

Factsheet: Datos botánicos de Yacón

***Smallanthus sonchifolius* (Poepp.) H. Rob.**



Proyecto

Desarrollo de monografías botánicas (factsheets) para cinco cultivos peruanos

Hojas Botánicas: Yacón – *Smallanthus sonchifolius* (Poepp.) H. Rob.

Autores: Nicolas Dostert, José Roque, Asunción Cano, María I. La Torre y Maximilian Weigend

Traducción: Frederico Luebert

Fecha: Abril 2009

Documento: D38/08-15

Foto de la carátula: David Rosario

Proyecto Perúbiodiverso – PBD:

Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit (GTZ) GmbH: Programa Desarrollo Rural Sostenible – PDRS

Secretaría de Estado de Economía Suiza – SECO

Ministerio de Comercio Exterior y Turismo – MINCETUR

botconsult GmbH

Fidicinstr. 11, D-10965 Berlin, Alemania

E-Mail: info@botconsult.de

Museo de Historia Natural

Universidad Nacional Mayor de San Marcos

Avda. Arenales 1256, Jesús María. Apartado Postal 14-0434

E-Mail: acano@unmsm.edu.pe; ashuco@yahoo.com

Impreso en Forma e Imagen de Billy Víctor Odiaga Franco

Primera Edición

Lima – Perú, setiembre del 2009

I. BOTÁNICA

Género. El género *Smallanthus* pertenece a la familia Asteraceae (Compuestas) y actualmente reúne 21 especies que antes eran incluidas en el género *Polymnia* (48, 49, 50, 67, 68, 69). El género *Smallanthus* tiene su distribución restringida a América y su centro de diversidad se encuentra en Centroamérica y en los Andes. Las especies de *Smallanthus* son hierbas perennes, muy raramente arbustos o pequeños árboles y sólo una especie es anual (17). El género se caracteriza por la superficie (con ligeras hendiduras) y forma del aquenio (radialmente engrosada y lateralmente comprimido), la nervadura foliar (casi siempre trinervadas o palmatilobuladas), presencia de un verticilio al exterior de las brácteas involucrales, la falta de glándulas en el ápice de las anteras y la forma de los pelos de la corola (con ápice agudo).

Morfología. *S. sonchifolius* es una hierba perenne de 1,5—3 m de altura, con tallo cilíndrico a angular, surcado, hueco en la madurez y densamente pubescente en la parte superior (17, 67). El sistema radicular se compone de un sistema muy ramificado de raíces de absorción y de hasta 20 raíces carnosas y tuberosas de almacenaje. Las raíces de almacenaje se forman a partir de un sistema ramificado de ejes subterráneos; son mayoritariamente napiformes, pueden alcanzar hasta 25 cm de largo y 10 cm de grosor y pesan entre 0,2—2 kg.. El color de la corteza de las raíces y del tejido de almacenaje varía, dependiendo del clon, entre blanco, crema, rosado (estriado), lila, y hasta marrón. Las hojas son opuestas, con lámina decurrente hacia el pecíolo; la lámina foliar es anchamente obovada con la base hastada, auriculada o connada; las hojas superiores son obovado-lanceoladas; la haz de la hoja es piloso y el envés pubescente. Las inflorescencias son terminales, con 1—5 ejes, cada uno con tres capítulos y pedúnculos densamente pubescentes. Las brácteas involucrales son uniseriadas y obovadas, de hasta 15 mm de largo y 10 mm de ancho. Los capítulos son amarillos a anaranjados, con cerca de 15 flores liguladas. Las flores liguladas son femeninas, 2—3-dentadas, de hasta 12 mm de largo y 7 mm de ancho. Las flores tubulares son masculinas, con cerca de 7 mm de largo. El fruto es un aquenio, de 3,7 x 2,2 mm en promedio (55); tienen forma elipsoidal, color café oscuro, con epidermis lisa, endocarpio sólido caracterizado por el libre desprendimiento del pericarpio con un ligero frotamiento; algunos ecotipos no producen frutos y si los producen no son viables (47).

