

PREPRINT: published by
Servicio de Publicaciones y Divulgación, Consejería de Agricultura
y Pesca, Junta de Andalucía. ISBN: 84-8474-056-0 (2002)

El cultivo de ajipa.

Una posible alternativa para la producción de hidratos de carbono, proteína y aceite en un sistema de agricultura sostenible.

Eduardo O. Leidi¹, Leonardo Velasco² y Dulce N. Rodríguez-Navarro³

¹Instituto de Recursos Naturales y Agrobiología de Sevilla, CSIC, Avda. Reina
Mercedes 10, 41012 Sevilla

²Instituto de Agricultura Sostenible, CSIC, Finca Alameda del Obispo, Córdoba

³Centro de Investigación y Formación Agraria Las Torres-Tomejil, DGIEA,
Consejería de Agricultura y Pesca, Apartado Oficial, 41200 Alcalá del Río (Sevilla)

Introducción

La ajipa, cuyo nombre científico es *Pachyrhizus ahipa* (Wedd.) Parodi, es una planta de la familia Leguminosas ya cultivada por los Incas durante el período precolombino, junto con especies muy habituales y mucho más conocidas para nosotros, como el maíz y el pimiento. De la importancia de la ajipa durante el período Inca dan cuenta los hallazgos arqueológicos de restos de raíces en enterramientos humanos (Paracas-Necrópolis), y las representaciones en cerámica y bordados de distintas culturas (Mochica, Nasca).

El principal interés de esta planta es la raíz tuberosa, porque acumula hidratos de carbono, principalmente azúcares y almidón. Un producto adicional de la ajipa son las semillas, ricas en proteínas y aceite como la soja.

Existen otras especies dentro del género *Pachyrhizus* con similar capacidad de producir raíces tuberosas, de las que destaca la jícama (*Pachyrhizus erosus* (L.) Urban), cultivada en México y en países del Sudeste Asiático, donde se emplea como una especie hortícola, y el jacatupé (*Pachyrhizus tuberosus* (Lam.) Spreng.), con cierta importancia en algunas comunidades indígenas de Perú, Ecuador y Brasil.

La ajipa puede obtener nitrógeno atmosférico en asociación simbiótica con rizobios, lo que le hace particularmente atractiva en cuanto a que puede ser cultivada sin la necesidad de aporte de fertilizantes nitrogenados. Otro aspecto que se debe resaltar es la tolerancia al ataque de ciertas plagas por la presencia de compuestos insecticidas en sus hojas y semillas. Por estas propiedades, la ajipa puede constituir una especie alternativa interesante para un sistema productivo sostenible, donde la inversión en fertilización y tratamientos de plaguicidas podrían reducirse o evitarse, al tiempo que producir materias primas de interés para la industria y la alimentación humana y animal. Otro subproducto de este cultivo son las hojas y vainas que al momento de la cosecha presentan una elevada concentración de proteínas, por lo que puede constituir un forraje de alto valor nutritivo.

Se deberían desarrollar todavía muchos aspectos para mejorar el potencial de este cultivo: la mejora genética puede, además de incrementar el potencial productivo, desarrollar aún más sus características como hortaliza similar a la patata o boniato para el consumo humano, o bien la vertiente de producción de azúcar y almidón en las raíces, y proteínas y aceite en las semillas con destino industrial. Este trabajo tiene por objeto divulgar los aspectos conocidos de la ajipa durante los años de experimentación de su cultivo en Andalucía, en los que se ha evaluado la capacidad de adaptación, el potencial productivo, la riqueza en azúcares y almidón en las raíces y proteínas y aceite en semillas. Otro propósito es identificar las necesidades de investigación para mejorar el potencial productivo y los posibles destinos de la producción, para suministro de materias primas de valor industrial o como nueva especie hortícola.

La biodiversidad existente en las zonas de Sudamérica permite augurar importantes logros en múltiples aspectos tales como cultivares de mayor precocidad, mayor eficiencia en el uso del agua, variedades de uso predominantemente hortícola, con una raíz de calidad aceptable para consumo en fresco, cultivares para la explotación industrial de la riqueza en almidón y azúcar de sus raíces, o el empleo de sus semillas para la extracción de proteína, aceite y compuestos insecticidas.

Este trabajo pretende hacer conocer al sector agrario un cultivo nuevo, todavía en fase experimental, que puede constituir una alternativa real para la actividad agrícola en Andalucía, limitada por las regulaciones impuestas a los cultivos tradicionales, y cuya implantación podría derivar en mejoras económicas y medioambientales a través de la diversificación y reducción en el empleo de abonos nitrogenados e insecticidas.

Usos de la ajipa.

