

Multiplicación y conservación de arracacha (*Arracacia xanthorrhiza* Bancr.) y ajipa (*Pachyrhizus ahipa* (Wedd.) Parodi)

Steen Randers Knudsen^{1,2}, Bo Ørting^{1,3} & Marten Sørensen^{1,4}

¹Botany Group, Department of Ecology, Royal Veterinary & Agricultural University,

Rolighedsvej 21, DK-1958 Frederiksberg C, Dinamarca

²srknudsen@mail.dk, ³boor@compaqnet.dk, ⁴ms@kvl.dk

Abstract

For *ex situ* conservation of Andean root and tuber crops (vegetatively reproduced) the reproductive biology of two plants is compared: the sexually reproduced ajipa (*Pachyrhizus ahipa*) and the vegetatively reproduced arracacha (*Arracacia xanthorrhiza*). A selection of landraces of both crops – in the case of arracacha also wild material – were studied in field (arracacha in Peru and ajipa in Spain and Portugal) and greenhouse experiments (at KVL, Copenhagen). Flowering and phenology were studied in experiments designed to identify methods to flower induction in arracacha. Under different photothermal treatments the flowering induction were studied in both species. In arracacha the treatments furthermore involved dehydration and storage of crowns and cormels under different temperature regimes. Pollination compatibility and pollen viability were studied. The dichogamous arracacha plant has staminate and protogynous hermaphrodite flowers, the synchronised phenology of umbels of the same order separate sexual phases and prevent autogamy. However, the overlap between phases of umbels at different order allows geitonogamous selfing. Germination from crosses between wild genotypes and cultivars and open and self-pollinations were studied; seeds from two wild accessions were also included. A significant correlation between flowers (and seeds) produced per ajipa plant, the growth habit and latitudinal origin was recorded with northernmost plants having indeterminate growth habit and reduced flower production, whereas plants from the south had determinate growth and prolific flowering. Results from the greenhouse experiments coincided with the field. Seed-based *ex situ* conservation of root and tuber crops can be successful once the problems involving flower induction, self-compatibility and production of functional seeds are overcome.

Key words: ARTCs, Flower induction, Floral abscission, Sexual propagation, Conservation.

Resumen

Para la conservación *ex situ* en cultivos andinos de raíces y tubérculos vegetativamente reproducidos, se comparó la biología reproductiva de ajipa (*Pachyrhizus ahipa*) sexualmente reproducida y arracacha (*Arracacia xanthorrhiza*) vegetativamente reproducida. Una selección de razas del campo de ambos cultivos – en la arracacha también material silvestre – fue estudiada en el campo (arracacha in Perú y ajipa en España y Portugal) y en experimentos de invernadero (en KVL, Copenhagen). La floración y fenología fueron estudiadas para identificar métodos de inducción de floración en la arracacha. Se evaluó su influencia en la inducción floral bajo diferentes tratamientos fototérmicos. Para probar la inducción floral en la arracacha los tratamientos incluyeron deshidratación y almacenaje de coronas y cormelos bajo regímenes térmicos. Se estudió la compatibilidad de polinización y viabilidad del polen en ambas especies. La arracacha es dicógama (flores estaminadas y flores hermafroditas protóginas); la fenología sincronizada de umbelas en el mismo orden separa fases sexuales y previene la autogamia. Sin embargo, al superponerse las fases en umbelas de diferente orden permite la geitonogamia. Se estudió la semilla de cruces entre genotipos silvestres y cultivares, así como polinizaciones abiertas y autopolinizaciones; también se incluyó semillas de dos accesiones silvestres. Hay correlación significativa entre flores (y semillas) por cada planta de ajipa, hábito de crecimiento y origen latitudinal con plantas norteñas de crecimiento indeterminado y producción floral reducida, mientras que las sureñas presentaron crecimiento determinado y flores prolíficas. Los resultados de invernadero coinciden con los del campo. La conservación *ex situ* basada en semillas puede ser exitosa una vez resueltos los problemas de inducción de floración, autocompatibilidad y producción de semillas funcionales.

Palabras clave: RTA, Inducción floral, Abscisión floral, Propagación sexual, Conservación.

Introducción

Las raíces y tubérculos figuran prominentemente entre cultivos específicos de la región andina debido a sus considerables variaciones de hábitat y también taxonómicas. Los cultivos de raíces y tubérculos andinos son todos virtualmente propagados vegetativamente, es decir, usando las raíces tuberosas (a menudo son adventicias), gajos o esquejes o propágalos específicos, como en el caso de la arracacha y el yacón (*Smallanthus sonchifolius*). Para la conservación *in situ*, este método de propagación es confiable cuando localmente se conservan a los clones, pero tiene varias limitaciones cuando es almacenado como material para plantar, en el control de enfermedades virales y de bacterias, pero especialmente en métodos eficientes para la conservación de germoplasma. Las colecciones existentes *ex situ* de estos cultivos son todas basadas en colecciones vivas, en que su mantenimiento es muy costoso y son demandantes de trabajo, ya que estas colecciones son limitadas en número y por lo tanto también son vulnerables a riesgos climáticos. En comparación a los cultivos de raíces y tubérculos propagados por semillas – pese a están caracterizados por procesos reproductivos más complejos – son más económicos en su almacenamiento, estos materiales a ser plantados (semillas) tienen reducidos riesgos en ser contaminados, el germoplasma retendrá su viabilidad por un periodo extendido y su distribución es fácil.

Con el fin de superar las limitantes descritas cuando se conservan raíces y tubérculos andinos, durante la reciente década y bajo el auspicio del Centro Internacional de la Papa (CIP, en Lima, Perú) se realizaron experimentos para estudiar las posibilidades de propagación sexual en cultivos que tradicionalmente son propagados vegetativamente. Para cada cultivo el diseño experimental debe atender sus rasgos específicos de reproducción sexual, es decir si

requiere floración natural o inducción floral, si es autoincompatible o autocompatible y si produce naturalmente semillas viables o se requiere el rescate del embrión.

Para ejemplificar los diferentes problemas de almacenamiento *ex situ* – asociados con iniciativas de conservación que involucran a cultivos de raíces y tubérculos andinos – los dos ejemplos presentados aquí son la arracacha (propagada vegetativamente) y la ajipa (propagada por semillas). Los resultados de los experimentos que incluyen a ambos cultivos sirven para demostrar cómo las limitantes pueden ser superadas.

Materiales y métodos

Arracacha

El género del Nuevo Mundo – *Arracacia* al que pertenece la arracacha (*Arracacia xanthorrhiza* Bancr., Apiaceae) y es la única especie cultivada – está representado por 30 especies (Mathias & Constance 1962). La arracacha que es conocida por haber sido cultivada tanto como muchos otros cultivos de raíces y tubérculos andinos (Bukasov 1981), se restringe a zonas de montañas de los Andes del norte y se extiende hasta Bolivia y norte de Chile (Hermann 1997). Pero se la encuentra mayormente bajo cultivo desde Venezuela hasta Bolivia, aunque algunos cultivos también se dan en Costa Rica, Puerto Rico y Brasil (Hermann 1997). En Sud América se estima que actualmente este cultivo es un alimenticio para 80-100 millones de personas (Hermann 1997), debido a que sabor único y propiedades en almidón son altamente apreciados y se la considera un valioso alimento (Pereira 2000). La arracacha ha sido mencionada durante muchos años como un cultivo de valor económico potencial y con posibilidades de expansión; sin embargo, muy poco se ha logrado en la vía de explorar el potencial de esta planta o para desarrollar evaluaciones integrales de sus posibilidades. Este cultivo fue

ampliamente ignorado hasta la mitad de los 80's por agrónomos e investigadores, hoy en día se dispone de abundante bibliografía que cubre aspectos de su cultivo (Santos & Spina 1994). Sin embargo, virtualmente nada se conocía sobre su biología reproductiva hasta los estudios reportados por Hermann (1997), Knudsen *et al.* (2001) y Knudsen (2003). La mayor parte de la investigación sobre la arracacha se encuentra en libros raros (antiguos y de pocas copias), tesis no publicadas, revistas desconocidas o como resúmenes de conferencias, a menudo con descripciones incompletas del diseño experimental. Una compilación exhaustiva de la historia de cultivo es presentada en Knudsen (2003).

Tanto el origen como ascendencia de la arracacha todavía tienen que ser identificados, sin embargo, está ampliamente aceptado que la arracacha fue inicialmente domesticada en los Andes y que ello jugó un rol significativo en la cultura local preincaica (Hodge 1954, Freidberg 1982). La arracacha es probablemente la única umbelífera domesticada en el Nuevo Mundo (Freidberg 1982), pese a que *Eryngium foetidum* es ampliamente usada como un sustituto del culantro (*Coriandrum sativum*) según León (2000).

La arracacha produce varios tubérculos, raíces laterales que constituyen la parte comestible, un rizoma y varios tallos laterales cortos, engrosados (cormelos que sirven como propágalos), así como un exuberante follaje (Figura 1). Es perenne pero se cultiva como anual. Se propaga vegetativamente al cortar sus tallos, donde 1-2 cm de la porción apical del tallo engrosado – el cormelo – es usado para propágalos (Figura 2). En los siguientes 8-12 meses las plantas van a crecer hasta madurar, produciendo varias raíces del tamaño de una zanahoria. El cultivo puede ser cosechado inmediatamente una vez que se obtenga el tamaño comercial o dejado en el campo por varios meses y recogido cuando sea necesario. Tradicionalmente ha sido rotado con maíz (*Zea mays*), plátano (*Musa spp.*) y café (*Coffea spp.*)

(Hodge 1954), sin embargo el monocultivo es común en algunas áreas de los Andes y especialmente en Brasil (Santos 1997a). La arracacha es un cultivo menor y no cubre más de 20.000 ha en los Andes (Hermann 1997), mientras que en Brasil como el mayor productor tiene >10,000 ha en cultivo (Santos 1997a). Las cosechas entre 25-30 t/ha han sido registradas de parcelas experimentales en Brasil (Giordano *et al.* 1995, Charchar & Santos 1997), pero 8-13 t/ha parece ser una cosecha promedio en cultivo (Santos 1997a), siendo en los Andes probablemente menos. Aparte de las raíces de reserva, se produce una cantidad considerable de tallos corchosos y rizomas, los cuales totalizan 18-90% de la materia seca producida (Higuera 1968, Hermann 1997). El requerimiento de fertilizantes por el cultivo es bajo y la arracacha responde con follaje vigoroso y una prolongada duración del cultivo frente a la aplicación de nitrógeno (Hermann 1997). Knudsen (2003) reseñó los aspectos del uso, composición y postcosecha del cultivo.