Taxonomía. Los trabajos sobre la sistemática de *Smallanthus* (o *Polymnia*) se basan casi exclusivamente en ejemplares de herbario, los cuales, debido a la estructura y tamaño de las plantas y la baja accesibilidad de la mayor parte de las áreas de distribución natural, son de tamaño reducido o de calidad poco satisfactoria; por ejemplo, faltan en general los órganos subterráneos (48, 67). Por ello, la determinación de las especies sudamericanas no es fácil (17). Una nueva revisión crítica de los representantes sudamericanos del género es imperiosamente necesaria.

Variabilidad. Por el color del tallo y de las raíces de almacenaje, los agricultores son capaces de diferenciar cada uno de los cultivares. La diversidad es, sin embargo, mucho menor que la de otras plantas útiles comparables. Es posible estimar la existencia de sólo unos 20—30 cultivares (32, 33). Bajo condiciones controladas, los cultivares (i.e. genotipos) se diferencian significativamente en la forma y peso de las raíces de almacenaje, el rendimiento, el contenido de azúcar, fenol y ADN, y en las isoenzimas foliares (18, 26, 27, 28, 29, 30, 35, 38, 62). Tello señala que en el Perú hay dos centros de diversidad fenotípica: el sur, en la parte andina oriental de Cuzco y Puno, y el norte, en las provincias de Cajamarca y Contumazá, en Cajamarca (60). Seminario *et al.* señalan cuatro morfotipos para el norte del país, diferenciados

por diferentes descriptores como el color de las raíces y forma de las hojas; de estos, el tipo III es el más frecuente en esta región, sobre todo en aquellos lugares donde el cultivo tiene carácter comercial (52). Mansilla, por su parte, menciona que en los bancos de germoplasma del INIA, CIP y universidades de Cuzco y Cajamarca existen 323 entradas (clones) de yacón, habiéndose identificado 35 morfotipos - nueve en el INIA, diez en el CIP, ocho en la Universidad Nacional de Cajamarca y ocho en la Universidad Nacional San Antonio Abad del Cusco (UNSAAC); de sus análisis concluye que existe mayor diversidad en la zona central del país (34).

II. CARACTERES DIAGNÓSTICOS Y POSIBLES CONFUSIONES.....

En Perú, se reconoce la presencia de otras seis especies de *Smallanthus*, además de *S. sonchifolius* (5). Dos de estas especies, *S. riparius* (H.B.K.) H. Rob. y *S. siegesbeckius* (DC.) H. Rob., se consideran pertenecientes al mismo grupo que el yacón ("yacon group") y están, sobre la base de su distribución, hábito y morfología, estrechamente emparentadas con *S. sonchifolius* (17). Debido a esta problemática, los caracteres diagnósticos empleados por Wells no son siempre fáciles de interpretar (ver Tabla 1) (67); sin embargo, ya que el yacón o llacón se reproduce exclusivamente por vía vegetativa y no es recolectado en poblaciones silvestres, no existe ningún riesgo verdadero de confundirlo con las otras especies.

Tabla 1: Caracteres diagnósticos de las especies peruanas de *Smallanthus* del "yacon group" (67)

Carácter	<i>S. siegesbeckius</i>	<i>S. riparius</i>	<i>S. sonchifolius</i>
Flores tubulares	Número ≤ 15	Número ≥ 30	Número ≥ 60
Flores liguladas	5—6 mm largo	≥ 10 mm largo	ca. 12 mm largo
Brácteas involucrales	≤ 1cm	≥ 1 cm	≤ 15 mm largo y ≤ 10 mm ancho
Paleas	Margen involuto		Margen no involuto
	Prolongadas hacia un punto elongado		Ápice agudo o acuminado
	Con glándulas estipitadas en la parte inferior, glándulas de hasta 1 mm largo		Si glandular, entonces las glándulas sésiles o casi sésiles