La raíz tuberosa de esta leguminosa es empleada en la actualidad por pequeñas comunidades de Sudamérica, donde se consume como fruta, por su sabor dulce y refrescante (Grau, 1997), y constituye una fuente de energía, fibra y vitaminas adicional en la

dieta de estas poblaciones. Una especie del mismo género, la jícama, es cultivada en zonas más cálidas de México, desde donde se exporta a EE.UU. para su consumo en fresco en mercados de hortalizas, y también se produce en el Sudeste Asiático, en particular Tailandia, para consumo humano.

El proyecto AHIPA, financiado por la Unión Europea, permitió realizar estudios sobre el potencial de la ajipa para la producción de proteínas e hidratos de carbono destinados a la industria (Leidi, 2001). Las conclusiones de este trabajo apuntan a que, efectivamente, este cultivo resulta de interés para la producción de almidón, azúcares, proteínas y aceite de uso industrial. Existe un mercado importante para los cultivos industriales alternativos, proveedores de almidones, azúcares, aceites y proteínas, como materia prima en la síntesis de solventes orgánicos, plásticos, biocomposites, lubricantes y aditivos (Bartle, 2002). El posible empleo de las semillas como suplemento proteico en alimentación animal es otro de los aspectos de importantes, dada la demanda creciente de fuentes de proteínas de origen vegetal alternativas a las harinas de carne para la elaboración de piensos. En la actualidad, la existencia de cultivos tradicionales que aportan materias primas de similares cualidades y cuyo conocimiento está bien arraigado en el sector agrario, hacen difícil la implantación de la ajipa como cultivo alternativo. Sin embargo, el valor añadido de la ajipa en relación a otros cultivos es la diversidad de materias primas producidas y el bajo coste de producción y bajo impacto ambiental, por su capacidad de fijación de nitrógeno en simbiosis con rizobios y relativa tolerancia al ataque de plagas. Los restos de cosecha pueden representar un importante retorno del nitrógeno fijado y mejorar el balance para este nutriente en el suelo.

La capacidad competitiva, en términos de rendimiento, del germoplasma disponible de ajipa en comparación con cultivos tradicionalmente empleados para la producción de almidón, azúcares y proteínas, podría aumentarse significativamente con la aplicación de sencillos métodos de mejora. En este sentido hay que tener en cuenta que la mejora genética que ha ido aumentando el rendimiento de los cultivos tradicionales hasta los niveles actuales, no se ha empleado en la ajipa, al menos de forma sistemática y continuada, si bien es posible

que los antiguos pobladores de las zonas donde se ha cultivado la ajipa por años, hayan hecho trabajos de selección con el material disponible.

Producción.

Los datos de producción de raíces de ajipa, obtenidos con las variedades disponibles en Andalucía, varían entre 15 y 50 toneladas por hectárea en ciclos de cultivo de 150-180 días. Esta gran variación de rendimiento se explica por la diferencia en el potencial productivo de raíces en las distintas variedades, la fecha de siembra, la densidad de plantación, etc. La práctica de desbotonado o defloración (remoción manual o química de flores para impedir la formación de vainas) puede incrementar en más del 100% el rendimiento de raíces en algunas variedades. El empleo de variedades de floración escasa o tardía es una alternativa para evitar gastos adicionales en trabajos de desbotonado.

La producción de semilla también depende de la variedad, y existen algunas introducciones de ajipa con mayor potencial de producción de frutos que de raíces. Una de las variedades más estudiadas en esta zona (AC521) puede llegar a producir 1,2-1,5 toneladas de semilla por hectárea adicionales a la producción de raíz.

Composición de la raíz tuberosa.

Entre las materias primas obtenidas del cultivo de la ajipa deben destacarse el almidón y los azúcares de las raíces tuberosas. El almidón producido por las raíces tiene una alta proporción de amilopectina en relación a amilosa, que lo hace válido para procesos de la industria alimentaria cuando se debe reducir los efectos de retrogradación del almidón (Forsyth y col., 2002). El contenido de azúcares es bastante elevado, y se compone fundamentalmente de azúcares reductores (glucosa), mientras la sacarosa está presente en baja proporción.

Los contenidos de nitrógeno son variables dependiendo del material vegetal, y en general se corresponde con compuestos de nitrógeno solubles como aminoácidos (Forsyth y Shewry, 2002; Leidi, 2001; Velasco y Grüneberg, 1999). Esta característica puede ser de importancia en el empleo de los remanentes de la extracción de almidón y azúcar, consistentes en fibras no solubles y compuestos nitrogenados, en alimentación animal.

En la Tabla 1 se muestran valores medios (promedio de siete genotipos) del contenido de materia seca y compuestos de interés industrial y nutricional. Se debe destacar que, entre los aminoácidos solubles presentes en extractos celulares de las raíces, no se ha observado la presencia del aminoácido canavanina, un compuesto que sí se acumula en las semillas de ajipa. En cuanto a la composición mineral de las raíces, el principal nutriente acumulado es el potasio.

