

**XXXVII CURSO DE EDAFOLOGIA Y BIOLOGIA VEGETAL**

**Fijación de nitrógeno en ajipa (*Pachyrhizus ahipa* (Wedd.)  
Parodi) inoculada con distintas cepas de *Rhizobium spp.***

**D<sup>a</sup> Ana Paula Manuel Da Silva Lourenço**

**Tutor: Dr Eduardo O. Leidi**

**Departamento de Biología Vegetal  
Instituto de Recursos Naturales y Agrobiología de Sevilla (IRNAS)  
Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC)**

**Sevilla, Julio del 2000**

## Introducción

### Generalidades

Entre las leguminosas tropicales con raíces comestibles, como *Apio*, *Pachyrhizus*, *Pediomelum* y *Vigna*, la jicama (yam bean), que corresponde a *Pachyrhizus* (L.) Urban, es la única especie cultivada, con difusión en América Central (México, Guatemala, El Salvador, Honduras) y en Asia (China, Tailandia, Sumatra, etc.) (Sørensen, 1996). Un pariente cercano a la jicama, la ajipa (*Pachyrhizus ahipa* (Wedd.) Parodi) fue cultivada en el período precolumbino por los Incas, y su importancia en la actualidad es muy reducida permaneciendo en cultivos aislados en valles andinos entre 1500 y 2500 m de altura sobre el nivel del mar en Bolivia, Perú, y Norte de Argentina (Sørensen, 1996).

Las culturas indígenas han sido particularmente eficientes para domesticar especies tuberosas comestibles. Además de la papa, la mandioca o la batata difundidas por todo el mundo, existen otras como la oca (*Oxalis tuberosa*) o el ulluco (*Ullucus tuberosus*) que aun hoy ocupan miles de hectáreas en los Andes, desde Venezuela hasta Argentina y Chile pero también existen algunas especies que han quedado relegadas y hasta con riesgo de desaparecer. Entre ellas se cuenta la ajipa o ahipa (*Pachyrhizus ahipa* (Wedd.) Parodi), una leguminosa como muchas otras especies comestibles comunes en nuestra dieta (guisante, judía, haba, soja, etc.). El género de la ajipa posee una serie de especies con propiedades similares: la ya mencionada jicama (*P. erosus*) cultivada en México y en varios países del sudeste asiático y el jacatupe (*P. tuberosus*) cultivado principalmente en ciertos sectores de la cuenca amazónica.

Por la alta capacidad de producción, su tolerancia al ataque de insectos por el contenido de rotenona de las hojas y los bajos requerimientos nutritivos, la ajipa puede considerarse un cultivo sostenible (Grau, 1997). La producción de raíces tuberosas de *P. ahipa* puede variar de forma considerable, entre 3 y 50 Tm/ha, dependiendo si se realiza la retirada de flores y la densidad de plantación. El principal problema del cultivo es la necesidad de realizar la eliminación de flores, para obtener producciones económicas de raíces. Algunas razas locales de

*P. ahipa* pueden llegar a producir hasta 800 flores/planta mientras otras sólo llegan a 50 flores/planta (Sørensen, 1996).

### Clasificación Taxonómica

En la determinación taxonómica de ajipa existe cierta confusión desde que fuera estudiada por primera vez por Weddell en 1857 como *Dolichos ahipa* (Cárdenas, 1969). La diagnosis de Weddell, muy incompleta, se basó en las raíces de esta planta y luego con un ejemplar con hojas, pero sin frutos. En 1935, Parodi se ocupa de la ajipa cultivada en el Noroeste Argentino bajo la nueva denominación taxonómica de *Pachyrhizus ahipa* (Weddell) L. R. Parodi y acompaña una ilustración de la planta traída de Jujuy, con raíces, tallos, hojas, flores, frutos y semillas (Cárdenas, 1969), sin embargo no sabía si la ajipa era nativa de la Argentina o había sido llevada desde Bolivia. León (1964), basándose en la revisión del Género *Pachyrhizus* de R.T. Clausen de 1944, posterior a las publicaciones de L.R. Parodi y S.M. Bukasov, consigna que las jícamas de América del Sur, pertenecían a dos especies: *P. tuberosus* posiblemente nativa de las cabeceras del Amazonas donde se cultivaba esporádicamente, y *P. ahipa*, procedente de las tierras altas de Bolivia y Argentina. Según Cárdenas (1969), Bukasov al tratar las especies cultivadas de *Pachyrhizus* de Méjico y Centro América muestra también la confusión existente entre las especies *P. tuberosus* Spreng. de Centro América y las Antillas y *P. angulatus* Rich. de Filipinas. *Pachyrhizus angulatus*, que según el Index Kewensis, es sinónimo de *P. erosus* (L.) Urb., sería en realidad la jícama de Méjico porque en Filipinas era conocida por el mismo nombre vernáculo y posiblemente debió ser introducida desde aquel país (Cárdenas, 1969). Ya recientemente, Sørensen (1990) clasificó cinco especies diferentes tales como *Pachyrhizus ahipa*, *P. erosus*, *P. tuberosus*, *P. ferrugineus* y *P. panamensis*, estas dos últimas silvestres, reuniendo en un mismo taxón algunas especies que se consideraban diferentes.