III. DISTRIBUCIÓN

Distribución mundial. *S. sonchifolius* está actualmente distribuido en gran parte del territorio andino como planta silvestre o en cultivo, desde Ecuador en el norte, hasta el noroeste argentino en el sur (17, 20, 55); incluso ha sido ocasionalmente reportado para Colombia y Venezuela (41, 45, 67, 72). El centro de diversidad se encuentra entre la cuenca del Apurímac en el sur de Perú (14°S) y La Paz en Bolivia (17°S). En ese territorio se encuentra la más alta diversidad genética del yacón y también tres de las especies silvestres más relacionadas. En los últimos 30—40 años también se han realizado intentos de cultivo fuera de su área de distribución natural, parte de ellos en forma masiva, sobre todo en Nueva Zelanda, China, Rusia, Taiwán, Japón, Corea, Brasil y en la antigua Checoslovaquia (10, 30, 33).

Distribución en Perú. El cultivo de yacón en Perú ha sido documentado para 18 departamentos andinos (55). Las principales áreas de producción se encuentran en Cajamarca, Puno, Pasco, Huánuco, Ancash y Junín, y en menor magnitud en Piura, Amazonas, Lambayeque, La Libertad, San Martín, Lima, Huancavelica, Ayacucho, Apurímac, Arequipa y Cusco.

Tabla 2: Estimación de la frecuencia y distribución de *S. sonchifolius* en Perú sobre la base de los especímenes de los herbarios USM, HUT, HAO, AMAZ, CUZ, HUSA (no hay especímenes de los demás departamentos, material del estado silvestre no documentado).

Departamento	# Ejemplares	# Provincias	Frecuencia estimada
Ancash	1	1/20	raro
Cajamarca	1	1/13	baja
Cusco	4	3/13	baja
Huánuco	1	1/11	baja
Junín	1	1/9	baja
La Libertad	1	1/12	raro

IV. ECOLOGÍA Y POSIBLES ÁREAS PARA EL CULTIVO

Hábitat. Se asume que el yacón y las especies emparentadas se han desarrollado en territorios húmedos de la vertiente oriental de los Andes, bajo condiciones de temperaturas moderadas y un período estacional con sequía acentuada (17).

Crecimiento. El crecimiento óptimo se produce bajo temperaturas entre 18 y 25°C, en el que las hojas toleran temperaturas de hasta 40°C sin daño evidente. Temperaturas nocturnas bajas en lugares de altitud media llevan a un desarrollo óptimo de raíces de almacenaje, mientras que zonas bajas cálidas favorecen un mayor desarrollo de porciones caulinares subterráneas o propágulos (erróneamente llamados rizomas). Los órganos aéreos del yacón no son tolerantes a las heladas y evidencian daño bajo temperaturas desde -1°C (17). El cultivo del yacón, sin

embargo, no presenta problemas en zonas con heladas débiles en tanto que estas ocurran al término del período vegetativo. En Nueva Zelanda, temperaturas de alrededor de -7°C producen también la muerte de todos los órganos subterráneos de la planta. Temperaturas menores a 10—12°C bajo radiación solar intensa llevan a daño en las hojas.

Biología floral. La biología floral y de polinización del yacón no es bien conocida. En general, el desarrollo floral del yacón es reducido en comparación con las formas silvestres, un fenómeno conocido para otras plantas útiles con reproducción clonal (17). El desarrollo floral es fuertemente dependiente de las condiciones ambientales y es diferente en las distintas áreas en que se cultiva. En condiciones favorables de cultivo, la floración comienza después de 6—7 meses y alcanza su punto máximo después de 8—9 meses. Se asume que el yacón presenta polinización cruzada. Una indicación de ello es la morfología del polen, el desarrollo temprano de las flores femeninas (protoginia), la morfología de las flores femeninas y la producción de néctar, sobre todo en las flores tubulares (55). Adicionalmente, un estudio de la polinización mostró que la producción de semillas en flores con polinización abierta es el doble que en flores encapsuladas (31). La producción de semillas es, sin embargo, bastante baja en la mayoría de los casos; las razones de ello no son bien conocidas. La esterilidad del polen se asume como uno de los posibles factores, aunque los estudios disponibles hasta ahora son contradictorios (16, 56). Un desequilibrio en el metabolismo de la planta puede ser asumido como un factor adicional, en el que la planta debe suministrar recursos energéticos para el desarrollo de un elevado número de flores y, al mismo tiempo, para el de las raíces de almacenaje. Evidencia de ello es el mayor número de semillas formadas en las flores que se desarrollan primero. Además, las tasas de germinación de las semillas menos desarrolladas son muy bajas, alcanzando 0—32% (6, 46). Una de las posibles razones es la latencia física de las semillas debido a la dureza de la testa, la que es conocida para una de las especies silvestres de *Smallanthus*. Más aún, el crecimiento de las plantas producidas por semilla es más lento que el que muestran las plantas vegetativamente reproducidas. Las flores del yacón pueden ser producidas artificialmente a través de injertos en girasol (40).