Tabla 1. Composición de las raíces tuberosas de ajipa en contenido de materia seca, compuestos orgánicos y elementos minerales (media de 7 genotipos) (en %).

Materia seca %	Azúcares %	Almidón %	Proteínas¹ %	Aminoácidos %
19	37	44	3	0,42
Minerales	N %	P %	K %	Ca %
	0,32	0,14	1,07	0,13
	Fe ppm	Mn ppm	Zn ppm	Cu ppm
	8	2	17	9

¹Valores de proteína calculados a partir de la concentración de N Kjeldahl.

Composición de las semillas.

En las semillas de ajipa hay una elevada concentración de proteínas (Tabla 2), alcanzando valores cercanos a los de semillas de otras leguminosas como judías y lentejas y constituido por proteínas de similares características (Forsyth y Shewry, 2002), por tanto

con un alto valor potencial para la fabricación de piensos o como insumo para la preparación de adhesivos. El aceite procedente de la semilla, cuya concentración también alcanza valores próximos a los de semilla de soja, tienen la particularidad de presentar una alta concentración de γ -tocoferol y ácido palmítico, lo que le confiere un alto interés para la industria (Grüneberg y col., 1999).

Otros productos a obtener de la semilla son el aminoácido canavanina, con posibles usos farmacológicos para tratamiento de ciertos tipos de cáncer y desórdenes derivados de procesos isquémicos, y la rotenona, un compuesto insecticida efectivo para el control de ciertas plagas. La presencia en semillas del aminoácido canavanina es constante en los distintos genotipos estudiados, y podrían constituir un recurso de este compuesto para la industria farmacéutica.

El contenido de nutrientes minerales, en particular hierro y calcio, es similar al de la semilla de judía.

Tabla 2. Composición típica de las semillas de ajípa en contenido de materia seca, compuestos orgánicos y elementos minerales.

Azúcares	Almidón	Grasas	Proteínas¹	Aminoácidos
%	%	%	%	%
10	4	21	28	0,21
Minerales	N	P	K	Ca
	%	%	%	%
	5,00	0,52	1,50	0,13
	Fe	Mn	Zn	Cu
	ppm	ppm	ppm	ppm
	50	15	44	10

¹Valores de proteína calculados a partir de la concentración de N Kjeldahl.

Requerimientos para su cultivo.

Clima.

No existen estudios específicos sobre las necesidades climáticas de la ajipa y/o sobre su rango de adaptación. Sin embargo, la procedencia de las líneas disponibles (zonas elevadas en la zona Andina de Bolivia y Norte de Argentina) hacía suponer una cierta tolerancia al frío. La germinación requiere de temperaturas relativamente elevadas y las temperaturas de 0 a -1°C ya producen daños por helada. No tenemos datos de temperaturas óptimas para los períodos de crecimiento vegetativo y reproductivo.

Los primeros informes sobre el cultivo indicaban insensibilidad al foto y termoperíodo (Sørensen, 1996). Sin embargo, estudios posteriores realizados con germoplasma de introducción reciente, han podido detectar una cierta variación en respuesta a la longitud del día en el tiempo a floración y desarrollo de la raíz tuberosa (Ørting y Sørensen, 2001).

Cultivo de ajipa.

Germoplasma.

Las pocas variedades de ajipa que tenemos han sido rescatadas del olvido, y posiblemente de su extinción, hace muy pocos años (Sørensen, 1996). Los trabajos de mejora genética, son por tanto, también muy recientes (Grüneberg y col., 1998), y se han efectuado con vistas a aumentar la cantidad y calidad de la materia seca producida por las raíces (almidón y azúcares), aunque quedan por realizar muchos trabajos con objeto de mejorar la adaptación y productividad del cultivo a nuestras condiciones ambientales.

El germoplasma disponible de ajipa, y sobre el cual se han efectuado los ensayos en Andalucía, procede de colecciones obtenidas en prospecciones botánicas efectuadas por Bo

Ørting y Marten Sørensen (Royal Veterinary and Agricultural University, Dinamarca) y Wolfgang Grüneberg (Georg-August-University of Göttingen, Alemania).

El material presenta variación en una serie de caracteres morfológicos (color de la flor y el tegumento seminal, pubescencia, hábito de crecimiento, número y forma de las raíces tuberosas) (Figura 1), fisiológicos (abundancia y precocidad de la floración) y de interés agronómico (índice de cosecha, rendimiento en materia seca, almidón y azúcar en raíces, etc.).

Entre las introducciones estudiadas en Andalucía podemos distinguir aquellas de porte determinado o indeterminado, y con distinta capacidad de producción de vainas y raíces. Se debe tener en cuenta que la mayor producción de raíces se obtiene con aquellas variedades que presentan menor producción de vainas. De hecho, en las zonas donde existe una elevada disponibilidad de mano de obra, la eliminación de flores para evitar o retrasar la formación de frutos, puede incrementar la producción de raíz tuberosa en más del 100%. Un carácter deseable para la producción es, por tanto, una floración escasa. Del germoplasma que disponemos, existen algunas entradas como AC203 y AC230, que florecen y fructifican poco, y han dado altas producciones de raíces sin labores de desfloreo.

