moneda nacional (MN), de acuerdo al reporte de la Empresa de Semilla de San Antonio de los Baños en Cuba. También que cada kg de N aportado o extraído del suelo tiene un valor de 1.67 pesos en MN (precio con que se vende la Urea al pequeño productor en la Provincia de La Habana en Cuba).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN.

El genotipo Titán produjo significativamente más biomasa de los diferentes órganos que el INIFAT 93 independientemente del nivel de P con que se fertilizaron las parcelas, excepto cuando se evaluó el parámetro peso seco de tallo en suelo no fertilizado con P (Cuadro 2). A alto suministro de fósforo las parcelas cultivadas con la variedad Titán produjeron más del doble del peso de las hojas y de pecíolos que las parcelas sembradas con INIFAT 93. Es de destacar también que este último genotipo mencionado rindió en grano como promedio solo el 57.5 % de lo cosechado en las parcelas de Titán, lo cual coincide con lo descrito como característica en el Cuadro 1.

El resultado comentado anteriormente muestra que el genotipo Titán no solo se mostró como un gran productor de biomasa foliar, sino también como un cultivar con alto rendimiento de grano, caracteres reportados con anterioridad por Sing *et al.*, en 1997 y que fueron comprobados durante la comparación de diez cultivares de caupí en otros ensayos (Gómez Jorrín, 2003, Tesis). Debido a este más alto potencial de rendimiento exhibido por Titán comparado con INIFAT 93 aun cuando su producción también se vio afectada a bajo suministro de P superó significativamente la del segundo genotipo mencionado (Cuadro 2). Esta mayor producción de biomasa foliar y de grano halladas en las parcelas cultivadas con el genotipo Titán en comparación con las de INIFAT 93 se debió a que el primer genotipo fijó significativamente más cantidades de N₂ del aire en todos los órganos que el segundo (Cuadro 3).

La fertilización del suelo con P mineral incrementó significativamente las cantidades totales de N₂ fijadas en los diferentes órganos de los dos genotipos estudiados (Cuadro 3), no solo porque tuvo una influencia directa sobre el crecimiento (Cuadro 2), sino también porque estimuló el proceso de fijación simbiótica del N₂, pues se halló que en el genotipo INIFAT 93 la aplicación de P a las parcelas mejoró la proporción de N derivado del aire de 46.8 a 52.4 % y en Titán de 52.5 a 72.8 %.

El efecto positivo que ejerce la fertilización fosfórica sobre el proceso de fijación simbiótica del N₂ en el cultivo del caupí ha sido bien argumentada por otros autores (Cassman *et al.*, 1981, March, 1990, Amara y Sualé, 1996) e incluso ha sido constatada por este autor en trabajos más recientes (Gómez *et al.* 2000, Gómez *et al.*, 2002, Gómez *et al.*, 2004 en prensa) llevados a cabo con cultivares de uso agrícola en Cuba.

A pesar de los numerosos estudios llevados a cabo sobre este tópico en la especie, no existe un gran número de reportes en el que se emplee el método de dilución isotópica del ¹⁵N en condiciones de campo (como por ejemplo los ensayos realizados por Amara y Sualé en 1996 e Izaguirre- Mayoral y Sicardi de Mayorca en el 2000) , y por tanto no se cuenta con reportes del estudio de los dos cultivares incluidos en este trabajo.

Sin embargo los niveles de % N_{dda} hallados en este trabajo en el genotipo INIFAT 93 son superiores a los observados en condiciones controladas (Gómez *et al.*, 2000), resultado que coincide con lo reportado con anterioridad por Ofori *et al.*, en 1987 en otro cultivar de caupí. Los niveles de proporción de N derivado del aire en el ensayo oscilaron entre 46 y 72 % en la etapa de desarrollo R₈ y no difieren de los valores reportado para la especie por Amara y Sualé en 1996 para 11 cultivares de caupí de uso agrícola en África.

El cálculo del balance de N en las parcelas cultivadas con los dos genotipos permitió comprobar que un balance positivo solo pudo ser hallado en aquellas en que crecieron plantas de Titán (Cuadro 4), así en las parcelas de este genotipo en las que no se aplicó superfosfato sencillo el balance de N arrojó que la incorporación de los residuos de la cosecha permitían incorporar 9 Kg. de N ha⁻¹ y en cambio en las fertilizadas con este portador fosforico, los residuos permitieron incorporar al suelo 37 Kg. de N ha⁻¹ como consecuencia de la estimulación del proceso de fijación simbiótica del N₂ que provocó la aplicación de P mineral.