### Características morfológicas

La especie *P. ahipa* es una planta baja, hasta de medio metro de altura (Fig. 1). Las hojas tienen folíolos enteros, o con dientes poco desarrollados y pubescencia escasa; las láminas romboidales u ovals, miden de 3-6 cm de largo por 2-5 cm de ancho (Fig. 2). La inflorescencias axiales son cortas; el cáliz, de 5 sépalos es morado pálido, la corola mide 1,5-2 cm de largo, y el estandarte y las alas son moradas o blancas. El fruto es una vaina de 8-12 cm de largo; las semillas gruesas y negras, pardas ó manchadas (Fig. 2). Las raíces de la ajipa son fusiformes, de



**Figura 1. Planta de ajipa (*Pachyrhizus ahipa* (Wedd.) Parodi) (Foto J. Cobo)**

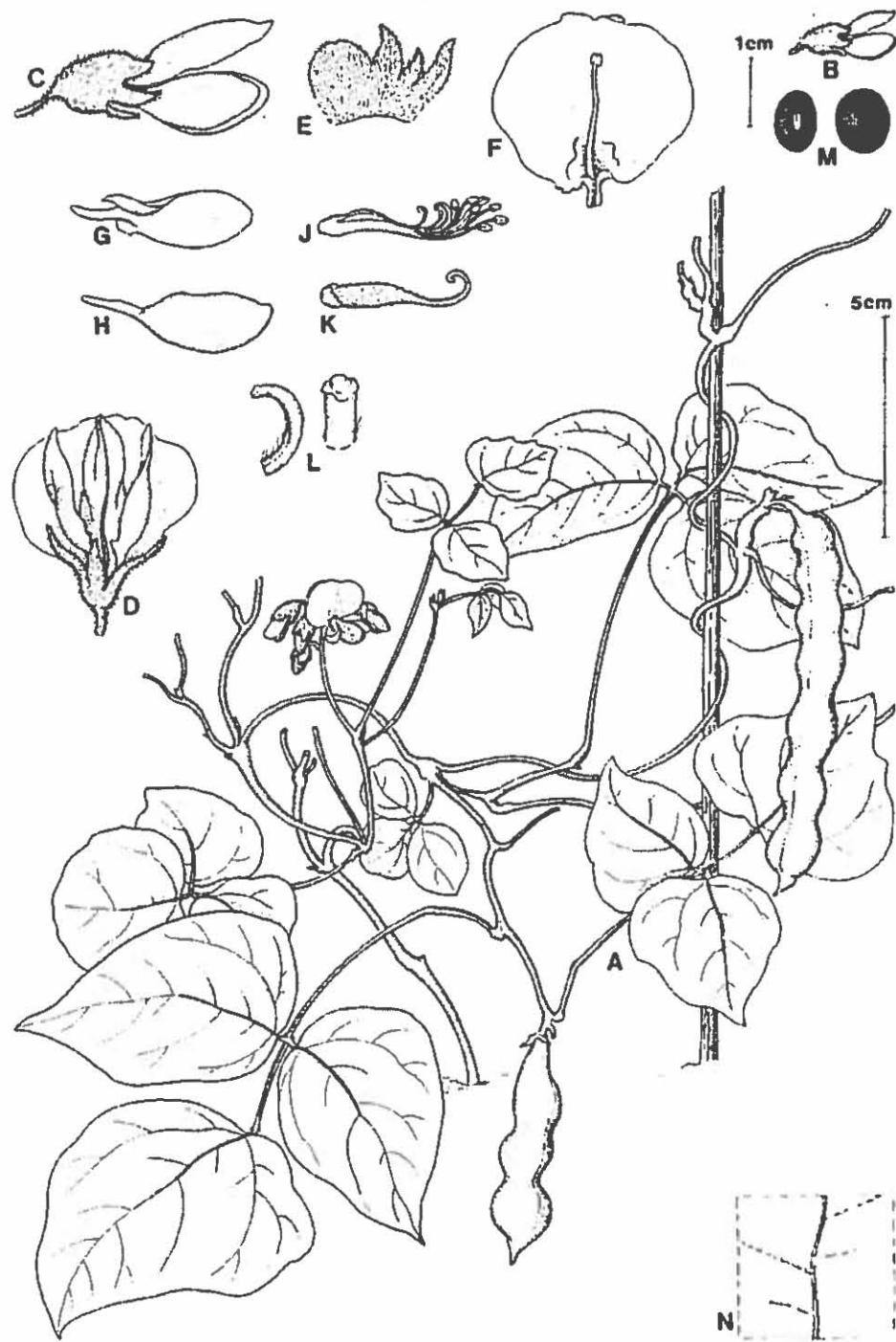


Figura 2. *Pachyrhizus ahipa* (Wedd.) Parodi. A: hábito voluble, B: flor; C: flor en vista lateral; D: flor, vista inferior; E: cáliz abierto; F: estandarte; G: ala; H: quilla; J: estambres; K: pistilo con disco basal; L: vista lateral y frontal del estilo y estigma subgloboso; M: vista lateral y superior de la semilla; N: envés de la hoja (todas las partes corresponden a AC102, Tarija, Bolivia) (Sørensen, 1988).