Siembra.

La ajipa es un cultivo de primavera-verano, cuya siembra puede efectuarse desde el mes de Abril en Andalucía según la experiencia adquirida con el germoplasma de nuestro banco de semillas. Se podría adelantar la siembra a Marzo por procedimientos similares a los empleados en el algodón con cobertura de plástico. Las introducciones de ajipa disponibles requieren temperaturas elevadas para germinar, sin embargo es posible que existan variedades con menor requerimiento térmico para el inicio de la germinación. La temperatura óptima de germinación, determinada en el laboratorio, se aproxima a 30°C, similar a la que necesita el algodón. Para siembras con temperaturas apropiadas, a la semana puede producirse la nascencia consistente en la aparición de la yema terminal y el primer par

de hojas, ya que como el garbanzo y el guisante, los cotiledones quedan bajo la superficie del suelo (Figura 2).

Durante la germinación, se requieren temperaturas relativamente elevadas para una buena emergencia. En experimentos de laboratorio se ha determinado una temperatura de germinación óptima de 30°C con la línea AC521 (E.O. Leidi, no publicado). No se observó germinación si la temperatura era inferior a 15°C. En estudios en campo, empleando sondas de temperatura a la profundidad de siembra, se observó que en condiciones de humedad óptima la nascencia se producía a los 11-12 días si la temperatura media del suelo estaba entre 20 y 23 °C.

Las temperaturas bajas de otoño (10-15°C) detienen totalmente el crecimiento vegetativo, aparecen hojas con síntomas de *acartonamiento* (Leidi y col., 2001), se inducen procesos de senescencia foliar y el desarrollo de raíces se ralentiza o se detiene completamente. Temperaturas del aire de 0 a -1°C producen daños por helada en el cultivo.

Densidad de siembra.

La densidad de siembra puede variar según el tipo de variedad. Si bien se recomienda una densidad aproximada de 100.000 plantas por hectárea, estos valores serían más adecuados para los genotipos que más hemos estudiado, de mata pequeña y sin guías. Otros genotipos más vigorosos, requerirían menor densidad de plantación. Distancias de siembra entre 15-20 cm entre plantas parecen apropiadas, si bien siembras tardías o con variedades de escaso porte podrían tener mayor capacidad de producción con menor distancia de siembra.

Inoculación.

En los suelos en los que se ha cultivado no se ha observado nodulación de sus raíces por la presencia de rizobios, fenómeno de extraordinaria importancia para sacar provecho de

su capacidad de fijar nitrógeno del aire y por tanto, su independencia del aporte de fertilizantes nitrogenados. Es de destacar sin embargo la escasa respuesta a la fertilización nitrogenada como consecuencia de una baja tasa de absorción y asimilación del nitrato disponible (Leidi y col., 2001). Por tanto, una práctica fundamental en nuestras condiciones es la inoculación con cepas de rizobios de comprobada eficiencia (Figura 3), de modo que la planta pueda formar los órganos de captación de nitrógeno del aire (los nódulos) desde el establecimiento del cultivo, para lograr un crecimiento inicial vigoroso que asegure el éxito de la implantación del cultivo. Los inoculantes con rizobios apropiados deben mezclarse con la semilla antes de la siembra, del mismo modo como se efectúa con otras leguminosas grano o forrajeras. La inoculación con cepas efectivas permite obtener una buena nodulación de las raíces (Figura 3) que se traduce en una clara respuesta del cultivo en los suelos con baja concentración de nitrógeno. Una ventaja adicional de la fijación simbiótica de nitrógeno es la mejora en la capacidad de absorción de otros nutrientes, por efecto de acidificación rizosférica inducida y el aumento de la disponibilidad de nutrientes con baja solubilidad en suelos calizos (Vidueira y col., 2001).

Suelos.

No existen estudios específicos sobre el efecto del tipo de suelos en el cultivo de ajipa. Los suelos de textura franca a franco-arenosa serían los más apropiados, como se recomiendan para la jícama, una leguminosa similar de zonas tropicales. La permeabilidad de los suelos sueltos y bien aireados impediría condiciones de anoxia y disminuiría los riesgos de putrefacción de raíces.

No se hemos observado problemas nutricionales importantes en los suelos donde se ha cultivado, a pesar de la reacción alcalina de los suelos y el elevado contenido de calcio. Es posible, sin embargo, que los suelos de reacción ácida sean más apropiados para su cultivo. En un trabajo realizado en distintas localidades de España y Portugal, se pudo observar que la principal limitación de los suelos calizos para el cultivo de ajipa era la reducida

disponibilidad de fósforo y zinc, detectándose niveles críticos en hoja para los citados nutrientes (Vidueira y col., 2001).