Este resultado es particularmente importante debido, a que el aporte de nitrógeno de origen simbiótico al suelo durante el cultivo de caupí en Cuba puede beneficiar la nutrición nitrogenada de otros cultivos pues esta especie es cultivada preferiblemente en rotación con la malanga, la papa y la calabaza (García *et al.*, 1996; Treto *et al.*, 1996), el tabaco (Caballero *et al.*, 1994) y el arroz (Cabello *et al.*, 1996); pero tiene también alta popularidad la siembra asociada con el maíz (Ramos *et al.*, 1996, Marrero *et al.*, 1996).

Teniendo en cuenta el rendimiento de grano y el balance de N en las parcelas se procedió a realizar una evaluación económica de lo que significaba la siembra de los genotipos INIFAT 93 y Titán sobre todo para el pequeño productor. Esta evaluación permitió comprobar que el cultivo del genotipo Titán permite alcanzar ganancias entre 1 197 y 2 375 pesos en MN más que si se cultivara INIFAT 93 (Cuadro 5) y dependió del nivel de disponibilidad de P en el suelo.

Se debe destacar que el mayor beneficio del aporte de N al suelo de origen simbiótico que provoca el cultivo de Titán no es económico sino ecológico y practico (Cuadro 5), pues el aporte de 37 Kg. de N ha⁻¹ como consecuencia de la incorporación de los residuos de la cosecha al suelo y a los cultivos sucesores equivale a aplicar 80 Kg. de urea ha⁻¹, aspecto muy importante si se tienen en cuenta el déficit de fertilizantes químicos que tiene la agricultura cubana debido a dificultades económicas.

El presente resultado muestra que aun cuando es imprescindible la introducción a la agricultura cubana de genotipos determinados y de maduración más uniforme como INIFAT 93, esta practica pudiera disminuir la fertilidad de los suelos, pues el cultivo de los mismo pudiera dejar un balance negativo de la fertilidad de los mismos, incluso si este se realiza inoculando el grano con *Rhizobium* antes de la siembra, como se demostró en este trabajo (ver Cuadro 4). Este fenómeno se debe a que estos genotipos con frecuencia tienen altos índices de cosecha de N, dado que en estos casos el N exportado en los granos y las vainas es mayor ó igual al N fijado en el sistema aéreo y por lo tanto aun cuando se incorporen al suelo los residuos una vez trilladas las plantas, el balance será de todas forma negativo (Cuadro 4).

Una solución a esta problemática pudiera ser la estrategia propuesta por los mejoradores del IITA de Nigeria (ver Akundabweni *et al.*, 1991; Sing *et al.*, 1997), en el que las variedades introducidas en África deben cumplir el doble propósito de alto rendimiento en grano y alta producción de follaje aéreo, además de poseer como característica una maduración temprana y uniforme, como ocurre en el genotipo Titán (IT84 - D449) que es un producto de este trabajo, lo que muestra que no existe contradicción entre incremento del balance de N como mejora del carácter fijación simbiótica del N₂ y otros como maduración temprana , precocidad y alto rendimiento de grano.

Estos resultados permiten sugerir a los pequeños productores que cultivar en sus fincas el genotipo Titán es beneficioso no solo por su precocidad, maduración más uniforme de las vainas, aceptación por la población por esta semilla, el alto rendimiento de grano y follaje y otros caracteres que proponen los genetistas para hacer atractivo un cultivar, sino también por su mayor capacidad para fijar N₂ del aire y por tanto el aporte de N que pueden hacer al suelo y a los cultivos en rotación con el caupí, lo cual sin dudas le permitirá mejorar la fertilidad del suelo y alcanzar mayores beneficios económicos.