10-20 cm de largo, amarillas o blancuzcas externamente y llegan a pesar hasta 1 kilogramo (Fig. 1) y se comen crudas, después de ser asoleadas varios días, o cocidas.

### **Propiedades Nutritivas**

Contrariamente a lo que podría pensarse de una especie tuberosa, la ajipa no se consume cocida como una batata, sino cruda como una fruta e inclusive puede pelarse casi como una banana. En consecuencia quienes la conocen se refieren con frecuencia a ella como "el fruto" y en los lugares donde se comercializa aparece agrupada con naranjas, chirimoyas, papayas, etc. (Grau y Ørting, 1996). Su sabor es característico y no fácil de definir, podría describirse como una mezcla de manzana y guisante crudo tierno. Su elevado contenido de fibra le otorga una textura y consistencia muy agradable. El contenido de materia seca ronda alrededor del 20%, del cual un 40-50% corresponde a almidón, 8-25% a azúcares. El contenido de proteínas es relativamente bajo 2-5%, mientras que las grasas rondan el 1% (Leidi, 2000). Una comparación con otros tubérculos cultivados se muestra en la Tabla 1. Las semillas destacan por el alto contenido de proteínas (25-30%) y grasas (18-22%). Los contenidos de hidrato de carbono son de un 10% de azúcares y 2-5% de almidón (Leidi, 2000).

### **Usos**

Como ya se comentó anteriormente, la ajipa se consume cruda cumpliendo el rol de una fruta en la cultura andina, en la que se le atribuyen propiedades digestivos y medicinales. También se puede emplear como una verdura, en forma similar a la zanahoria, cortándole en rodajas o rayándole. Al contrario de las raíces, la semilla y vainas maduras no se consumen porque poseen sustancias tóxicas, principalmente rotenona y sustancias afines. El follaje también impregnado de estos compuestos, los cuales confieren cierta protección contra plagas, pues la rotenona es un veneno para insectos y peces aunque de baja toxicidad en mamíferos (Grau y Ørting, 1996). Se han hecho experimentos extrayendo la rotenona y rociándola en cultivos, y se obtuvieron resultados positivos contra orugas y otros insectos (Sørensen, 1996). Sin embargo las experiencias en este campo son todavía muy limitadas como para recomendarlas en forma generalizada.

### **Hábitos y requerimientos ecológicos**

Aunque se supone originaria de los Andes de Bolivia o Perú, no se conoce ajipa en estado silvestre. En la actualidad la mayor parte de las áreas de cultivo están situadas en Bolivia, concentradas en dos sectores, uno situado en los Yungas de La Paz y Cochabamba, y otro en los alrededores de Tarija (Ørting et al., 1996). También se cultivan algunas parcelas en las provincias de Jujuy y Salta (Argentina). La altitud de las zonas de cultivo oscila entre 2.500 m en el Norte y 900 m en el Sur del área de dispersión. Aunque tiene cierta tolerancia a las bajas temperaturas, su adaptación al frío es menor a la mayoría de las especies tuberosas andinas y no soportan heladas ni temperaturas cercanas a 0°C por períodos prolongados. Más aún, es probable que su óptimo sean condiciones subtropicales. En efecto, uno de los lugares con mayores extensiones cultivadas de ajipa está situado a orillas del río Pilaya, en Bolivia, a 1.100 m, donde la caña de azúcar es el cultivo más importante.

En varios de los lugares donde se cultiva ajipa los suelos son pobres, con niveles relativamente bajos de materia orgánica. Con frecuencia la ajipa se cultiva en terrazas de ríos, sobre suelos limosos o limo-arenosos. En general hay consenso en que se deben evitar suelos muy arcillosos, donde se dificulta el desarrollo de las raíces tuberosas.

### **Prácticas culturales**

Las jícamas (*P. erosus*) son cultivadas comercialmente en varios países americanos y asiáticos por sus raíces suculentas y azucaradas y, de los cultivos que pertenecen al Género *Pachyrhizus*, es la especie de mayor difusión. A continuación se describen las principales prácticas culturales que se recomiendan en el cultivo de jicama, que pueden ser adaptadas para el cultivo de la ajipa.

Preparación del terreno. Los mejores suelos para la jicama son los ligeros, que permanecen sueltos después de un riego. Estos generalmente se localizan en las vegas de los ríos o en partes cercanas a ellos. Los suelos pesados no son convenientes debido a los excesos de humedad que acumulan (favorecen la putrefacción de la raíz) y a las deformaciones que originan a las raíces (reducen el valor comercial). El cultivo requiere de una adecuada preparación de terreno para lograr una buena germinación y desarrollo de la planta, además, debe estar bien nivelado para evitar encharcamientos que causen pudriciones de las raíces en desarrollo. Para llenar estos requisitos, se requieren de las siguientes labores de la siembra.