Riego.

Algunos estudios han indicado la posible tolerancia a sequía de la ajipa en comparación con la jícama. Los únicos estudios efectuados en ajipa con niveles de riego se han realizado en Portugal, y en ellos se ha observado que la reducción del aporte de agua al 50% de la evapotranspiración (medida en tanque evaporimétrico) producía una disminución de la producción del 50% (Leidi, 2001).

Los distintos ensayos efectuados en la Provincias de Sevilla (Alcalá del Río, Coria del Río) y Jaén (Sabiote), se efectuaron con riegos a manta, en surco o goteros, con frecuencias regulares (cada dos semanas en pleno verano) para obtener la máxima producción potencial. Se debe indicar que, a pesar de la suficiente disponibilidad de agua en el suelo, en las horas de mayor temperatura se producía una reorientación de las hojas (movimiento paraheliotrópico), similar al que se produce en sequía, para reducir la temperatura foliar.

Fertilización.

El empleo de la técnica de inoculación en el momento de siembra con cepas de rizobios específicas evitaría recurrir a la fertilización con nitrógeno. Por otra parte, no se produciría una mejora de la producción con el empleo de fertilizantes nitrogenados, dada la baja capacidad de absorción de las raíces ya señalada. Sin embargo, es posible que el cultivo de ajipa presente una respuesta positiva al empleo de otros nutrientes como fósforo y potasio, como lo indican las concentraciones críticas observadas en el análisis foliar, dado los elevados requerimientos para la producción de raíces y semillas (Leidi y col., 2001). La fertilización con fósforo tiene un efecto positivo importante en la nodulación del cultivo (Nielsen et al., 1998), por lo que una mejora de la nutrición fosforada podría aumentar de

forma significativa la producción al incrementar indirectamente la capacidad de fijación simbiótica de nitrógeno.

Cosecha

La cosecha de raíces tuberosas se efectúa hacia finales de Octubre a Noviembre, período en que el cultivo, aún permaneciendo verde, detiene su crecimiento y las raíces pueden alcanzar tamaños entre 0,2 y 0,5 kg por planta (Figura 4). En densidades de siembra bajas, algunos genotipos han producido plantas con raíces de peso superior a 1 kg después de 160 días de cultivo. Es muy significativo el efecto de la fecha de siembra, ya que retrasos de 20 días (durante el período de Mayo a Junio), produjo una reducción de la producción de raíces del 50% en cuatro variedades diferentes.

La madurez de los frutos se alcanza muy lentamente, y en nuestras condiciones, para obtener semillas se debe proceder al secado de las vainas en cobertizos o sistemas de secado con circulación forzada de aire (30-35°C). La reducción de las horas de sol y la disminución de las temperaturas durante el otoño no nos ha permitido obtener frutos completamente secos en campo (Figura 4). La madurez fisiológica de la semilla se alcanza antes del secado completo de las vainas, por lo que es posible obtener semillas viables recogiendo vainas aún inmaduras o *verdes* (coloración verde-amarillento), con alto contenido de agua, y secando el fruto completo antes de la trilla. Si se acumulan las vainas en zonas de secado al aire o al sol, debe removerse con frecuencia para evitar la putrefacción por esclerotinia. Esto se evita empleando temperaturas de secado entre 30-35°C, que permiten secar las vainas en períodos de tiempo razonablemente cortos y obtener semilla viable. Uno de los problemas de la naseancia del cultivo, que es la variabilidad en la emergencia, puede ser consecuencia del grado de llenado de las semillas, que pueda influir en su vigor germinativo.

Plagas

Nemátodos

El principal problema que afecta severamente el cultivo es la presencia de nemátodos según la experiencia recogida en los ensayos efectuados en la provincia de Sevilla y el Sur de Portugal. Una alta población de nemátodos formadores de nódulos (*Meloidogyne* spp.) en el suelo puede hacer fracasar totalmente el cultivo, por lo que previamente a la siembra debe estimarse el número y tipo de nemátodos que predominan en la parcela. Los síntomas característicos del ataque por nemátodos consisten en la pérdida de turgencia de plantas en la línea de siembra, que acaban muriendo a los pocos días (Figura 5). Cuando se da esta situación, se observa la raíz principal totalmente destruída por el ataque de otros organismos (hongos y bacterias) en las heridas causadas por el parásito. En otras ocasiones, con ataques más leves, se observa las características nudosidades en raíces (bien diferentes de los nódulos de rizobios), y a la cosecha la formación de abultamientos en la raíz tuberosa (Figura 5).