Respecto a la biología reproductiva de la arracacha se relaciona – como ya se indicó – a las verduras bien conocidas como zanahoria, chirivía y apio, pero en contraste a éstos que son del Viejo Mundo la arracacha se propaga vegetativamente, una característica que es única en las Apiaceae. Poco se conoce sobre la biología de la reproducción sexual de la arracacha, como el interés ha sido limitado en este aspecto y básicamente nada se conoce sobre aspectos como inducción floral, compatibilidad, factores que limitan al juego de semillas en los Andes y la reducida germinación de semillas. La floración es raramente observada en campos cultivados de los Andes (Hodge 1954, Bristol 1988, Hermann 1997), mientras que es regularmente observado en colecciones de germoplasma (pers. obs.) y en campos del sur de Brasil (Zanin & Casali 1984, Santos 1997b). Las observaciones de campo han orientado una serie de teorías respecto a la floración de la arracacha (Hodge 1954, Higuera 1968, Zanin & Casali 1984, Bristol 1988). En Apiaceae la

Fig. 1: Planta de arracacha (*Arracacia xanthorrhiza*) con tubérculos y cormelos con hojas por encima de las raíces engrosadas. Con 12 meses de edad cultivada en la colección de germoplasma de la Universidad Nacional de Cajamarca, Perú (Foto: S.R. Knudsen).

floración de cultivos generalmente es inducida por una baja temperatura o fotoperiodo o una combinación de ambos (Hiller & Kelly 1979, Peterson *et al.* 1993, Ramin & Atherton 1994). Bajaña (1994) demostraron que ninguno de estos factores ya sea separados o combinados tiene efectos en la floración de arracacha. Más bien la deshidratación de las plantas maduras ha mostrado que induce la floración en una serie de experimentos preliminares (Bajaña 1994, Hermann 1997, Sediya & Casali 1997). Sin embargo, estos experimentos no incluyen a un grupo control. En un reciente experimento, no se encontraron diferencias de floración entre el grupo control y los tratamientos de deshidratación (Knudsen *et al.* 2001). Todavía no se ha descrito un método confiable para inducir a la floración, esto también se aplica a la compatibilidad entre especies de *Arracacia* y razas del campo de arracacha, por lo tanto la biología floral en arracacha requiere mayor investigación. La umbela porta tanto flores

perfectas protóginas como estaminadas, la fenología floral previene de la autopolinización y endogamia, por lo que se promueve el exocruzamiento. Sin embargo, el juego de frutos regularmente ha sido reportado en campos de Brasil que la arracacha es autocompatible, en tanto que un solo clon haya sido usado (Bustamante *et al.* 1997). La baja viabilidad de la semilla coleccionada (Sediya *et al.* 1990a, 1990b) y el raro juego de semillas observado en los Andes (Hodge 1954) podrían sugerir que la arracacha sufre de ciertos problemas reproductivos sexuales.

Una serie de experimentos fueron dirigidos para investigar diferentes aspectos que influyen a la floración de la arracacha, como los siguientes:

- Deshidratación y almacenaje de propágulos (= cormelo) y coronas
- Duración de la deshidratación y tratamientos de almacenaje

Fig. 2: Cormelos de 11 meses de arracacha (*Arracacia xanthorrhiza*) preparados para los tratamientos de inducción de floración, es decir, cosechados frescos antes de la sequía y/o de tratamientos fríos. Estación de investigación CIP de San Ramón, Perú (Foto: S.R. Knudsen).

- Temperatura durante la deshidratación y almacenaje
- Razas del campo
- Preparación de cormelos previo a ser plantada
- Posición de cormelos en la corona
- Edad de las plantas
- Localización de cultivos de las plantas para los experimentos
- **Control-2:** Remoción parcial de los peciolo, es decir 5-10 cm del peciolo dejado en el cormelo, extrayendo 1-2 cm de la parte basal del cormelo y plantado al mismo tiempo que Control-1.
- **Control-3:** Remoción completa de los peciolo del cormelo, reducida hasta 1-2 cm de la parte apical del cormelo y plantada al mismo tiempo que Control-1.

Los tratamientos fueron aplicados en tres ambientes:

1. **Laboratorio:** Temperatura promedio 20°C (17-22°), humedad relativa 65% (25-100%)
2. **Invernadero:** Temperatura promedio 15°C (8-24°C), humedad relativa 69% (20-100%)
3. **Refrigerador:** Temperatura promedio 5°C (3-7°C)
- **Control-4:** Remoción parcial de los peciolo del cormelo, reducido hasta 1-2 cm de la parte apical del cormelo (método tradicional de propagación) y plantado al mismo tiempo que Control-1.
- **Control-corona:** Remoción completa de los peciolo, corona plantada al comienzo de la deshidratación y tratamientos de almacenaje.

Tratamientos (Tabla 1)

- **Control-1:** Remoción completa de peciolo del cormelo, extrayendo 1-2 cm de la parte basal del cormelo y plantada al comienzo de la deshidratación y tratamientos de almacenaje.

Al observar los métodos de reproducción, arracacha tiene algunas reservas obvias de cultivo (como fue planteado antes y pese a sus buenas propiedades nutritivas), siendo la mayor el largo y laborioso ciclo de cultivo y la corta vida postcosecha. Algunos de los problemas agronómicos en arracacha pueden

probablemente ser resueltos mediante cambios en los métodos de cultivo, mientras que otros requerirán reproducción y selección dirigidas por los tratamientos deseados. La reproducción de arracacha ha sido largamente impedida por la ausencia de plantas florecidas, la ausencia de conocimientos respecto a la biología reproductiva sexual y la práctica cultural, donde el interés en el cultivo ha sido limitado, así como demandas para mejorar la producción o el que no se haya registrado cultivares resistentes. Por lo tanto, la arracacha es todavía un cultivo nativo (primitivo) en los Andes, ya que no ha sido nunca reproducido intensivamente y es exclusivamente propagado en forma vegetativa, pese a que existe una gran variación de razas del campo, aparentemente basadas en forma de la raíz, color y usos (Meza 1995).

Ajipa

El género neotropical *Pachyrhizus* (Fabaceae) incluye a cinco especies, de las cuales tres son cultivadas por sus raíces tuberosas: *P. erosus*, *P. tuberosus* y *P. ahipa*. El área de distribución de *Pachyrhizus ahipa* –inicialmente descrita como *Dolichos ahipa* por Weddell (1857)– se extiende desde 16° hasta 25° S en Bolivia/norte de Argentina en valles andinos subtropicales a 1.000–2.500 m a lo largo de las laderas orientales (Parodi 1935, Burkart 1952, Sørensen 1990, Ørting *et al.* 1998). No hay registros de plantas indudablemente silvestres. No se ha identificado ni un progenitor silvestre de *P. ahipa* y su origen geográfico todavía permanece desconocido. Brücher (1977, 1989) sostiene que la localización probable debió ser la ceja de montaña de la región andina.

Tabla 1: Códigos de tratamientos y su especificación usada en los experimentos.

	Deshidra- tación	Almace- naje	3 semanas	4 semanas	Medio	Cormelo	Corona
Tratamientos							
D3-1-cormel	x		x		1	x	
S3-1-cormel		x	x		1	x	
D4-1-cormel	x			x	1	x	
S4-1-cormel		x		x	1	x	
D3-2-cormel	x		x		2	x	
S3-2-cormel		x	x		2	x	
D4-2-cormel	x			x	2	x	
S4-2-cormel		x		x	2	x	
D3-3-cormel	x		x		3	x	
S3-3-cormel		x	x		3	x	
D4-3-cormel	x			x	3	x	
S4-3-cormel		x		x	3	x	
D3-2-crown	x		x		2		x
S3-2-crown		x	x		2		x
D4-2-crown	x			x	2		x
S4-2-crown		x		x	2		x
D4-3-crown	x			x	3		x
S4-3-crown		x		x	3		x
S8-1-cormel		x	8 semanas			1	x

Sørensen *et al.* (1997) proveen detalles sobre la historia de cultivo de *P. ahipa* y el estado del cultivo ha sido cuidadosamente estudiado durante la pasada década por Ørting *et al.* (1996), Grau (1997), Grau & Ørting (1997) y Sørensen *et al.* (1997). Las diferentes razas del campo de ajipa fueron encontradas en general amenazadas debido a la ausencia de promoción, introducción de nuevos cultivos y aislamiento de productores. Esto en combinación con la propagación de semillas y la limitada viabilidad de éstas bajo condiciones primarias de almacenaje demanda por urgentes iniciativas de conservación. Afortunadamente, las semillas son ortodoxas y mantienen su elevada viabilidad de 8+ años bajo condiciones óptimas de almacenamiento (Sørensen 1996).