**Barbecho.** Esta labor se hace después del cultivo anterior y generalmente se realiza de noviembre a diciembre, mediante un paso de arado, ya sea de reja o de discos, a una profundidades de 25 a 30 centímetros. Si en algunos suelos hay problemas de malas hierbas, conviene hacer un segundo paso de arado en forma perpendicular al primero llamado “cruza”.

**Rastreo.** Con el propósito de deshacer los terrones grandes y después de 15 a 20 días de realizado el barbecho, se recomienda dar uno, dos o más pases de rastra para facilitar las siguientes prácticas de cultivo.

**Limpieza del terreno.** Se recomienda antes de nivelar y de surcar el terreno, eliminar los restos del cultivo anterior para facilitar la siembra, y la emergencia de la plántula.

**Nivelación.** Conviene hacer una buena nivelación del suelo para facilitar los riegos, evitar problemas de encharcamientos que generalmente provocan mala germinación, un mal desarrollo de las plantas y el ataque de enfermedades radicales; además esta práctica puede hacerse con niveladora, o con un simple tablón pesado.

**Surcado.** Después de haber realizado las labores anterior, se traza el surcado con una separación de 80 cm entre surco.

**Siembra.** Para la obtención de jícama grande, la mejor época de siembra es durante Marzo, cuando haya desaparecido el peligro de heladas; para la producción de raíces de tamaño pequeño, se recomienda sembrar en Junio. Para la siembra de jícama, hay dos formas de hacerlo: la siembra en seco y la siembra en tempero siendo esta última la más utilizada. Para la siembra en seco, una vez preparado el terreno, se surca y se raya en el lomo del surco, en doble hilera y a 25 cm de separación, se siembra una semilla cada 20 cm y luego se tapa y finalmente se procede a regar. Este tipo de siembra requiere de una buena nivelación para evitar el encharcamiento y que el agua destruya el surco. La siembra en tempero consiste en regar el terreno y una vez que el suelo lo permite, se hace la doble raya sobre el lomo del surco e inmediatamente se siembra depositando una semilla de jícama cada 20 centímetros. Este cultivo siempre se siembra asociado al maíz y frijol, también se deposita de forma alternada; un surco de maíz de 2 a 3 semillas cada 2 m y de 2 a 3 semillas de frijol cada 50 cm en otro surco. Cuando la planta está en período de emergencia se recomienda dar un riego ligero, sobre todo en terrenos que forman costra para facilitar una emergencia total de la plántula y tener una buena población de jícama.



Riego. El número de riegos que se dan a la jícama dependen del tipo de suelo, en suelos muy arenosos, los riegos se deben dar con una frecuencia de 8 a 10 días, sobre todo en las primeras etapas de desarrollo del cultivo, en suelo areno-limosos los riegos se aplican cada 15 a 20 días. Lo importante es mantener el suelo con la humedad adecuada evitando los excesos de agua que provocan pudriciones de la raíz o bien, evitar la escasez de la misma para no castigar a la planta. Generalmente, el riego se suspende cuando la jícama ha madurado y esto se sabe porque el suelo se raja o se parte por efecto del desarrollo total de las raíces.

Fertilización. No se recomienda fertilizar la jícama por no haber respuesta de esta planta a los fertilizantes. Se desaconseja usar urea como fuente de nitrógeno, porque causa la duplicación de raíces y produce jícama de mala calidad. Sin embargo, las aplicaciones de fósforo y potasio podrían ser recomendables porque aumentan muy significativamente la producción de raíces (Lynd y Purcino, 1987).

Control de malas hierbas. Para mantener libre de malas hierbas, se recomienda efectuar dos cultivos con escardillo, el primero se acompaña de un desyerbe manual sobre el hilo de la siembra para eliminar la maleza entre y sobre los surcos y el segundo cultivo con arado aporcar e impedir que las raíces al crecer queden descubiertas y sean atacadas por los roedores. Si las malas hierbas persisten, se debe desyerbar manual o mecánicamente el número de veces que sea necesario para mantenerlo limpio de maleza durante todo el ciclo del cultivo.

Desfloreo. La eliminación de las flores es una práctica obligada en el cultivo de la jícama, ya que se no se “desflora” el rendimiento se reduce a la mitad y la calidad de las raíces también desmerece por la formación de fibra y de trompo (jícama en forma de trompo). Generalmente se necesitan 3 desfloreos, los cuales se ejecutan a mano o con tijeras. Se debe evitar la eliminación de guías porque se reduce el rendimiento. La práctica del desfloreo puede incrementar la producción en más del 100% (Castellanos et al., 1997).