REFERENCIAS

- Akumdabwani, L. S; L. S; C. Peter - Paul y B. B, Sing. 1990.** Evaluation the lines of cowpea (*Vigna unguiculata* (L.) Walp). For leaf/fodder plus grain (dual - purpose). Tropical Agriculture (Trinidad). 67: 133 - 136.
- Amara, D.S y D.S, Sualé. 1996.** Genotypic difference in yield formation, phosphorus utilization and nitrogen fixation by cowpeas in Sierra Leone. En Isotope Studies on Plant Productivity. Resultados del Programa de Investigación Coordinado por la Sección de Fertilidad de Suelos, Riego y Producciones Agrícolas Adjunto a la FAO/IAEA. División de Técnicas Nucleares en Alimentos y Agricultura. Publicado por la IAEA en Austria, Julio, 1996, pp 39 - 52.
- Caballero, R; R, Ramos; J. C, Hernández; M, Sánchez; S, Pico y H, González. 1994.** Resultados y Experiencias de la producción de caupí en la Empresa Tabacalera "Lázaro Peña". 2^{da} Jornada Científico Productiva del Cultivo de la Vigna en Cuba. IIH Liliana Dimitrova, Quivicán, La Habana, Cuba. Junio, 1994.
- Cabello, Martínez, R y L. R, Reina. 1996.** Efecto residual de *Vigna unguiculata* y *Sesbania rostrata* sobre el rendimiento agrícola del arroz. 1^{er} Taller Internacional del Cultivo de la Vigna en Cuba. Holguín, Junio - Julio. 1996.
- Cassman, K.G; A.S, Whitney y R.L, Fox. 1981a.** Phosphorus requirement of soybean and cowpea as affected by mode of nutrition. Agronomy Journal .73:17-23.
- Chailloux Laffita, M; M Sánchez Hernández; R, Aviléz Pacheco; A. A, Pérez Sedin; F, Cañet Prades; A, Casanova Morales; L. A, Gómez Jorrín; M, Díaz Guzmán; G, Hernández Barrueta; N, Lastre González; M, Ponce Brito; T, Shagarodsky Scull. 2002.**
Tecnología para la Producción del Género Vigna en Cuba para Consumo Humano (En Prensa).
- Díaz, M; T, Shagarodsky; N, Lastres; F, Cañet; G, Puldón. 1997.** INIFAT 93 nueva variedad de frijol caupí (*Vigna unguiculata*). Agrotecnia de Cuba. 27. 148 - 152.
- Faure B, T. Hernández, M. Sánchez y O. Rodríguez. 1997.** Vigna Mejoramiento Genético. En Instituto de Investigaciones Hortícola Liliana Dimitrova. Memorias del 25 Aniversario, pp 41. Editor A. Casanova Morales, Editado por ESASEM de Italia y Asociación Cubana de Agricultura Orgánica. La Habana Cuba, Noviembre de 1997.
- García, M; Treto, E y Álvarez, M. 1996.** Efecto de la Vigna sobre la nutrición y fertilización de la calabaza. 1^{er} Taller Internacional del Cultivo de la Vigna en el Trópico. Holguín. Junio .1996.