Algunos indicios de la posible existencia de problemas de nemátodos puede obtenerse del cultivo precedente, donde la observación de los síntomas característicos como la deformación de raíces (nudosidades, abultamientos), marchitez a pesar de disponer de agua en el suelo, o el crecimiento irregular (enanismo en maíz) pueden ser indicadores de la presencia de nemátodos. En estos casos es totalmente desaconsejable la siembra de ajipa en esos suelos sin un estudio específico de la población de nemátodos, o se corre el riesgo de perder totalmente el cultivo.

En estudios realizados por la Dra. Carmen Lobatón (Departamento de Zoología, Facultad de Biología, Universidad de Sevilla) sobre material procedente de una parcela experimental situada en Coria del Río, sembrada durante cierto número de años con monocultivo de maíz, se llegó a la identificación de la principal especie de nemátodo causante del ataque como *Meloidogyne hapla* Chatwood (1948).

Insectos y otras plagas.

Durante los años de experimentación de campo con el cultivo en la provincia de Sevilla no fue necesaria la aplicación de compuestos insecticidas. Se detectó la presencia, según años y cultivos vecinos, de mosca blanca en hojas (*Bemisia* spp.), algunos tipos de chinche (*Nezara* spp.) y orugas de lepidópteros (*Prodenia* spp.) en estado vegetativo y durante el desarrollo de las vainas, sin alcanzar poblaciones de importancia para justificar el uso de compuestos insecticidas. Se ha observado gran resistencia al ataque de araña roja (*Tetranychus* spp.), al no observarse ataque de esta plaga sobre ajipa cuando en la vecindad existían cultivos infestados.

En invernadero, las plantas de experimentación y multiplicación, resultaron particularmente afectadas por ataques de cochinilla harinosa (*Planococcus* spp., Homoptera), localizadas en mayor densidad en la porción proximal de las vainas durante el período de llenado.

Malas hierbas.

Las malas hierbas de verano típicas de zonas de regadío, pueden causar un perjuicio importante al cultivo, por la competencia por luz y nutrientes. Debido al lento crecimiento inicial de los cultivares disponibles, sería de interés conocer la tolerancia de la ajipa a herbicidas de presiembra o preemergencia similares a los empleados para otras leguminosas como soja o judía. Son aconsejables labores de deshierbe manual o tratamiento con herbicidas tipo bentazona para el control de las malas hierbas más frecuentes durante el período de cultivo como verdolaga (*Portulaca oleracea* L.) y juncia o castañuela (*Cyperus rotundus* L.).

Enfermedades.

En un campo experimental (Coria del Río) durante 1999 se produjo una mortandad baja de plántulas por hongos del suelo. En estadíos posteriores del cultivo no se observó una incidencia de enfermedades fúngicas o bacterianas, con la excepción del complejo patógeno causante de la pudrición de raíces afectadas por ataque de nemátodos. En Córdoba, la observación de síntomas consistentes en reducción de crecimiento y aparición de coloraciones amarillentas en el haz de las hojas podría estar asociada al ataque de virus o micoplasmas.

Con posterioridad a la cosecha, y por la elevada humedad de las raíces y vainas cosechadas y las temperaturas bajas de otoño e invierno, era frecuente el ataque de podredumbre blanca por *Sclerotinia* spp. con gran producción de esclerocios en las vainas y raíces afectadas (Figura 6).

Entre las enfermedades fisiogénicas detectadas cabe destacar la aparición de manchas cloróticas en el primer par de hojas de plántulas, cuando se registran altas temperaturas después de la emergencia, y el ya indicado *acartonamiento*, consistente en aparición de amplias zonas de color pardo y menor flexibilidad en las hojas. Ambos síntomas se han relacionado a una elevada acumulación de calcio en los tejidos y una baja concentración de potasio.

Perspectivas de futuro

El potencial de este cultivo aún debe ser mejorado con la obtención de variedades con mayor adaptación a las condiciones locales, mayor uniformidad en germinación y vigor, mayor velocidad de crecimiento, mayor competitividad con las malas hierbas, etc. Una vez superada esta fase previa de mejora y evaluación, se pondrán a disposición de los agricultores interesados variedades comprobadas para el conocimiento de su cultivo.

Según las necesidades de mercado, puede constituir un cultivo estrictamente industrial, o ser explotado como una nueva hortícola, para consumo en fresco o cocido.

El interés por la producción de almidón no decae dada la gran variedad de usos industriales de este producto, destinado a plásticos, textiles, papel, componente de productos alimentarios, farmacéuticos y cosméticos, etc. Los subproductos del cultivo son las proteínas de la semilla, que pueden emplearse en piensos y otras aplicaciones, y el aceite, con alto valor industrial. Otros productos extraíbles de la semilla como rotenona y canavanina pueden emplearse como insecticida orgánico y potencial componente farmacéutico respectivamente.

La raíz tuberosa, como nuevo cultivo hortícola, puede ser empleada cruda en ensaladas, como la especie tropical relacionada conocida como jícama, o cocida en recetas más elaboradas, con la particularidad que después de la cocción mantiene la textura, el dulzor y la consistencia crujiente característica.