Cosecha. La cosecha se realiza de los 180 a los 195 días después de la siembra y la señal más práctica para esta operación, es cuando el suelo alrededor de las raíces esta rajado, en ese momento la jícama esta madura y bien desarrollada y es cuando debe realizarse la cosecha. Si por condiciones del mercado no es conveniente cosechar la jícama, puede permanecer en el terreno sin sufrir daño por 3 ó 4 meses más, siempre y cuando no se riegue más la planta.

## **Fijación simbiótica de nitrógeno en ajipa.**

Existen pocas referencias sobre la capacidad de fijación de nitrógeno del cultivo de la ajipa en asociación simbiótica con *Rhizobium*. El principal trabajo al respecto, realizado por Kjær (1992) con una cepa comercial aislada de *P. erosus*, demostró una elevada tasa de fijación de N<sub>2</sub> hasta anthesis, y ésta disminuía durante la fructificación del cultivo. La eficiencia de la fijación venía demostrada por la ausencia de diferencias significativas en la acumulación de materia seca entre las plantas noduladas y aquellas creciendo con 5 mM de nitrato. Otro trabajo coincide con la alta eficiencia de la fijación simbiótica de N<sub>2</sub> en ajipa en relación a la asimilación de nitrato (Leidi et al., 1997) aunque la fijación de N<sub>2</sub> producía una mayor tasa de acumulación de biomasa en los frutos que en la raíz tuberosa en comparación con la nutrición con N mineral. La cantidad de N fijado en ajipa nodulada por poblaciones nativas de *Rhizobium* se ha estimado entre 74 y 96 kg/ha (Castellanos et al., 1997; Badillo y Castellanos, 1998). De los distintos aislamientos de *Rhizobium* capaces de formar nódulos en ajipa ninguno ha sido obtenido en esta especie (Grum y Sørensen, 1998). Un estudio previo realizado con 10 cepas en ajipa AC521 permitió detectar importantes diferencias en eficiencia de la fijación entre cepas (D.N. Rodríguez-Navarro, comunicación personal).

### **Objetivo del presente trabajo.**

El cultivo de la ajipa tiene un extraordinario potencial por la producción de hidratos de carbono, grasas y proteínas de alto valor de sus raíces y semillas, unido a la capacidad de fijación de nitrógeno atmosférico y la tolerancia al ataque de insectos. Para aprovechar al máximo su potencial en la fijación de nitrógeno atmosférico en simbiosis con *Rhizobium* es necesario conocer la eficiencia de la fijación con distintas cepas y estimar la posible interacción entre cepa de *Rhizobium* y la variedad de ajipa para preparar inoculantes microbianos de alta calidad.

En el presente trabajo se describe el experimento llevado a cabo con diferentes cepas de *Rhizobium* y dos líneas de ajipa en condiciones controladas de invernadero para estimar la tasa de fijación de nitrógeno cuando se emplean distintas combinaciones cepa/variedad.

## Material y Métodos

Se colocaron a germinar semillas de *Pachyrhizus ahipa* (Wedd.) Parodi de dos genotipos procedentes de Bolivia (AC521 y AC102) en cámara a 28°C y se trasplantaron a los 3 días en bolsas de polietileno con perlita y vermiculita (50/50) previamente humedecida con solución nutritiva Long Ashton libre de N (Hewitt, 1966). Al momento del trasplante se inocularon con distintas cepas de *Rhizobium spp.*, empleándose a tal efecto una cepa comercial como referencia (*Pachyrhizus* SPEC.1, LiphaTech Inc., Milwaukee, Wisconsin, USA), y dos cepas aisladas originalmente por M. Grum de *P. erosus* (PAC48) en Costa Rica y de *P. ferrugineus* (PAC55) en Honduras (Grum y Sørensen, 1998).

Durante todo el período de cultivo se regaron la solución nutritiva sin N basada en Hewitt (Leidi et al., 1997). Las plantas se cultivaron en invernadero desde el 18 de Febrero al 11 de Mayo del 2000 (83 días). Al momento de la cosecha, las plantas se dividieron en hojas, tallo más pecíolos, frutos, y raíces y nódulos, se pesaron en fresco, y se determinó el peso seco posteriormente al secado en estufa a 70°C.

Las distintas fracciones ya secas se molieron con mortero y se procedió al análisis de N total. El análisis de N se hizo previa digestión con sulfúrico y agua oxigenada y posterior valoración de amonio con el método del fenol-hipoclorito.

El diseño estadístico fue completamente aleatorizado y el análisis de la varianza se realizó con el programa Statistix.

## **Resultados**

### **Acumulación de biomasa.**

El crecimiento de la planta, expresados en peso fresco de hojas, tallos y frutos presentó diferencias significativas por efecto de la cepa de rizobio (Tabla 2). La cepa comercial (Spec. 1) fue menos eficiente en AC102 y AC521 que las seleccionadas PAC48 y PAC55, confirmando los datos previos del proceso de selección con un total de 10 cepas ensayadas (D.N. Rodríguez-Navarro, comunicación personal). Sin embargo no hubo diferencias por efecto de las cepas en el crecimiento de las raíces y en la masa nodular (Tabla 2).