- García, E; O, Chaveco; N, Permuy y A, Concepción. 1996.** Titán una variedad de frijol Caupí (*Vigna unguiculata L. Walp*) para granos en fase de generalización. 1^{er} Taller Internacional del Cultivo de la Vigna en el Trópico. Holguín, Junio 1996.
- Gómez L. A; G. Dueñas y T. Sánchez. (2000).** Fijación de N₂ en Caupí y Frijol común sometidos a estrés de fósforo (P). En La Fijación Biológica del Nitrógeno en América Latina: El Aporte de las Técnicas Isotópicas. Editor Dr. J, J Peñas Cabriales, Publicado en Diciembre del 2000 por IMPROSA, S. A de C. V, Irapuato México, pp 77 - 88.
- Gómez L. A ; V. Vadez; G. Hernández; T. Sánchez; V. Toscano; M. Sánchez. (2002).** Evaluación de la Tolerancia al estrés de fósforo en caupí (*Vigna unguiculata L. Walp*) en Cuba. I. Cultivo en Solución Nutritiva. Agronomía Mesoamericana. Vol. 13 No. 1 pp 59 - 65.
- Gómez, L. A. 2003.** Identificación de genotipos de caupí (*Vigna unguiculata L, Walp*) con alta capacidad para fijar N₂ a baja disponibilidad de fósforo, 136 pp. Tesis Presentada en Opción al Grado de Doctor en Ciencias Agrícolas. Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas (INCA), San José de Las Lajas, La Habana, Cuba, Diciembre del 2003.
- Gómez L. A; G. Dueñas y T. Sánchez. (2004).** Evaluación de la Tolerancia al estrés de fósforo en caupí (*Vigna unguiculata L. Walp*) en Cuba. II. Cultivo en Suelo. Agronomía Mesoamericana (En Prensa).
- Hardarson.1990.** Use technique in studies of soil - plant relationships.223 pps. Editado por G. Hardarson, 1990. International Atomic Energy Agency, Vienna. Austria.
- Hernández, G; V, Toscano, H, Vázquez; L. A, Gómez; N, Méndez; M, Sánchez y M, Mosquera. 1994.** Uso y Manejo de Inoculantes a base de Rhizobium en Vignas. Resúmenes del IX Seminario Científico del INCA. BIOFERTRO'94. 1^{er} Simposio sobre Agricultura Sostenible. INCA. San José, La Habana. Cuba. Noviembre. 1994.
- Hernández, A., Pérez Jiménez, J. M., Boch Infante, D. 1995.** Nueva versión de la Clasificación genética de los suelos de Cuba. Instituto de Suelos. MINAGRI. 45 pp mimeografía.
- Isaguirre - Mayoral, M.L y M. Sicardi de Mallorca. 2000.** Efecto de factores bióticos y abióticos sobre la Fijación Simbiótica del Nitrógeno en Leguminosas Tropicales. En La Fijación Biológica del Nitrógeno en América Latina: El Aporte de las Técnicas Isotópicas, pp 109 - 116. Editor J.J, Peña Cabriales. Publicado por IMPORSA, S.A de C:V, Irapuato, México, Auspiciado por ARCAL, Diciembre del 2000.
- Marrero, V; Guzmán García, J.J y A. Roque Jaime. 1996.** Evaluación de seis variedades de Frijol Vigna en asocio con Maíz. 1^{er} Taller Internacional del Cultivo de la Vigna en el Trópico. Holguín. Junio .1996
- Marsh, D.B.1990.** Mineral Nutrition of Cowpea: Macronutrients. En Cowpea Research A U.S. Perspective. Proceeding of the Second Southern pea (Cowpea) Workshop, pp. 57 – 65. .Editado por Miller, J.C.; J.P. Miller y R.L., Fery.1990.
- Ofori, F; J.S, Pate y W.R, Stern. 1987.** Evaluation of N₂ fixation and nitrogen economy of maize/cowpea intercrop system using ¹⁵N dilution methods. Plant and Soil. No. 2: 149 - 160.
- Ojeda, Quintana, L. J. 1998.** Efecto de Micorrizas Vesiculo- Asbusculares de Género Glomus en el rendimiento de leguminosas forrajeras promisorias en suelos Pardos Grisáceos. Tesis para optar por el Grado Científico de Doctor en Ciencias Agronómicas. INCA. San José de las Lajas. 1998.

Ramos Gutiérrez, R; Hernández Chávez, A; Caballero Grande, R; Sánchez Hernández, J. 1996. Asocio de Caupí con Maíz, más ganancia con el mínimo Costo. 1^{er} Taller Internacional del Cultivo de la Vigna en el Trópico. Holguín. Junio .1996.

Sing, B.B; O.L. Chambliss y B. Sharma. 1997. Recent advance in cowpea breeding. En Advance in Cowpea Research, pp 30 -49. Editado por B.B, Sing; D.R, Mohan Raj; K.E, Dahiell y L.E.N. Jaskai. Ediciones IITA Nigeria y Japan International Research Center for Agricultural Science Tsukula Ibaraki, Japan. 1997.

Treto, E; García y M, Álvarez. 1996. Efecto de la *Vigna unguiculata* (Caupí Negro Viñales) intercalada como cultivo asociado y/o como abono Verde sobre el rendimiento de la Malanga. 1^{er} Taller Internacional del Cultivo de la Vigna en el Trópico. Holguín. Junio .1996.

Cuadro. 1. Características de los genotipos estudiados.

Genotipos	Color del grano	Habito de crecimiento	Peso de 100 semilla	Días a flor	Días a cosecha	Vainas /planta	Granos/ Vainas	Rend (t ha ⁻¹)
INIFAT 93	Rojo	Determinado	12 g	35-36	65- 70	11	15	1.0
Titán	Crema	Determinado	16 g	37-39	75-80	22	14	1.6

Cuadro 2. Comparación de dos genotipos de caupí (INIFAT 93 y Titán) en relación con la producción de masa foliar y rendimiento en granos a dos niveles de fertilización fosfórica (0 y 60 kg. de P₂O₅ ha⁻¹).