La inducción floral en el género se da tanto en plantas de días cortos y largos. Aunque al nivel de especies, *P. ahipa* se desarrolla bajo fotoperiodos de días cortos y con temperaturas comparativamente bajas nocturnas en su área de origen; todas las accesiones conocidas son fototérmicamente neutras. Usualmente se la siembra en agosto-octubre (Bolivia) con poda reproductiva (remoción manual de flores) en noviembre-marzo y con legumbres maduras en abril-junio. La época de plantación es mayormente determinada por la estación de lluvias. Durante el periodo de floración, la labor de poda reproductiva intensiva es realizada una o dos veces. La poda floral solo es necesaria hasta cierto punto, cuando la formación del tubérculo está mayormente afectada por el número de vainas producidas por planta que se desarrollan totalmente y no así por la cantidad de flores por plantas (Figura 3). Por lo tanto, la buena formación de tubérculos también se da en plantas profusamente florecidas, pero con una elevada tasa de abscisión. Las semillas son fáciles de cosechar debido a las legumbres indehiscentes y que generalmente tienen alto peso de semillas (mil).

Se ha reportado que las razas del campo tienen dos estrategias de multiplicación de semillas, en esta especie que es

predominantemente autopolinizada (Ørting *et al.* 1996), mientras que *P. erosus* y *P. tuberosus* pueden ser consideradas como predominantemente autopolinizables, *P. ahipa* debe ser tomada en cuenta como semi autopolinizada de acuerdo a Sørensen (1996). Para ajipa la estrategia más común es seleccionar la planta más vigorosa dentro un campo para la producción de semilla y podar reproductivamente las restantes plantas para incrementar el crecimiento y producción de tubérculos (Castellanos *et al.* 1997, Diouf *et al.* 1998, Matos *et al.* 1998, Nielsen & Sørensen 1998 y Sørensen *et al.* 1997). La segunda estrategia involucra dejar a la legumbre que inicialmente fue producida en cada planta para la producción de semillas, seguida por la remoción de todas las subsecuentes flores producidas. En ambas prácticas, se dice que se ha implementado una selección indirecta al cosechar las semillas elegidas en base al mayor tamaño (Ørting *et al.* 1996). Se espera que ambas estrategias de multiplicación de semillas tengan un elevado impacto en la variación dentro de cada accesión individual. En los experimentos de invernadero se ha detectado una menor variación dentro de las accesiones multiplicadas por la primera estrategia en relación a una muy elevada variación registrada en aquellas multiplicadas por la segunda estrategia de multiplicación.

El funcionamiento polinizador observado en la ajipa no puede ser solo considerado como un resultado de la morfología floral, es decir por el estigma internamente curvado en estrecho contacto con las anteras; ya que también está determinado por una baja fertilidad del polen y presencia o ausencia de insectos polinizadores, es decir, el único método natural de exocruzamiento. En relación a la fertilidad del polen y número producido de flores, puede detectarse bajo condiciones de invernadero diferencias significativas entre las accesiones y la formación de tubérculos debido a interacciones de asignación de nutrientes entre vainas y raíz (en inglés: source/sink interactions). Pese a la baja fertilidad del polen,

Fig. 3: Raíces de ajipa (*Pachyrhizus ahipa*) de 245 días de edad, cultivada en la estación experimental de campo DRATOM en Tras-os-Montes, Portugal. Las raíces (divididas longitudinalmente) hacia la izquierda sin remoción de brotes reproductivos (flores y vainas en desarrollo), mientras que a la derecha están las raíces de una planta reproductivamente podada (Foto: J. Vieira da Silva).

pueden realizarse exitosamente cruces inter e intraespecíficos. Fueron obtenidos híbridos fértiles interespecíficos de todas las combinaciones (incluso de cruces recíprocos) que involucraron a las tres especies cultivadas con la excepción del cruce entre *P. ahipa* (femenino) x *P. tuberosus* (masculino), del que solo se obtuvieron semillas inviables. La fertilidad de híbridos fue en general reducida en un 10-20%, cuando se comparó con las especies parentales (Grum 1994, D.F. Adjahossou, pers. com.; P.E. Nielsen, pers. com. 2005).

A la luz de la conservación y también de la reproducción vegetal, debería enfatizarse que la combinación de reproducción vegetativa y generativa es única en las especies cultivadas. Esta combinación puede ser ventajosamente integrada en un programa de reproducción. Por lo tanto, en las estrategias reproductivas de las especies podrían ser tratadas como autopolinizadores anuales, clonables.

Bajo cultivo, la ajipa generará una mayor producción de tubérculos que en otros cultivos andinos (8-30 t ha⁻¹ en Bolivia, 29-50 t ha⁻¹ en

México y ±35 t ha⁻¹ en Portugal) al tener pocas limitaciones agronómicas y excelente adaptabilidad (Sørensen *et al.* 1997 y Vaz *et al.* 1998). La única condicionante es la necesidad de la poda reproductiva para fomentar el crecimiento del tubérculo, es decir, la optimización de la asignación de asimilaciones (Figura 4).

Para asegurar cantidades suficientes de semillas para los experimentos, se sembraron en el invernadero 611 semillas en agosto de 1999. Las semillas representaron 11 diferentes accesiones (tabla 2).

Estas accesiones fueron seleccionadas para asegurar la representación geográfica de las áreas conocidas de producción de *P. ahipa*. El material incluyó el origen latitudinal y altitudinal, hábito de crecimiento (a. tipos arbustivos con tallos determinados cortos y b. tipos trepadores con elongados tallos indeterminados trepadores), color de las flores (blanco y púrpura/violeta) y color de semillas (negra, lila y moteada). Todas las semillas derivadas de germoplasma de *Pachyrhizus* de la colección central preservada en KVL. Para

cada uno de los dos ensayos, se registraron los siguientes datos: Porcentaje de germinación, densidad de las plantas (en el primer experimento iniciado en septiembre de 1998 la densidad de plantas fue de 23-25 plantas m⁻² para los tres primeros meses, luego disminuyó a 20 plantas m⁻² en todo caso dentro el rango observado en cultivos de Bolivia, es decir 6-83 plantas m⁻²). Para el experimento sembrado en agosto de 1999, las accesiones fueron separadas tanto como fue posible para reducir el riesgo de exocruzamiento con una densidad de plantas de 10-14 m⁻². En el ensayo de mayo de 2000, la densidad de plantas fue de 5.25 m⁻², mientras que en junio de 2000 fue de 6.7 m⁻², pero debido al espacio limitado algunas plantas control fueron cultivadas en una mayor densidad de plantas: 18-19 m⁻².

Con el fin de determinar la variación genética tanto entre como dentro las accesiones individuales, las plantas experimentales fueron todas de la misma progenie de tres o cuatro plantas madre conocidas. En ambos experimentos conducidos en 2000 fueron usadas las progenies de las mismas plantas.

Resultados

ARRACACHA

Floración

Siguiendo a los tratamientos, las diferentes razas del campo retoñaron en forma muy heterogénea. Sin embargo, después del primer nudo las plantas se desarrollaron aproximadamente con la misma tasa, por lo tanto la floración de las razas del campo se iniciaron asincrónicamente, comenzando entre 26 a 110 días después de ser plantadas. Los resultados fueron muy variados y demostraron que la floración de arracacha puede ser inducida usando varios métodos. Los mejores resultados fueron obtenidos de la deshidratación y almacenaje de coronas a 15 y 20°C durante cuatro semanas, seguidas por la separación de cormelos y de ser plantadas. Sin embargo, en varios casos el control – es decir, la separación de cormelos de la corona antes de ser plantados – fue suficiente para inducir a la floración en algunas razas del campo. Cuando se aplicó el método

Fig. 4: La raíz de la ajipa (*Pachyrhizus ahipa*) se consume casi exclusivamente en forma cruda, como una fruta. La corteza de la raíz se desprende con bastante facilidad de la porción interna, carnosa y blanca. Por ello es corriente que se la pele y consuma en forma similar a una banana. La raíz fue producida en la estancia de Caraparí, Chuquisaca, Bolivia (Foto: B. Ørting).

Tabla 2: Accesiones usadas en los experimentos de KVL.

No. de accesión	Colector	Origen	Latitud – Longitud	Altitud (m)	Color de semilla
AC102	Sørensen	Bolivia, Tarija	20°57'S; 64°41'W	1.200	Negro
AC201	Ørting/Grüneberg	Bolivia, Anquioma	17°00'S; 67°38'W	2.450	Negro
AC203	Ørting/Grüneberg	Bolivia, Anquioma	17°00'S; 67°38'W	2.450	Negro
AC207L	Ørting/Grüneberg	Bolivia, Machaca	17°08'S; 66°53'W	2.200	Negrusco-lila
AC207S	Ørting/Grüneberg	Bolivia, Machaca	17°08'S; 66°53'W	2.200	Negro
AC216	Grüneberg	Bolivia, Lioja	16°44'S; 67°34'W	2.400	Negro/lila/ amarillento blanco
AC223	Ørting/Grau	Bolivia, Est. Carapari	20°56'S; 64°41'W	1.200	Negro
AC229	Ørting/Grau	Bolivia, Est. Carapari	20°56'S; 64°41'W	1.200	Negro
AC230	Ørting	Bolivia, Hornillos	20°26'S; 64°28'W	1.100	Negro
AC521	Dev. Bot. Gard.,	Desconocido	—	—	Negro
AC524	J.N.B.Meise, Bélgica	Desconocido	—	—	Negro & motas blancas
AC526	R. Neumann	Argentina, Salta	22°16'S; 64°33'W	1.450	Negro

de preparación tradicional de los propágulos de arracacha se evitó la floración.