Para el crecimiento expresados en peso seco, existieron diferencias significativas por efecto de las cepas de rizobio en la acumulación de materia seca en hojas y tallos (Tabla 3). Existieron diferencias significativas en el crecimiento de la raíces, en peso seco, entre variedades de ajipa (Tabla 3), registrándose una interacción cepa x cultivar significativa. No se encontraron diferencias por efecto de las cepas de rizobio en el crecimiento de los nódulos y frutos expresados en peso seco (Tabla 3).

### **Concentración y contenido de nitrógeno.**

Se observaron diferencias importantes por efecto de los tratamientos (variedad y cepa) en el contenido de nitrógeno en hojas, tallos y raíces pero no en el contenido de N de nódulos, sin embargo la concentración de nitrógeno en los nódulos fue significativamente afectada por los tratamientos cepa y cultivar (Tabla 4 y 5).

Existió interacción significativa cepa x variedad en la acumulación de N en hojas, tallos y raíces (Tabla 5). Como ocurriera en la acumulación de biomasa, la cantidad de N fijado por las cepas PAC48 y PAC55 fue significativamente superior a la cepa comercial, si bien la concentración de N en nódulos en esta última fue más elevada (Tabla 4).

## Discusión y conclusiones

Los resultados obtenidos muestran importantes diferencias de eficiencia en fijación simbiótica de nitrógeno entre cepas, que se traducen en diferencias significativas de crecimiento y contenido de nitrógeno en las plantas de ajipa. Por tanto, la selección de cepas de *Rhizobium*, puede efectivamente mejorar el potencial de fijación de nitrógeno en esta especie. La interacción cepa de rizobio x variedad de ajipa observada para algunos parámetros analizados indica igualmente la importancia del genotipo de la planta en el proceso de selección. Por este motivo se impone un estudio previo con las cepas más destacadas empleando las variedades de ajipa que se vayan a utilizar, para determinar en cada caso la mejor combinación cepa/cultivar (Rodríguez-Navarro et al., 1999).

En los ensayos de inoculación de ajipa efectuados con la cepa comercial (Spec. 1) en el Valle del Guadalquivir se ha observado una nodulación muy pobre y la ausencia de poblaciones autóctonas capaces de nodular en esta especie (Leidi, 2000). Grum y Sørensen (1998) señalaron que *Pachyrhizus* nodulaba escasamente en condiciones naturales, a pesar de su promiscuidad que le permite nodular con muchas bacterias simbióticas nativas. En estudios realizados con distintas líneas de *P. erosus* y una de *P. tuberosus*, se encontró una elevada variabilidad en nodulación y crecimiento en respuesta a la cepa comercial (Spec. 1) (Halfihi et al., 1994). En un estudio comparado entre *P. ahipa* y *P. erosus*, las poblaciones nativas de rizobios producían una nodulación escasa en *P. ahipa* pero abundante en *P. erosus* (Castellanos et al., 1997).

A pesar de la promiscuidad de *Pachyrhizus* indicada por algunos autores (Grum y Sørensen, 1998; Lynd y Purcino, 1987), sería posible mejorar la fijación de nitrógeno con la introducción de cepas más eficientes que las poblaciones nativas si son competitivas con las cepas autóctonas. En el Valle del Guadalquivir, la ausencia de poblaciones de rizobios que nodulen la ajipa (Leidi, 2000) permitiría la introducción de cepas efectivas y estudiar la capacidad de nodulación de las mismas. Los resultados de este trabajo demuestran claramente las diferencias en eficiencia de fijación de nitrógeno entre cepas bajo condiciones controladas, pero queda aún por determinar el comportamiento de las mismas en condiciones de campo.

En conclusión, la selección de cepas de *Rhizobium* para el cultivo de ajipa puede proporcionar microorganismos de elevada eficiencia simbiótica, y esta selección debería de comprobarse con el estudio de respuesta a las cepas seleccionadas con la variedad de ajipa a

emplear. Queda sin embargo la experimentación final en campo, para determinar los parámetros de nodulación y efectividad en condiciones naturales, que puedan traducirse en el beneficio real de un elevado aporte de nitrógeno para favorecer el crecimiento del cultivo de ajipa y una mejora del balance de N del suelo sin el empleo de fertilizantes nitrogenados.

### Agradecimientos

APSL agradece a la AECI la beca concedida, a D. Juan Cobo por su ayuda con el cultivo y las determinaciones efectuadas y a D<sup>a</sup> Asunción de Castro por su colaboración en los análisis de N. Este trabajo fue realizado dentro del Proyecto AHIPA FAIR6-CT98-4297.