Agradecimientos

Los trabajos realizados fueron financiados mayoritariamente con fondos del proyecto de la Unión Europea AHIPA (FAIR6 CT98-4297). Los autores agradecen a B. Ørting, M. Sørensen (Royal Veterinary and Agricultural University, Dinamarca) y W. Grüneberg (Georg-August-University of Göttingen, Alemania) la cesión de germoplasma y a J. Cobo, J.M. Vidueira, F. Sánchez, M. Fernández, M. Camacho, F. Temprano y E. Fernández por la colaboración en los ensayos de campo, y a R. Sarmiento y A. de Castro por su ayuda en las determinaciones químicas.

Referencias

- Bartle, I.D.G. (2002) Industrial crops: a global opportunity. The role of ERRMA (European Renewable Resources and Materials Association). 3rd International Congress & Trade Show Green-Tech® 2002 and 5th European Symposium Industrial Crops and Products, pp. 15-16. Floriade, Holanda.
- Forsyth, J.L., Ring, S.G., Noel, T.R., Parker, R., Cairnes, P., Findlay, K., Shewry, P.R., 2002. Characterization of starch from tubers of yam bean (*Pachyrhizus ahipa*). *J. Agric. Food Chem.* 50: 361-367.
- Forsyth, J.L., Shewry, P.R., 2002. Characterization of the major proteins of tubers of yam bean (*Pachyrhizus ahipa*). *J. Agric. Food Chem.* 50: 1939-1944.
- Grau A. (1997) Ahipa, la legumbre tuberosa de los Andes. *Ciencia Hoy* 7: 31-38.
- Grüneberg, W.J., Goffman, F.D., Velasco, L. (1999) Characterisation of yam bean (*Pachyrhizus* spp) seeds as potential sources of high palmitic acid oil. *J. Amer. Oil Chem. Soc.* 76, 1309 –1312.
- Leidi, E.O. (2001) AHIPA: Exploring the potential of a sustainable crop as an alternative non-food source. Final Report, FAIR6-CT98-4297. IRNAS-CSIC, Sevilla.
- Leidi, E.O., De Castro A., Sarmiento R. (2000) Nutrición mineral de ajipa (*Pachyrhizus ahipa* [Wedd.] Parodi). VIII Simposium Nacional – IV Ibérico sobre Nutrición Mineral de las Plantas, Murcia.
- Leidi, E.O., Lips, S.H., Rodríguez, D.N. (2001) Nitrate nutrition in ahipa: low uptake and/or assimilation are responsible for low nitrogen-use efficiency ? VIth International Symposium on Inorganic Nitrogen Assimilation- IVth FOHS Biostress Symposium, July 8-12, Reims, France.
- Nielsen P.E., Manu V.T., Sørensen M., Stølen O. (1998) P-fertilizer effects on growth, nodulation, N and P uptake and utilisation for fresh and dry matter yield in *Pachyrhizus ahipa* (Wedd.) Parodi. In: Sørensen, M., Estrella, J.E., Hamann, O.J., Ríos Ruíz, S.A. (Eds.), Proceedings 2nd International Symposium on Tuberous Legumes, 5-8 August 1996, Celaya, Guanajuato, Mexico. Jordbrugsforlaget, København, pp. 469-488.
- Ørting B., Sørensen, M. (2001) Final Report Participant 3. In: AHIPA: Exploring the potential of a sustainable crop as an alternative non-food source. Final Report FAIR6-CT98-4297 (Leidi E.O., ed.) pp. 84-121. IRNAS-CSIC, Sevilla.

- Sørensen, M., 1996. Yam bean *Pachyrhizus* DC. Promoting the conservation and use of underutilized and neglected crops 2. Institute of Plant Genetics and Crop Plant Research, Gatersleben/International Plant Genetic Resources Institute, Rome.
- Velasco, L., Domínguez, J., Grüneberg, W.J. (2001) The Andean yam bean: a new root and grain legume for Mediterranean conditions. In: Proceedings of the 4th European Conference on Grain Legumes, Cracow, Poland, 8-12 July 2001. European Association for Grain Legume Research (AEP), Paris, pp. 204-205.
- Velasco L., Grüneberg W.J. (1999) Analysis of dry matter and protein contents in fresh yam bean tubers by near-infrared reflectance spectroscopy. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.* 30: 1797-1805.
- Vidueira, J.M., J. Cobo, A. De Castro, R. Sarmiento, D.N. Rodríguez, M.C. Matos, A. Matos, J. Semedo, N. Marques, E.O. Leidi (2001) Nutrición mineral de ajipa (*Pachyrhizus ahipa* (Wedd.) Parodi): efecto del suelo y nutrición nitrogenada en la absorción de nutrientes. XIV Reunión Nacional SEFV-VII Congreso Hispano-Luso de Fisiología Vegetal, 23-27 septiembre, Badajoz.