La floración se induce en plantas de 5-24 meses de edad; la arracacha no mostró una fase juvenil por lo que la floración pudo ser inducida desde los cinco meses, siendo el factor limitante el tamaño de la planta (en peso) donde pequeñas coronas y cormelos tienen una tasa muy alta de mortalidad. Algunas razas del campo no florecen del todo, mientras que la mayor parte floreció hasta en un 77% de los cormelos plantados. El nivel de floración fue significativamente reducido en el experimento 2, comparado con el 1, donde la raza de campo con la más alta tasa de floración registrada fue de 37%, contrastado con el 77% del experimento 1. Para las razas del campo BA y CE en ambos experimentos, la tasa de floración fue reducida hasta en un en el experimento 2. Lo contrario fue observado para la raza MTC en el experimento 3, donde la tasa de floración se incrementó al doble, comparado con el experimento. En el experimento 5 muy pocas plantas florecieron, pese a que las razas BA, NA y UNC 169 fueron incluidas (es decir, las razas que florecieron en los experimentos 1 y 2). Ninguna de las razas en los experimentos 4, 6 y 7 florecieron como respuesta a los

tratamientos aplicados, pese a que esos tratamientos fueron los mismos aplicados en los demás experimentos (Tabla 3).

Las razas incluidas en los experimentos difieren significativamente en su disponibilidad por florecer: algunas florecieron con elevada intensidad, mientras que otras no respondieron a los tratamientos. La diferencia es asignada a las diferencias genéticas, pero los tratamientos subóptimos y el estado fisiológico de las plantas en la cosecha también juegan un rol significativo (Tabla 4).

El estado fisiológico de las plantas cosechadas influyeron significativamente a la floración, donde las plantas con buen crecimiento vegetativo en la cosecha no florecieron, mientras que las plantas sometidas a sequía de 1-2 meses previo a la cosecha, florecieron bien cuando estuvieron bajo el efecto de los tratamientos respectivos (Figura 5).

Los resultados más prometedores fueron obtenidos por el almacenamiento y deshidratación de la corona, seguido por la separación, ya que este método mejora la floración y reduce la mortalidad. Sin embargo, se requiere futuras investigaciones para optimizar los tratamientos y dar luces sobre la influencia del estado fisiológico de las plantas en floración.

Tabla 3: Fenología de los brotes florales en cinco razas del campo del tratamiento Control-1 del experimento 1. Número promedio de días \pm desviación estándar de plantaciones hasta que se generen diferentes etapas de desarrollo. (N) significa número de plantas. Las diferentes letras indican las diferencias significativas entre razas terrestres en el periodo de retoño ($P < 0.05$).

Estado fenológico	Retoño	1 ^{er} nudo visible	Umbela primaria visible	Estigma separado en umbela	Polen detectable umbela primaria
Razas del campo (N)					
AP (18)	27.0 \pm 3.5 a	39.9 \pm 4.3	54.0 \pm 6.0	64.2 \pm 5.8	70.3 \pm 4.7
BA (5)	55.2 \pm 7.8 c	81.8 \pm 10.2	96.4 \pm 9.9	107.0 \pm 9.0	112.0 \pm 9.0
C (8)	34.1 \pm 7.9 ab	49.4 \pm 7.1	64.1 \pm 5.9	74.5 \pm 6.1	78.2 \pm 5.6
CM (12)	38.5 \pm 3.5 b	55.5 \pm 4.9	71.0 \pm 12.7	84.0 \pm 8.5	88.0 \pm 8.5
M (12)	31.1 \pm 9.4 ab	52.1 \pm 10.6	64.3 \pm 14.8	74.3 \pm 11.3	79.7 \pm 8.3

Tabla 4: Fenología de los brotes florales de ocho tratamientos del experimento 1 con la raza C. Número promedio de días \pm desviación estándar de plantaciones hasta que se generen diferentes etapas de desarrollo. (N) Número significativo de plantas. Las letras diferentes indican diferencias entre tratamientos en el momento del rebrote ($P < 0.05$).

Estado fenológico	Retoño	1 ^{er} nudo visible	Umbela primaria visible	Estigma separado en umbela primaria	Polen detectable umbela primaria
Tratamientos (N)					
Control-1 (15)	34.1 \pm 7.9 a	49.4 \pm 7.1	64.1 \pm 5.9	74.5 \pm 6.1	78.2 \pm 5.6
D3-1-cormel (13)	35.2 \pm 14.9 a	50.6 \pm 12.2	58.9 \pm 11.3	67.3 \pm 10.2	73.0 \pm 8.4
D4-1-cormel (15)	29.8 \pm 8.9 a	39.9 \pm 6.6	51.1 \pm 8.3	59.9 \pm 6.7	64.7 \pm 5.2
S4-1-cormel (12)	10.4 \pm 8.6 b	28.8 \pm 9.8	41.9 \pm 8.0	50.9 \pm 7.9	54.2 \pm 8.2
D3-2-cormel (15)	36.7 \pm 12.0 a	42.2 \pm 7.8	52.1 \pm 6.3	59.0 \pm 4.6	62.8 \pm 2.1
D4-2-cormel (14)	31.0 \pm 6.1 a	38.9 \pm 7.5	50.5 \pm 7.7	59.3 \pm 6.9	62.5 \pm 8.3
S4-2-cormel (19)	12.1 \pm 2.4 b	18.9 \pm 2.2	31.3 \pm 1.7	40.8 \pm 1.7	44.5 \pm 1.4
S8-1-cormel (18)	4.2 \pm 1.9 c	6.6 \pm 6.1	19.6 \pm 5.6	28.6 \pm 5.9	33.1 \pm 5.6

Fig. 5: Floración de cuatro razas del campo de arracacha en el experimento 1, porcentaje de floración frente a ocho tratamientos. Veinte plantas de cada combinación de raza y tratamiento. Experimento 1 realizado en 2000.

Polinización

Las polinizaciones realizadas revelaron que las razas de arracacha son auto y exo compatibles – las umbelas en diferente orden permiten la geitonogamia (es decir, la fecundación entre flores vecinas dentro la misma inflorescencia) – por lo que la autogamia es posible pese a que la fenología floral es protógina y así fueron posibles la reproducción y la conservación de semillas. Los cruces intraespecíficos entre plantas silvestres y cultivadas de *Arracacia xanthorrhiza* fueron fácilmente obtenidos al usar esas plantas como material parental. El estudio reveló que las flores de la arracacha requieren de un activo polinizador para transferir el polen al estigma, como la fenología floral previene a la autogamia. Un rango de insectos fue observado. La viabilidad de polen en ambas *A. xanthorrhiza* silvestre y cultivada fue elevada y fue preservada durante dos años en almacenaje, sin embargo, cuando fue utilizado para la polinización la producción de frutos fue seriamente reducida.

Germinación y viabilidad

Las semillas de cruces intraespecíficos de las razas de arracacha y de *A. xanthorrhiza* silvestre tuvieron la mejor germinación (69-83%), mientras que la menor germinación se registró en semillas generadas de autofecundaciones (37%). Los resultados indican efectos de tanto heterosis como disminuciones en la endogamia. Se registró una gran variación en la germinación de semillas que provienen de una sola planta, mostrando un buen potencial para incrementar la germinación mediante la selección. Las tasas de germinación del material silvestre fueron similares con una gran variación entre accesiones (47-97%). El tiempo promedio de germinación difirió significativamente entre tipos de semillas en que las fecundaciones abiertas y los cruces intraespecíficos tuvieron la semilla más vigorosa. Pese a esta diferencia, el patrón de germinación fue el mismo en todos

los tipos de semillas al ser muy heterogéneo, es decir se inició a los 8-10 días después de la siembra y continuó por dos meses. La semilla no germinada puede ser dividida en dos grupos – muertas y no germinadas – las no germinadas mayormente carecían de embrión.

AJIPA

Producción de semillas

Con el fin de producir suficientes semillas para el primer año de ensayos, el 22 y 23 de septiembre de 1998 fueron sembradas en condiciones de invernadero 1.463 semillas, representando a seis diferentes accesiones de *Pachyrhizus ahipa* y de un híbrido interespecífico (*Pachyrhizus ahipa* x *tuberosus* x *erosus*). Un total de 792 semillas germinaron y desarrollaron plantas en forma normal. Las plantas fueron cosechadas durante abril-septiembre de 1999, es decir ninguna semilla estuvo totalmente madura hasta el comienzo de abril. En algunas plantas, las legumbres/vainas no estuvieron totalmente maduras hasta más de un año después de la fecha de siembra. Las 792 plantas produjeron un total de 10.213 semillas al final de septiembre de 1999 (ver tabla 5), no se incluyeron a semillas con menor tamaño, vivíparas o dañadas. En general, la tarea de producir suficientes semillas para los ensayos iniciales fue satisfecha. Sin embargo, ninguna semilla fue producida del híbrido interespecífico ATE, por lo que los híbridos no fueron incluidos en los siguientes experimentos.

Porcentajes de germinación. El 70% de las semillas germinó (= 430 plantas). Las semillas cosechadas del ensayo de multiplicación de 1999 tuvieron un menor porcentaje de germinación (60%), que las semillas cosechadas en 1995 (78%) (Tabla 6).

Índice de siembra de días posteriores

De acuerdo a Sørensen *et al.* (1993), se construyó para las 430 plantas el índice de siembra de días

Tabla 5: Producción de semillas por accesión por planta. Símbolos: * ATE = híbrido interespecífico *Pachyrhizus ahipa* x (*P. tuberosus* x *P. erosus*), ninguna planta floreció.

Accesión	No. plantas en ensayo	Producción total de semillas	No. promedio de semillas por planta
AC102	102	1382	13.5
AC229	171	2285	13.4
AC230	234	3414	14.6
AC521	128	1828	14.3
AC524	30	592	19.7
AC526	72	713	9.9
ATE*	55	0	0.0

Tabla 6: Porcentajes de germinación de accesiones sembradas en 1999, originalmente de semillas sembradas en septiembre de 1998 (cosechadas en 1999) y sembradas en septiembre de 1994 (cosechadas en 1995) en invernadero.