### Bibliografía

- Badillo V., Castellanos J.Z. (1998) Fijación de nitrógeno bajo condiciones de campo en jícama (*Pachyrhizus ahipa* (Wedd.) Parodi y *P. erosus* (L.) Urban). En: Proceedings of 2<sup>o</sup> International symposium on tuberous legumes, pp. 389-397 (Sørensen M, Estrella JE, Hamann OJ, Rios Ruiz SA). MacKeenzie, København, Denmark.
- Castellanos J.Z., Zapata F., Badillo V., Peña-Cabriales J.J., Jensen E.S., Heredia-García E. (1997) Symbiotic nitrogen fixation and yield of *Pachyrhizus erosus* (L.) Urban and *Pachyrhizus ahipa* (Wedd.) Parodi landraces as affected by flower pruning. Soil Biol. Biochem. 29: 973-981.
- Cárdenas M. (1969) Manual de plantas económicas de Bolivia. Imprenta ICTHUS, Cochabamba Bolivia.
- Grau A., Ørting B. (1996) La ahipa *Pachyrhizus ahipa* (Wedd.) Parodi). Desarrollo Agroforestal y Comunidad Campesina No.28: 30-33.
- González Sanchez C. (1985) Guía para cultivar jicama en El Bajío. Folleto para productores No. 5: 1-12. Centro de Investigaciones Agrícolas de El Bajío, Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos, Celaya, México.
- Grum M., Sørensen M. (1998) *Pachyrhizus* DC. (Yam Bean) symbiosis with *Rhizobium* bacteria: Genetic variation and performance. En: Proceedings of 2<sup>o</sup> International symposium on tuberous legumes, pp. 419-439 (Sørensen M., Estrella J.E., Hamann O.J., Rios Ruiz S.A.). MacKeenzie, København, Denmark.
- Halafihi M., Grum M., Stølen O., Sørensen M. (1994) Biological nitrogen fixation in *Pachyrhizus* Rich. Ex DC). En: Proc. First Int. Symposium on Tuberous Legumes (Sørensen M., ed.), pp. 215-225. DSR Boghandel, Denmark.

- Hewitt E.J. (1966) Sand and water culture methods used in the study of plant nutrition. (2 rev. Ed) Commonw. Agric. Bur. Farnham Royal, Great Britain.
- Kjær S., Sørensen M. (1994) Symbiotic nitrogen fixation in *Pachyrhizus ahipa* (Wedd.) Parodi. En: Proc. First International Symposium on Tuberous Legumes (Sørensen M., ed.), pp. 227-235. DSR Boghandel, Denmark.
- Kjær S. (1992) Biological nitrogen fixation in *Pachyrhizus ahipa* (Wedd.) Parodi. Ann.Bot. 70: 11-17.
- Leidi E.O. (2000) AHIPA: Exploring the potential of a sustainable crop as an alternative non-food source. First Report FAIR6 CT98-4297.
- Leidi E.O., Sarmiento R., Mazuelos C., Rodriguez Navarro D.N. (1997) Efecto de la fuente de nitrógeno en la distribución de asimilados y composición de savia en ajipa (*Pachyrhizus ahipa* (Wedd.) Parodi). En: Nutrición Mineral de las Plantas en la Agricultura Sostenible (R. Sarmiento Solís, E.O. Leidi Montes, A. Troncoso de Arce, eds.) pp. 34-40. Serv. Publ. y Divulg., Consejería Agricultura y Pesca, Junta de Andalucía. ISBN 84-89802-09-2
- León J. (1964) Plantas alimenticias andinas. I.I.C.A. Boletín Técnico No. 6 pp.47-49, Lima.
- Ørting B., Grüneberg W.J., Sørensen M. (1996) Ahipa (*Pachyrhizus ahipa* (Wedd.) Parodi) in Bolivia. Genetic Resour. Crop Evol. 43: 435-446.
- Parodi L.R. (1935) Relaciones de la agricultura prehispánica con la agricultura Argentina actual. Anales Acad. Nac. Agron. y Veter., Buenos Aires, pp. 115-167.
- Rodríguez-Navarro D.N., Santamaria C., Temprano F., Leidi E.O. (1999) Interaction effects between *Rhizobium* strain and bean cultivar on nodulation, plant growth, biomass partitioning and xylem sap composition. European J. Agron. 11: 130-142.
- Sørensen M. (1988) A taxonomic revision of the genus *Pachyrhizus* (Fabacea-Phaseolae). Nord. J. Bot. 8: 167-192.
- Sørensen M. (1990) Observations on distribution, ecology and cultivation of the tuber-bearing legume genus *Pachyrhizus* Rich. Ex DC. Wageningen Agricultural University Papers 90: 1-38.
- Sørensen M. (1996) Yam bean *Pachyrhizus* DC. IPGRI, Rome, Italy.