Genotipo/Dosis	Peso de las hojas (kg ha ⁻¹)	Peso del pecíolo (kg ha ⁻¹)	Peso del tallo (kg ha ⁻¹)	Peso de las vainas (kg ha ⁻¹)	Peso de los granos (kg ha ⁻¹)
INIFAT 93 (0)	162.5 c	287.2 c	367.5 c	199.6 c	399.3 d
Titán (0)	383.1 b	624.7 b	421.3 c	344.8 b	738.0 c
INIFAT 93 (60)	219.7 c	426.9 c	1386.0 b	378.6 b	1003.0 b
Titán (60)	537.5 a	1151.0 a	2559.0 a	653.9 a	1668.0 a
Sx	22.76*	59.76**	128.6*	28.13*	76.68**

Nota: Valores con letras comunes en la misma columna no difieren entre si significativamente.

*, ** Significan p < 0.05 y p < 0.01 respectivamente

Cuadro 3 Comparación de dos genotipos de caupí (INIFAT 93 y Titán) en relación con el nitrógeno fijado del aire (Nfa) en el sistema aéreo, las vainas y los granos a dos niveles de fertilización fosfórica (0 y 60 kg de P₂O₅ ha⁻¹).

Genotipo/Dosis	Nfa en hoja (kg ha ⁻¹) ¹	Nfa en pecíolo (kg ha ⁻¹)	Nfa en tallo (kg ha ⁻¹)	Nfa en vainas (kg ha ⁻¹)	Nfa en granos (kg ha ⁻¹)	N ₂ total fijado (kg ha ⁻¹)
INIFAT93 (0)	1.47 c	1.43 c	1.90 c	1.14 d	6.63 d	12.60 c ¹
Titán (0)	5.34 b	3.45 b	7.38 b	3.59 b	17.02 c	36.79 b²
INIFAT 93 (60)	2.53 c	2.55 bc	2.45 c	2.46 c	22.67 b	32.67 b ³
Titán (60)	11.44 a	10.36 a	21.31 a	9.29 a	65.70 a	118.0 a⁴
Sx	0.456***	0.490***	0.997***	0.266***	1.135***	1.773***

Nota: Valores con letras comunes en la misma columna no difieren entre si significativamente.

*** Significa p < 0.001. Los valores promedios de %Ndda para los cuatro tratamiento fueron: 1(46.8), 2(52.43), 3(52.47) y 4(72.81).

Cuadro 4. Balance del N¹ en las parcelas experimentales en el campo cultivadas con dos genotipos de caupí (INIFAT93 y Titán) y a dos niveles de fertilización fosfórica (0 y 60 kg de P₂O₅ ha⁻¹).

Genotipo/Dosis	Ingreso de N a partir del proceso de FSN (kg ha ⁻¹)	N exportado en granos (kg ha ⁻¹)	Balance de N (kg ha ⁻¹)
INIFAT 93 (0)	5.94 d	7.05 c	- 1.09 c
Titán (0)	19.78 b	10.76 b	+ 9.01 b
INIFAT 93 (60)	9.99 c	16.02 a	- 6.023 d
Titán (60)	52.41 a	15.38 a	+ 37.03 a
Sx	1.177***	0.788*	1.298***

¹ Balance si se incorporaran los residuos de la cosecha.

Nota: Valores con letras comunes en la misma columna no difieren entre si significativamente.

* y *** significan p < 0.05 y p < 0.001 respectivamente.

Cuadro .5. Aporte económico de la venta de grano y la incorporación o pérdida de N en una hectárea cultivada por dos genotipos de caupí determinados (INIFAT 93 y Titán) cultivados en suelo con baja fertilidad y a dos niveles de P diferentes (0 y 60 kg. de P₂O₅ ha⁻¹).

Genotipos/dosis	Precio de venta de grano (MN)	Precio de Aporte o pérdida de N (MN)	Valor Total (Granos +N) (MN)	Ganancia Relativa (MN)
INIFAT 93 (0P)	1 389.0	- 1.82	1387.2	-
Titán (0P)	2 569.0	15.02	2 584.0	1 196.8
INIFAT 93 (60P)	3 488.7	-10.05	3 478.7	-
Titán (60P)	5 801.7	61.84	5 863.5	2 374.8