Accesión	Total			Semillas de cosecha 1999 Sembradas en 1999			Semillas de cosecha 1995 Sembradas en 1999		
	Cantidad	Germinadas		Cantidad	Germinadas		Cantidad	Germinadas	
AC102	54	28	52%	30	14	47%	24	14	58%
AC201	60	55	92%	-	-	-	60	55	92%
AC207S	60	53	88%	-	-	-	60	53	88%
AC207L	60	49	82%	-	-	-	60	49	82%
AC216	46	39	85%	-	-	-	46	39	85%
AC223	61	50	82%	-	-	-	61	50	82%
AC229	54	35	65%	54	35	65%	-	-	-
AC230	54	38	70%	54	38	70%	-	-	-
AC521	54	35	65%	47	32	68%	7	3	43%
AC524	54	27	50%	26	13	50%	28	14	50%
AC526	54	21	39%	42	20	48%	12	1	8%
Totales	611	430	70%	253	152	60%	358	278	78%

posteriores DAS, en inglés: (*Days After Sowing Index*). Las accesiones alcanzaron el estado V4 (tercera hoja normal) casi simultáneamente (27–30 días después de la siembra), mientras que los días del estado R6 (primera flor) muestran una gran variación (48–77 días) entre las accesiones. El estado R7 (primera formación de la vaina/legumbre) fue alcanzada entre los 84 y 122 días después de la siembra (Figura 6).

Estudios ecofisiológicos como respuesta a diferentes condiciones ambientales

Los resultados del tratamiento de día corto en base a la influencia de la fecha de floración, peso de cosecha y formación del tubérculo se presentan en las figuras 3-4 y tablas 7-8. Después de dos semanas, 837 semillas germinaron a un porcentaje del 77% (Tabla 9).

Fig. 6: DAS (0-120) para diez accesiones de *P. ahipa* (progenie de una sola planta). Notar que las accesiones AC229, AC521 y AC526 fueron las primeras en alcanzar el estado de madurez total y con legumbres secas; estas tres accesiones fueron cosechadas tan pronto como el 20-22 de marzo de 2000. Las demás accesiones fueron cosechadas en abril. La secuencia de los estadios es V2-V3-V4-R6-R7 (desde la línea inferior del gráfico).

Tabla 7: Influencia del tratamiento de día corto en *Pachyrhizus ahipa* (AC102) en la cosecha en peso de tubérculos, vainas, hojas y tallos. Promedio de 12 plantas. Ensayo de invernadero en Frederiksberg, junio-septiembre de 2000.

Tratamiento	Peso tubérculos g	Peso vainas g	Peso hojas & tallos g	Peso total cosechado g
Sin tratamiento de día corto	17	1324	1945	3286
Tratamiento de día corto	10	1057	970	2037

Producción de semillas

Las 210 plantas desarrolladas en 40 m² del ensayo en Højbakkegård (sembradas en mayo de 2000) produjeron al final de noviembre 16.360 semillas que pesaron 4.592 kg (peso seco). El peso promedio de semillas fue de 0.281 g y esto calcula para una producción por hectárea de aproximadamente cuatro millones de semillas

con peso de 1.1 t; no se incluyeron a las semillas pequeñas, las germinadas dentro las vainas ni a las dañadas (Tablas 10 y 11).

Índice de días después de la siembra (DAS)

Se calculó este índice para las 420 plantas. Las accesiones alcanzaron el estadio V4 (tercera hoja normal) casi al mismo tiempo (27-30 DAS),

Tabla 8: Variación en el número de cámaras por vaina en 11 razas de *Pachyrhizus ahipa*. Ensayo de invernadero en Frederiksberg, agosto de 1999 – agosto de 2000.

Accesión	Número de cámaras por vaina									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
AC102	1	6	15	16	35	49	80	34	5	0
AC201	34	71	76	69	91	95	147	123	27	4
AC207L	11	26	34	48	54	92	173	101	24	3
AC207S	1	19	22	40	48	80	93	59	1	1
AC216	34	46	51	42	45	48	65	59	7	0
AC223	10	19	18	22	35	63	105	82	20	1
AC229	9	13	11	14	29	52	74	64	16	2
AC230	8	24	16	29	47	71	75	51	5	0
AC521	1	3	11	18	29	65	96	58	7	0
AC524	11	18	8	19	28	38	52	37	3	0
AC526	2	3	9	15	16	59	69	22	0	0

Tabla 9: Porcentaje de germinación de semillas de *P. ahipa* después de dos semanas. Ensayo de invernadero en Højbakkegård, mayo de 2000.

Accesión	Semillas sembradas	Semillas germinadas	Porcentaje germinación
AC102	96	79	82 %
AC201	97	88	91 %
AC203	84	74	88 %
AC207S	96	90	94 %
AC207L	96	71	74 %
AC216	72	59	82 %
AC223	72	52	72 %
AC229	96	80	83 %
AC230	96	80	83 %
AC521	96	54	56 %
AC524	92	61	66 %
AC526	96	49	51 %
Total	1089	837	77 %

mientras que el número de días para el R6 (primera flor) mostró gran varianza (69–114 DAS) y el estadio R7 (primera formación de la vaina) varió de 79–131 DAS entre las accesiones (Figuras 5 y 6).

Color de flor y semilla

Las flores son violetas o blancas. Además de un violeta pálido, ningún otro color fue registrado.

Las semillas son blancas, lila-café o negro moteadas con sombras variables de partes violeta rojo y amarillo pálido. Las semillas negras moteadas siempre descienden de plantas de flores blancas. Las semillas con sombras amarillas se producen cuando las semillas no están totalmente maduras. En la misma vaina, las semillas más grandes pueden ser negras y moteadas con rojo, mientras que las más pequeñas son negras con motas amarillas.

Tabla 10: Producción de semillas de *Pachyrhizus ahipa*.

Accesión	No. plantas	Semillas producidas	Promedio planta ⁻¹	Promedio m ⁻²	Peso promedio g	Peso semillas producidas m ⁻²
AC102	20	1766	88.3	464	0.324	150 g
AC201	20	1941	97.1	510	0.261	133 g
AC203	15	1608	107.2	563	0.257	145 g
AC207L	20	1680	88.4	464	0.224	104 g
AC207S	20	664	33.2	174	0.207	36 g
AC216	15	1241	82.7	434	0.252	109 g
AC223	15	1076	71.7	376	0.330	124 g
AC229	20	1564	78.2	411	0.316	130 g
AC230	20	1442	72.1	379	0.274	104 g
AC521	15	1006	67.1	352	0.341	120 g
AC524	15	1241	82.7	434	0.294	128 g
AC526	15	1131	75.4	396	0.301	119 g
Promedio total	210	16360	-	-	-	-
Todas las accesiones	-	-	77.9	409	0.281	117 g

Tabla 11: Producción de semillas por m², basada en las cosechas de tres ensayos de invernadero (ensayo 0-793 plantas; ensayo 1-430 plantas; ensayo 2-420 plantas).

	Ensayo 0 (1998-99)			Ensayo 1 (1999-2000)			Ensayo 2 (2000-01)		
	x	Plantas m ⁻²	Semillas m ⁻²	x	Plantas m ⁻²	Semillas m ⁻²	x	Plantas m ⁻²	Semillas m ⁻²
AC102	13.5	22.5	304	49.3	12	592	88.3	5.25	464
AC201	-	-	-	60.7	12	804	94.2	5.25	495
AC203	-	-	-	-	-	-	107.2	5.25	563
AC207L	-	-	-	65.1	12	781	88.4	5.25	464
AC207S	-	-	-	35.2	12	422	33.2	5.25	174
AC216	-	-	-	41.4	12	497	82.7	5.25	434
AC223	-	-	-	35.8	12	430	71.4	5.25	375
AC229	13.6	22.5	306	36.9	12	443	78.2	5.25	411
AC230	15.1	22.5	340	35.7	12	444	72.1	5.25	379
AC521	14.3	22.5	322	37.5	12	450	67.1	5.25	352
AC524	19.7	22.5	383	35.0	12	420	82.7	5.25	434
AC526	9.9	22.5	223	52.9	12	635	75.4	5.25	396
x m⁻²		22.5	313		12	497		5.25	406

Para el ensayo del estudio sobre la reacción de asignación de nutrientes entre la vaina y la raíz en *P. ahipa* se observó que las plantas no podadas reproductivamente no mantuvieron la producción de flores, como sucedió con las podadas.

Fertilidad de polen, vainas y cámaras

Las tablas 12a y 12b muestran los porcentajes de fertilidad de polen y presentan los mismos resultados en dos diferentes vías: ya sea de acuerdo a la accesión o según la tabla de

invernadero donde la planta estuvo localizada. La cantidad de vainas con un número específico de cámaras producidas se muestra en las figuras 7 y 8.

Discusión

Arracacha: Fenología

La gran variación en el tiempo de rebrote entre las razas del campo sujetas al mismo tratamiento muestra que es difícil predecir y sincronizar la antesis de las diferentes razas de la arracacha,

Tabla 12a: Fertilidad de polen (%) en *P. ahipa*. Ensayo de invernadero en Højbakkegård, mayo-noviembre de 2000.