Tabla 1. Valor nutricional de distintos cultivos andinos. Carbohidratos, proteínas, grasas y cenizas están expresados en % de peso seco. Humedad (%) está referida a peso fresco. Calorías están expresadas por 100 gramos de peso fresco (Grau y Ørting, 1997)

	<b>Ajipa</b> <i>Pachyrhizus</i> <i>ahipa</i>	<b>Yacon</b> <i>Polymnia</i> <i>sonchifolia</i>	<b>Ulluco</b> <i>Ullucus</i> <i>tuberosus</i>	<b>Mashua</b> <i>Tropaeolum</i> <i>tuberosum</i>	<b>Oca</b> <i>Oxalis</i> <i>tuberosa</i>	<b>Papa</b> <i>Solanum</i> <i>tuberosum</i>
		Min.-max.	Min.-max.	Min.-max.	Min.-max.	
Carbohidrato	80	60-70	73-81	70-80	83-89	84
Proteína	12	6-7	11-16	7-16	3-8	9
Grasa	0.8	0.4-0.3	0.5-0.6	0.1-1.4	0.5-0.6	0.5
Fibra	5	4-6	4-5	8-9	4-5	0.9
Ceniza	5	4-7	3-4	4-6	2-3	5
Humedad	87	69-83	86	78-92	80-85	78
Calorias	73	<5	52-54	27	55-75	80

Tabla 2. Peso fresco de hojas, tallo+pecíolos, frutos, raíces y nódulos de dos variedades de ajipa inoculadas con distintas cepas de *Rhizobium spp.* (en gramos).

Variedad	Cepa	Hojas	Tallo	Frutos	Raíz	Nódulos
AC102	PAC48	10.64	11.60	0.43	4.89	2.68
AC102	PAC55	12.02	13.67	0.00	5.54	2.09
AC102	Spec1	8.72	7.90	0.97	5.74	2.26
AC521	PAC48	12.42	13.53	0.70	5.98	2.92
AC521	PAC55	11.28	13.12	0.44	6.06	2.43
AC521	Spec1	8.98	8.59	3.07	5.93	2.79
MDS <sub>0.05</sub>		---	---	---	---	---
ANDEVA	Variedad	N.S.	N.S	N.S	N.S	N.S
	Cepa	P<0.05	P<0.01	P<0.05	N.S	N.S
	V x C	N.S.	N.S	N.S	N.S	N.S

N.S., no significativo

Tabla 3. Peso seco de hojas, tallo+pecíolos, frutos, raíces y nódulos de dos variedades de ajipa inoculadas con distintas cepas de *Rhizobium spp.* (en gramos).

Variedad	Cepa	Hojas	Tallo	Fruto	Raíz	Nódulos
AC102	PAC48	2.02	1.57	0.07	0.12	0.37
AC102	PAC55	2.34	1.79	0.00	0.36	0.30
AC102	Spec1	1.76	1.17	0.14	0.37	0.28
AC521	PAC48	2.40	2.02	0.09	0.60	0.42
AC521	PAC55	2.28	1.49	0.10	0.44	0.39
AC521	Spec1	1.03	0.58	0.23	0.49	0.36
MDS <sub>0.05</sub>				---		---
ANDEVA	Variedad	N.S	N.S	N.S	P<0.001	N.S
	Cepa	P<0.001	P<0.001	N.S	N.S	N.S
	V x C	N.S	N.S	N.S	P<0.01	N.S

N.S., no significativo

Tabla 4. Concentración de N en distintas partes de plantas de ajipa inoculadas con diferentes cepas de *Rhizobium spp.* (en g N/100 g materia seca).

Variedad	Cepa	Hojas	Tallo	Raíz	Nódulos
AC102	PAC48	3.91	2.88	3.19	4.42
AC102	PAC55	3.95	2.95	3.44	4.61
AC102	Spec1	3.88	2.76	3.14	5.27
AC521	PAC48	4.01	3.30	3.02	4.42
AC521	PAC55	3.66	2.59	3.34	4.06
AC521	Spec1	3.76	2.63	3.25	4.88
MDS <sub>0.05</sub>		---	---	---	2.07
ANDEVA	Variedad	N.S	N.D.	N.D.	P<0.05
	Cepa	N.S	N.D.	N.D.	P<0.001
	V x C	N.S	N.D.	N.D.	N.S

N.S., no significativo.

N.D., no determinado al realizarse el análisis químico una muestra compuesta (repeticiones unidas).

Tabla 5. Contenido de N en distintas partes de plantas de ajipa inoculadas con diferentes cepas de *Rhizobium spp.* (mg N)

Variedad	Cepa	Hojas	Tallo	Raíz	Nódulos
AC102	PAC48	78.8	45.2	4.5	16.4
AC102	PAC55	90.9	52.6	14.2	12.8
AC102	Spec1	67.2	32.2	15.4	14.4
AC521	PAC48	95.8	66.7	18.1	18.5
AC521	PAC55	83.5	38.3	14.8	15.9
AC521	Spec1	40.8	15.3	16.0	17.7
MDS <sub>0.05</sub>		20.8	20.8	20.8	---
<b>Resultado</b>	<b>Variedad</b>	N.S	N.S	P<0.01	N.S
<b>ANDEVA</b>	<b>Cepa</b>	P<0.001	P<0.001	P<0.05	N.S
	<b>V x C</b>	N.S	P<0.01	P<0.001	N.S

N.S., no significativo