Contactos:

Variedades

Dr Eduardo O. Leidi, IRNAS-CSIC, Avda. Reina Mercedes 10, 41012 Sevilla. Telfno. 954624711; Fax: 954624002; E-mail: leidi@irnase.csic.es

Dr Leonardo Velasco, IAS-CSIC, Alameda del Obispo s/n, 14004 Córdoba. Telfno. 957499200; Fax: 957499252; E-mail: ia2veval@uco.es

Inoculantes para semillas:

Dra Dulce N. Rodríguez Navarro, CIFA Las Torres-Tomejil, Apartado Oficial, 41200 Alcalá del Río, Sevilla. Telfno. 955045504; Fax: 955045625; E-mail: dnombre@cica.es



Figura 1. Variabilidad en el color de la flor y el color del tegumento de la semilla en los materiales de ajipa disponibles.

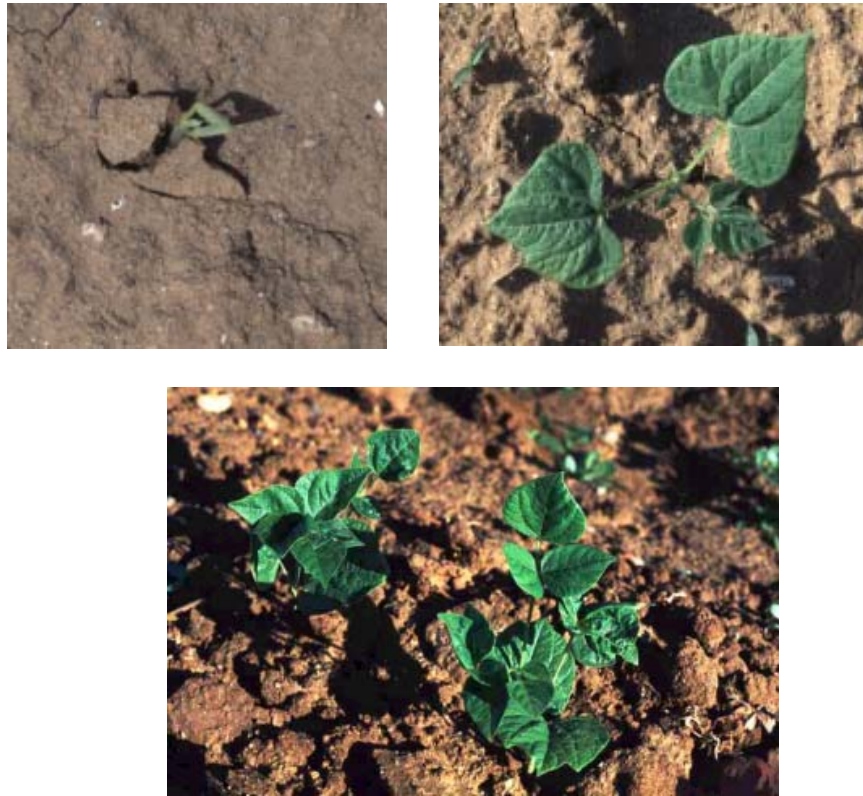


Figura 2. Emergencia y estadios tempranos de crecimiento de la ajipa. La nascencia puede verse dificultada por suelos de fácil compactación después de lluvias de primavera (foto superior izquierda). La expansión del primer par de hojas simples (foto superior derecha) y las siguientes hojas trifoliadas (foto inferior) hasta cubrir la hilera son períodos críticos para el establecimiento del cultivo por la competencia de malas hierbas.



Figura 3. La inoculación con rizobios efectivos produce una buena nodulación en el cuello de la planta y en las raíces secundarias de ajipa (foto izquierda) que se traduce en cultivos más verdes y por tanto, con mayor capacidad de producción, en suelos con bajo contenido de nitrógeno. En la imagen de la derecha, se observa la diferencia de color entre parcelas de plantas bien noduladas y una parcela central de plantas no noduladas (no inoculadas con rizobios).



Figura 4. Cosecha de una variedad de ajípa en otoño. La planta permanece verde hasta la llegada de las heladas. Los frutos, aún verdes al momento de cosecha (foto superior), contienen semillas casi maduras. Las raíces pueden continuar creciendo mientras las temperaturas suaves permitan la actividad vegetativa. La foto inferior muestra la cosecha manual y el aspecto de las raíces tuberosas.



Figura 5. Síntomas de ataque de nemátodos. En ataques intensos se produce muerte de plantas y putrefacción de raíces infectadas (fotos superiores), mientras que en ataques leves, los síntomas se reducen a la aparición de nudos y bultos en la raíz principal.



Figura 6. Podredumbre blanca por *Sclerotinia* spp. con producción de esclerocios en las vainas y raíces afectadas por almacenamiento en condiciones de alta humedad y baja temperatura.