Accesión	No.plantas	Promedio fertilidad polen	Mínimo	Máximo	Desviación estándar
AC102	14	59%	7%	91%	31.8
AC201	15	42%	4%	91%	26.4
AC203	10	40%	10%	90%	24.9
AC207l	16	40%	7%	82%	22.7
AC207s	16	70%	28%	94%	23.0
AC216	10	46%	21%	88%	22.0
AC223	11	52%	10%	89%	25.5
AC229	11	71%	38%	91%	17.4
AC230	13	61%	13%	95%	25.2
AC521	9	54%	11%	87%	27.5
AC524	12	63%	23%	96%	25.9
AC526	9	70%	45%	96%	17.7
Todas las accesiones	146	55%	4%	96%	26.3

Tabla 12b: Fertilidad de polen (%) en *P. ahipa*. Tablas de invernadero 1 y 2 son los resultados de flores producidas en plantas podadas reproductivamente, tablas 6 & 8 de flores de plantas no podadas. Ensayo de invernadero en Højbakkegård, mayo - noviembre de 2000.

Tabla No.	No.plantas	Promedio fertilidad polen	Promedio mínimo	Promedio máximo
1	42	49.6%	25%	75%
2	42	45.7%	24%	66%
6	29	65.8%	58%	78%
8	33	65.4%	53%	81%

Fig. 7: Efecto del tratamiento de día corto en la floración de *Pachyrhizus ahipa*. Cada símbolo representa a una planta. La primera fecha de floración para AC102 (1-12), AC203 (13-24), AC207S (25-36), AC229 (37-48); r = 10 horas en tratamiento de día corto (27 junio-13 septiembre) ☿ = Sin tratamiento de día corto. Ensayo de invernadero en Frederiksberg, inicio 27 junio, cosecha 5 octubre 2000.

Fig. 8: Vainas y número de cámaras por legumbre de *Pachyrhizus ahipa*, 3.987 vainas de 11 razas del campo. Ensayo en Frederiksberg, agosto de 1999 – agosto de 2000.

aspecto que dificulta a la polinización cruzada de las razas. Una observación similar fue registrada por Knudsen *et al.* (2001).

Razas

Hay una considerable diferencia en la floración entre razas, tanto dentro como entre los experimentos. La mayoría de las razas utilizadas en los experimentos difiere – lo que podría contabilizarse para algunas de las diferencias. Sin embargo, comparando a las

mismas razas y tratamientos en los experimentos 1-3 y 5 el nivel de floración difiere significativamente entre los experimentos. Por lo tanto, no se puede plantear una conclusión clara en la base de los resultados de los experimentos aplicados y parece ser que la variación en la intensidad de la floración entre razas está influenciada no solo por las diferencias genéticas, sino por el año, tratamiento, método de cultivo y periodo de los tratamientos, como es discutido más adelante.

Tratamientos

Los tratamientos aplicados a los cormelos y coronas mostraron efectos desviados de la tasa de floración entre los experimentos y razas. Los tratamientos aplicados inducen a la floración en los experimentos 1-3, mientras ninguna o muy reducida floración fue registrada en los experimentos 4-7, pese a que los mismos tratamientos y razas fueron incluidos. Como fue mencionado antes, las razas respondieron diferencialmente a los tratamientos aplicados en los experimentos 1-2, resultando en una interacción significativa entre razas y tratamientos. La tasa de mortalidad fue correlacionada con raza y tratamiento. Tanto los tratamientos Control-1 y de almacenaje tuvieron significativas bajas tasa de mortalidad que en los tratamientos de deshidratación de los cormelos; cuando la corona fue deshidratada, la mortalidad fue reducida al mismo nivel que para el control, el tratamiento de deshidratación por lo tanto deberá ser aplicado a toda la corona pero no a los cormelos.

En resumen, los tratamientos usados en los experimentos han demostrado que la floración puede ser inducida en la arracacha, aplicando diferentes métodos. La deshidratación o almacenaje de coronas han demostrado ser tratamientos prometedores con una elevada respuesta de floración y baja mortalidad; además al aplicar ambos tratamientos fue reducida la variación entre razas. Sin embargo, los métodos son todavía impredecibles, ya que la floración es inducida en algunos experimentos y no en otros. Parte de la variación es probablemente causada por el estado fisiológico de las plantas durante la cosecha y por los métodos de cultivo, pero también se añadió a la variación la deshidratación de los cormelos, en lugar de las coronas.

Medios y métodos de cultivo

Como se mencionó antes, las plantas incluidas en los experimentos 4-7 no florecieron, pese a

que algunas de las razas y tratamientos fueron los mismos usados en los experimentos 1-3. Hay tres mayores diferencias entre estos experimentos: En primer lugar, las plantas utilizadas en los experimentos fueron cultivadas en diferentes localidades; segundo, el tiempo de cosecha y tercero, el método de cultivo. Observaciones similares fueron reportadas por Sedyama (1988) y Sedyama & Casali (1997) quienes plantearon que la floración de la arracacha puede ser inducida solo en junio-agosto, es decir después de los meses secos. Sedyama (1988) demostró que no floreció ninguna de las plantas cosechadas más tarde y tratadas como se mencionó antes, pese a que las coronas fueron mantenidas hasta 120 días a 5-7°C. También Knudsen (1999) observó que la floración no puede ser inducida en arracacha cuando las plantas fueron cosechadas en marzo, es decir en la época de lluvias, mientras que son inducidas cuando son cosechadas después de un mes seco (junio). Por lo tanto, parece ser que importante el estado fisiológico de las plantas durante el tiempo de cosecha para inducir la floración, en analogía a el enraizamiento de esquejes de especies leñosas que enraizan mejor cuando son tomadas de ramas jóvenes (Vieitez & Ballester 1988). Los resultados muestran que tanto el periodo de cosecha, el estado fisiológico de las plantas y posteriores tratamientos son importantes para inducir la floración de la arracacha.

Edad de las plantas y posición de los cormelos

En los experimentos presentados, se incluyeron plantas con edades de 5-24 meses. Como fue demostrado en el experimento 9, fue posible inducir la floración de las plantas de arracacha de cinco meses de edad, cuando se deshidrataron las coronas y fueron separadas en cormelos, antes de ser plantadas. Sin embargo, la tasa de mortalidad fue muy alta. Cuando se usaron las plantas con siete meses de edad, se incrementaron la sobrevivencia y la floración. Pese a que todos los estudios

previamente reportados utilizaron plantas maduras (Sediyama 1988, Bajaña 1994, Hermann 1997, Knudsen *et al.* 2001), la edad de las plantas no parece ser un factor limitante para inducir la floración de la arracacha, mientras hayan alcanzado cierta talla (peso). Más bien parece ser que –como fue descrito antes– el estado fisiológico de la planta en la cosecha determina si la planta está lista para florecer. La edad de la planta no influyó en la floración, sin embargo al usar plantas más altas se incrementó la sobrevivencia y el número de plantas requeridas para obtener suficientes plantas florecidas para la producción de semillas fue reducido a cinco meses, cuando la planta porta pocos cormelos pequeños, mientras que las plantas de un año de edad portan hasta 40 cormelos.

Ajipa: Producción de semillas y caracterización inicial del germoplasma

Pese al éxito obtenido y sin tomar en cuenta las condiciones de invernadero o en el campo, el resultado de la multiplicación de semillas indicó que la identificación de la fecha óptima para la siembra es crucial para una buena producción de semillas, así como para una buena calidad. Es decir, bajo condiciones de campo en el Mediterráneo y la más temprana campaña de siembra posible es necesario evitar el daño de hongos de las semillas que maduran, debido a una excesiva humedad, al final del periodo de producción y bajo condiciones de invernadero en Dinamarca, una tardía fecha de plantado requerirá tanto altas temperaturas como luz adicional para asegurar una duración aceptable del periodo productivo.

Además, cuando son almacenadas es de considerable importancia establecer un cronograma regular de rejuvenecimiento y asegurar un secado óptimo antes de almacenar. Sin embargo, en los experimentos fue registrado que las semillas guardadas por 4-5 años tuvieron un mayor porcentaje de germinación (78%) que aquellas cosechadas en

el mismo año que fueron sembradas (60%). Se registraron elevadas variaciones entre accesiones, siendo los más variables: longitud de tallos, fecha de la primera floración y producción de semillas.

Respuesta a condiciones ambientales

Un tratamiento de inducción de día corto produjo una floración más temprana en aproximadamente el 90% de las plantas, representando a cuatro diferentes accesiones. AC207S, que generalmente ha sido la accesión que floreció más tarde en todos los ensayos de invernadero, fue la más sensible al tratamiento de día corto, mientras que el efecto fue insignificante en AC102, que generalmente fue la que más pronto floreció. Se requieren ensayos adicionales para comprender mejor sobre la respuesta al tratamiento de día corto.

Por lo tanto, el diseño experimental aplicado demostró la importancia de la duración del día en el desarrollo del ciclo de crecimiento en diferentes accesiones. Es decir, para algunas accesiones de floración tardía, el inicio de la formación de tubérculos fue significativamente retardado, como fue la producción de semillas al ser cultivadas durante días largos, excediendo a las 14 horas, mientras que determinadas accesiones parece que tuvieron menor sensibilidad. Deberán realizarse ensayos integrales para identificar la duración diaria óptima en la producción de semillas relacionadas al origen de la accesión e involucrando la duración diaria de 10–16 horas bajo condiciones controladas.

Caracterización del germoplasma

La cantidad de semillas producidas por cada planta muestra una gran variación entre los tres ensayos de invernadero realizados y también entre algunas de las accesiones en cada experimento, con un rango entre accesiones y ensayos de 9.9 hasta 107.2 semillas por planta. Respecto a este aspecto, los

experimentos de invernadero indicaron que la densidad de plantas es un factor principal y que la densidad óptima de plantas para la producción de semillas bajo condiciones de invernadero es de 10-14 plantas m⁻².

Al estudiar el potencial de producción de semillas de las diferentes accesiones, se encontró que la longitud de tallos es un buen indicador. Este rasgo presenta una gran varianza de 43–695 cm, sin embargo generalmente divide a las accesiones en dos grupos principales: Un grupo con una distribución sureña con hábito de crecimiento bajo (50-150 cm) y otro grupo de mayor talla (200-600 cm) en la parte norteña del área geográfica de la especie. Las plantas con tallos alargados tienen todas un crecimiento indeterminado y un prolongado periodo para la floración/producción de semillas.

Los datos combinados de los experimentos desarrollados en el primer y segundo año del proyecto demostraron exitosamente sobre la existencia de una considerable variación entre accesiones e inclusive a nivel infra en algunas accesiones. Al proveer una caracterización final del germoplasma, los datos registrados servirán como base sólida para cualquier reproducción de nuevos cultivares. Como un ejemplo, al podar reproductivamente a las plantas parece ser que tienen una doble estrategia, ya que continúan produciendo flores durante varios meses al mismo tiempo que se da la formación del tubérculo – sin considerar el hábito de crecimiento – pero fueron observadas diferencias de respuesta entre accesiones. Es más probable que no sea tan costosa la cantidad de asimilación requerida para una sobrevivencia exitosa mediante la reproducción sexual y que la planta cese de intentar inmediatamente. Además, parece ser que la remoción de flores gatille una temprana tuberización en las plantas. La poda reproductiva al extraer flores parece inducir a la planta a producir un mayor número de flores con menor fertilidad de polen, siguiendo una estrategia como una posible compensación

de periodos con más altas tasas de abscisión, siendo preferible producir flores adicionales con menor calidad del polen, que menos flores con elevada fertilidad de polen.

Indice de días después de siembra

Casi todas las accesiones alcanzaron al mismo tiempo a los estadios V2, V3 y V4, mientras que el número de días para el estadio R6 –es decir de la primera flor– mostró gran varianza. La figura 9 muestra que se tuvieron dos grupos: Uno que alcanzó este estadio en 2-3 meses después de la siembra y otro que llegó entre 3-5 meses después de la siembra. En la accesión AC230 ambas variaciones estuvieron presentes, ya que las plantas de diferentes progenies de una sola planta funcionan en forma diferencial. El nexo con el origen geográfico parece ser obvio, ya que hay que recordar que las accesiones son obtenidas de valles andinos aislados. Es probable que la fecha de la primera floración esté relacionada a respuestas frente a diferentes duraciones diarias, dependiendo de la latitud de origen de las diferentes accesiones (Figura 10). Este rasgo puede ser de considerable valor al identificar germoplasma para futuras reproducciones.

Al remover los brotes reproductivos, la reacción de asignación de nutrientes entre la vaina y la raíz claramente mejora la tuberización en todas las accesiones probadas bajo condiciones de invernadero. La asimilación producida en la planta ingresa al tubérculo cuando es transferida a las legumbres, por lo que no es posible que funcione como un sumidero (Figura 11).

Los registros del número de cámaras por vaina en *Pachyrhizus ahipa* demostraron que la mayoría de las vainas tienen 6-8 cámaras por vaina en estos ensayos, pero también se observaron vainas con 1-11 cámaras (Figuras 8 y 12). La distribución de vainas con número específico de cámaras en las accesiones fue similar a las cinco tablas de ensayo en Højbakkegård, indicando que este parámetro

Fig. 9: Índice DAS para 420 plantas, representando a 12 diferentes accesiones, promedio de 30 ó 40 plantas por accesión. Ensayo de invernadero en Højbakkegård, mayo-noviembre de 2000.

Fig. 10: Fecha de la primera floración de *P. ahipa*. Un total de 420 plantas representando a 12 razas. Cada símbolo representa a una planta en el experimento. Ensayo de invernadero en Højbakkegård, mayo-noviembre 2000.

puede ser usado para describir la variación entre accesiones. Algunas accesiones en estos ensayos tuvieron a la mayoría de las vainas con un número específico de cámaras, mientras que otras tuvieron una distribución más homogénea con número variable de cámaras.

En el análisis de la fertilidad de polen, casi todas las accesiones fueron encontradas para producir flores con baja y alta fertilidad de polen. No se encontraron diferencias significativas entre accesiones.

Conclusiones

Como ha sido mostrado en los presentes experimentos, en relación a la arracacha la inducción floral todavía requiere más investigación para identificar el tratamiento óptimo. La deshidratación de las coronas seguida por la separación en cormelos antes de ser plantados parece ser el tratamiento más prometedor con las mayores tasas de floración la menor tasa de mortalidad. El tiempo de

Fig. 11: Reacción de asignación de nutrientes entre la vaina y la raíz en *P. ahipa*, peso de tubérculos. Tablas de invernadero 1-5 con plantas podadas reproductivamente, tablas de invernadero 6-10 con plantas no podadas. Peso total producido en cada tabla por las 42 plantas, que representan a 12 razas. Ensayo de invernadero en Højbakkegård, mayo-noviembre 2000.

Fig. 12: Vainas y número de cámaras por vaina en *Pachyrhizus ahipa*, 2.733 vainas de 210 plantas representando a 12 razas. Ensayo de invernadero en Højbakkegård, mayo-noviembre de 2000.

cosecha y el estado fisiológico de las plantas requieren más investigación, así como dar luces sobre la influencia de estos factores.

Para la ajipa los ensayos realizados revelan mayor variación entre grupos de accesiones, pero también indican que la variación dentro de algunas de las accesiones es significativa respecto a los tratamientos agronómicos así como en la producción de semillas y de tubérculos. Esta observación es esperada, así como por los campesinos rurales en general, es decir de cuáles accesiones fueron originalmente

obtenidas, no selecciona semillas en base a una sola planta. Para caracterizar el germoplasma más precisamente es por lo tanto necesario probar en la progenie de una sola planta y en un mayor número de plantas.

En conclusión, ha sido exitosamente demostrado que es posible desarrollar semilla *ex situ*, basada en la conservación de cultivos de raíces y tubérculos vegetativamente propagados, mientras al mantener las existentes razas del campo en floración pueden ser inducidas y las plantas ser autocompatibles.

Por el contrario, pese a que el almacenamiento de semillas no es problemático en propagar cultivos sexualmente como la ajipa, no asegura la conservación de las razas del campo actuales, porque como se ha demostrado la variación dentro de esas razas es continuamente utilizada en métodos de reproducción/selección practicados por productores rurales. Por lo tanto, cualquier germoplasma conservado *ex situ* desde las semillas propagadas de un cultivo de raíz o tubérculo en contraste con el cultivo autopolinizado y vegetativamente multiplicado solo representará una imagen congelada de un germoplasma existente en el periodo de la colección y no necesariamente a las razas del campo existentes en el tiempo de utilización del material de germoplasma!

Agradecimientos

Expresamos nuestro agradecimiento a nuestros colegas Ings. Juan Seminario y Miguel Valderrama, Jorge Cuerva y Willy Culcy de la Universidad de Cajamarca, en Perú. En el CIP se agradece la colaboración prestada por Drs. Michael Hermann y Miguel Holle. El Council for Development Research de Dinamarca (grant no. 90988) financió el estudio de la arracacha, mientras que el estudio de la ajipa fue financiado por la Unión Europea (grant FAIR contrato CT98-4297) ambos son profundamente agradecidos.

Referencias

- Bajaña, D.F. 1994. Efectos de factores ambientales sobre la floración de zanahoria blanca (*Arracacia xanthorrhiza* Bancroft). MSc tesis; Pontificia Universidad Católica del Ecuador, Facultad de Ciencias y Naturales, Departamento de Ciencias Biológicas, Quito. 116 p.
- Bristol, M.B. 1988. Edible arracachas of the Sibundoy. Revista de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas Físicas y Naturales 16: 107-110.
- Brücher, H. 1977. Tropische Nutzpflanzen: Ursprung, Evolution und Domestikation. Springer-Verlag, Berlin. 529 p.
- Brücher, H. 1989. Useful plants of Neotropical origin and their wild relatives. Springer Verlag, Berlin. 296 p.
- Bukasov, S. M. 1981. Arracacha. Las plantas cultivadas de México, Guatemala y Colombia. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza, CATIE, Turrialba. 173 p.
- Burkart, A. 1952 (2nd ed.) Las leguminosas argentinas silvestres y cultivadas. Acme Agency, Buenos Aires. 569 p.
- Bustamante, P. G., Casali, V.W.D. & Sedyama, M.A.N. 1997. Melhoramento genético da mandioquinha-salsa. Informe Agropecuario 19: 16-18.
- Castellanos, J. Z., Zapata, V. Badillo, J.J. Peña-Cabriales, E.S. Jensen & E. Heredia-García, 1997. Symbiotic nitrogen fixation and yield in *Pachyrhizus erosus* (L.) Urban cultivars and *Pachyrhizus ahipa* (Wedd.) Parodi landraces as affected by flower pruning. Soil Biology and Biochemistry 29 (5/6): 973-981.
- Charchar, J. M. & F. F. D. Santos. 1997. Nematóides em mandioquinha-salsa e seus controles. Informe Agropecuario 19: 51-53.
- Diouf, O., H. Roy-Macauley & D.J.M. Annerose. 1998. Tuber-pod competition and drought responses in Yam Bean (*Pachyrhizus ahipa* (Wedd.) Parodi). Pp. 407-412 En: M. Sørensen, J.E. Estrella E., O.J. Hamann & S.A. Ríos Ruíz (eds.). 1998. Proceedings of 2nd International Symposium on Tuberous Legumes, Celaya, Gto., Mexico 5-8 August 1996. MacKeezie, Copenhagen.
- Freidberg, C. 1982. Quelques données ethnobotaniques sur les Ombellifères. En: A.M. Cauwet-Marc & J. Carbonnier (eds.). 2^{ème} Symposium International sur les Ombellifères. Contributions Pluridisciplinaires à la Systématique, Perpignan. Monographs in Systematic Botany 6: 795-808.
- Giordano, L. D., F. F. Santos, G. P. Henz & A.W. Moita. 1995. Avaliação de clones de mandioquinha-salsa no Distrito Federal provenientes de sementes botânicas. Horticultura Brasileira 13: 188-191.

- Grau, A. 1997. Ahipa, la legumbre tuberosa de los Andes. *Ciencia Hoy* 7 42: 31-38.
- Grau, A. & B. Ørting. 1997. La ahipa, *Pachyrhizus ahipa* (Wedd.) Parodi. *Desarrollo Agroforestal y Comunidad* 28: 30-33.
- Grum, M. 1994. Breeding of new yam bean (*Pachyrhizus* Rich. ex DC.) cultivars in Tonga involving interspecific hybrids. Pp. 315-320 En: M. Sørensen, (ed.). *Proceedings of the First International Symposium on Tuberous Legumes*; Guadeloupe, F.W.I., 21-24 April 1992. Jordbrugsforlaget, Copenhagen.
- Hermann, M. 1997. Arracacha (*Arracacia xanthorrhiza* Bancroft). pp. 75-172 En: M. Hermann & J. Heller (eds.). *Andean Roots and Tubers: Ahipa, Arracacha, Maca and Yacon*. International Plant Genetic Resources Institute, Roma.
- Higuita, F. 1968. El cultivo de la arracacha en la sabana de Bogotá. *Agricultura Tropical* 24: 139-146.
- Hiller, L.K. & W.C. Kelly. 1979. The effect of post-vernalization temperature on seedstalk elongation and flowering in carrots. *Journal of American Society of Horticultural Sciences* 104: 253-257.
- Hodge, W.H. 1954. The edible arracacha – a little known root crop of the Andes. *Economic Botany* 8: 195-221.
- Knudsen, S.R. 1999. Flower induction in the Andean root crop arracacha (*Arracacia xanthorrhiza* Bancroft) – A description and evaluation of the morphological changes following dehydration. MSc thesis. Botanical Section, Department of Ecology, The Royal Veterinary and Agricultural University, Copenhagen. 58 p.
- Knudsen, S.R. 2003. Reproduction biology of the Andean root crop arracacha (*Arracacia xanthorrhiza* Bancroft var. *xanthorrhiza*) and the taxonomic status of the South American *Arracacia* Bancroft species with special emphasis on the position of the cultivated arracacha and related wild species. PhD thesis, Dept. Ecology, KVL, Frederiksberg C, Copenhagen. 140 p.
- Knudsen, S.R., M. Hermann & M. Sørensen. 2001. Flowering in six clones of the Andean root crop arracacha (*Arracacia xanthorrhiza* Bancroft). *Journal of Horticultural Science and Biotechnology* 76: 454-458.
- León, J. 2000. Apiales. *Botánica de los cultivos tropicales*. Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura, San José. 445 p.
- Mathias, M. E. & L. Constance. 1962. Umbelliferae. pp. 13-19 En: J. Macbride (ed.) *Flora of Peru*, vol. XIII, Field Museum of Natural History, Chicago.
- Matos, M. C., A. A. Matos & J. B. Vieira da Silva. 1998. Effect of manual and chemical flower pruning on tuber production of *Pachyrhizus ahipa* (Wedd.) Parodi. Pp. 181-190 En: M. Sørensen, J. E. Estrella E., O. J. Hamann & S. A. Ríos Ruíz (eds.). 1998. *Proceedings of 2nd International Symposium on Tuberous Legumes*, Celaya, Gto., Mexico 5-8 August 1996. MacKeenzie, Copenhagen.
- Meza, G. 1995. Variedades nativas de virraca (*Arracacia xanthorrhiza* Bancroft) en Cusco. Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco, Facultad de Agronomía y Zootecnia, Cusco. 14 p.
- Nielsen, P.E. & M. Sørensen, 1998. Reproductive pruning in *Pachyrhizus ahipa* (Wedd.) Parodi. Pp. 245-252. En: M. Sørensen, J.E. Estrella E., O.J. Hamann & S.A. Ríos Ruíz (eds.). 1998. *Proceedings of 2nd. International Symposium on Tuberous Legumes*, Celaya, Gto., Mexico 5-8 August 1996-MacKeenzie, Copenhagen.
- Ørting, B., W.J. Grüneberg & M. Sørensen. 1996. Ahipa (*Pachyrhizus ahipa* (Wedd.) Parodi) in Bolivia. *Genetic Resources and Crop Evolution*. 43: 435-446.
- Ørting, B., W.J. Grüneberg, A. Grau & M. Sørensen. 1998. Status of Ahipa (*Pachyrhizus ahipa* (Wedd.) Parodi) in Bolivia and northwestern Argentina. Pp. 73-94 En: M. Sørensen, J. E. Estrella E., O. J. Hamann & S. A. Ríos Ruíz (eds.). 1998. *Proceedings of 2nd. International Symposium on Tuberous Legumes*, Celaya, Gto., México 5-8 August 1996. MacKeenzie, Copenhagen.
- Parodi, R.L. 1935. Relaciones de la agricultura prehispánica con la agricultura argentina actual. *Anales Acad. Nac. Agr. Vet. Buenos Aires* 1: 115-167.
- Pereira, A.S. 2000. Mandioquinha-salsa: alimento proteico, energetico ou nutraceutico? *Horticultura Brasileira* 18: 246-249.

- Peterson, L.E., R.L. Clark & R.C. Menary. 1993. Umbel initiation and stem elongation in fennel (*Foeniculum vulgare*) initiated by photoperiod. *Journal of Essential Oil Research* 5: 37-43.
- Ramin, A.A. & J.G. Atherton. 1994. Manipulation of bolting and flowering in celery (*Apium graveolens* L. var. *dulce*). III. Effect of photoperiod and irradiance. *Journal of Horticultural Science* 69: 861-868.
- Santos, F.F.D. 1997a. A cultura da mandioquinha-salsa no Brazil. *Informe Agropecuário* 19: 5-7.
- Santos, F.F.D. 1997b. Utilização de mudas juvenis e do pré-enraizamento no impedimento da floração em mandioquinha-salas. *Informe Agropecuário* 19: 27-34.
- Santos F.F. & J.B. Spina. 1994. Bibliografía internacional de mandioquinha-salsa (*Arracacia xanthorrhiza* Bancroft). EMBRAPA-CNPQ, Brasilia DF. 70 p.
- Sediyama, M. A. N. 1988. Métodos de Propagação da batata-baroa (*Arracacia xanthorrhiza* Bancroft). PhD thesis. Universidade Federal de Viçosa, Minas Gerais, Viçosa. 114 p.
- Sediyama, M.A.N., V.W.D. Casali, E.A.M. Silva, A.A. Cardoso & R.F. Silva. 1990a. Efeito da origem e tempo de estratificação das sementes na emergência de plântulas de mandioquinha-salsa. *Horticultura Brasileira* 8: 26-27.
- Sediyama, M.A.N., V.W.D. Casali, E.A.M. Silva, A.A. Cardoso & R.F. Silva. 1990b. Germinação de sementes de mandioquinha-salsa tratadas com fungicidas, nitrato de potássio e ácido sulfúrico. *Horticultura Brasileira* 8: 17-18.
- Sediyama, M.A.N. & V.W.D. Casali. 1997. Propagação da mandioquinha-salsa por sementes. *Informe Agropecuário* 19: 21-24.
- Sørensen, M. 1990. Observations on distribution, ecology and cultivation of the tuber-bearing legume genus *Pachyrhizus* Rich. ex DC. (Fabaceae: Phaseoleae). *Wageningen Papers* 90-3: 1-38.
- Sørensen, M. 1996. Yam bean (*Pachyrhizus* DC.). Promoting the conservation and use of underutilized and neglected crops. 2. Pp. 1-141 En: J. Heller (ed.) Institute of Plant Genetics and Crop Plant Research, Gatersleben / International Plant Genetic Resources Institute, Roma.
- Sørensen, M., Grum, M., Paull, R.E., Vaillant, V., Venthou-Dumaine, A. & C. Zinsou. 1993. Yam bean (*Pachyrhizus* species). Pp. 59-102. En: Williams, J.T. (ed.) Underutilized Crops: Pulses and Vegetables. Chapman & Hall, Londres-Nueva York.
- Sørensen, M., Grüneberg, W.J. & B. Ørting. 1997. Ahipa (*Pachyrhizus ahipa* (Wedd.) Parodi). Pp. 13-73 En: Hermann, M. & J. Heller (eds). Andean Roots and Tubers: Ahipa, Arracacha, Maca and Yacon. Promoting the conservation and use of underutilized and neglected crops. 21 (Heller, J. series ed.) Institute of Plant Genetics and Crop Plant Research / International Plant Genetic Resources Institute, Roma.
- Vaz, F., J.B. Vieira da Silva & M.C. Matos. 1998. Yield of yam bean (*Pachyrhizus ahipa* (Wedd.) Parodi, in a Mediterranean climate. Pp. 285-290 En: M. Sørensen, J.E. Estrella E., O.J. Hamann & S.A. Ríos Ruíz (eds.). 1998. Proceedings of 2nd International Symposium on Tuberous Legumes, Celaya, Gto., Mexico 5-8 August 1996-MacKenzie, Copenhagen.
- Vieitez, J. & A. Ballester. 1988. Endogenous rooting inhibitors in mature chestnut cuttings. *Acta Horticulturae*. 227: 167-169.
- Zanin, A.C.W. & V.W.D. Casali. 1984. Efeitos climáticos sobre a mandioquinha-salsa. *Informe Agropecuário* 10: 13-15.