Fotoperiodo. El yacón es considerado neutral al fotoperiodo, al menos en lo que respecta al desarrollo del tallo y de las raíces de almacenaje (33, 41, 45). Ya que dichos procesos comienzan más tarde a mayores latitudes, Grau y Rea asumen que el yacón desarrolla raíces de almacenaje y florece predominantemente en días cortos (17).

Región de cultivo. En general, el cultivo es posible en latitudes templadas y subtropicales (0—24°) (33). Aun cuando el yacón puede ser cultivado en casi todo Perú, desde la Costa (Lima, Trujillo) hasta los bosques lluviosos de tierras bajas, este se desarrolla de la mejor manera en los pisos altitudinales entre 1.100 y 2.500 m (55). En el extremo norte de Perú el yacón no puede ser cultivado arriba de los 3.000 m; sin embargo, en Amazonas y San Martín, puede ser cultivado exitosamente incluso hasta en los bosques nublados (ca. 3.600 m). Los rangos de altitud que han sido indicados para otros países sugieren una alta capacidad de adaptación: 900—3.500 m en Bolivia y Ecuador, 600-2.500 m en el noroeste argentino, 600 m en Brasil y al nivel del mar en Nueva Zelanda y Japón.

V. CULTIVO Y EXPLOTACIÓN

Cultivo. El yacón es una planta cultivada, y el uso de plantas silvestres casi no se conoce. En las zonas altas de los Andes, el yacón es plantado hacia el comienzo del período de lluvias entre septiembre y octubre, de modo que la mayor parte de período vegetativo ocurre en la época lluviosa. En zonas más bajas, con riego suficiente, puede ser plantado y cosechado durante todo el año (33, 55). En zonas secas y libres de heladas de Perú, el yacón puede ser cosechado durante todo el año en la medida que la correspondiente disponibilidad de agua es asegurada. La preparación del terreno depende de las condiciones locales. La plantación de, por ejemplo, los esquejes de los propágulos, se realiza en hileras con una distancia de 0,6—1,0 m entre plantas y 0,8—1,0 m entre hileras. Ensayos de distanciamiento de yacón en Corea sugieren una densidad de 30.000 plantas/ha (9), con distancias de 70 cm entre hileras y de 47 cm entre plantas. También, en Nueva Zelanda, se ha mostrado un incremento en el rendimiento con el aumento de la densidad sobre 24.000 plantas/ha (10). Las plantas de yacón necesitan relativamente mucha agua en el inicio del período vegetativo. En la mayor parte de los valles interandinos donde el yacón ha sido cultivado, debe ser regado. En Bolivia el yacón es mayoritariamente cultivado en territorios con precipitaciones entre 300—600 mm. Precipitaciones \geq 800 mm se consideran óptimas. Se recomienda mullir las hileras durante el período vegetativo (45). Si se plantan fragmentos de rizoma, el desarrollo inicial de las plantas es relativamente lento y los vástagos no emergen sino hasta después de 30—50 días. El control de malezas es aplicado normalmente sólo dos veces al comienzo del período vegetativo, ya que las plantas de yacón pueden subsecuentemente suprimir las malezas. Sobre la fertilización de yacón se ha investigado muy poco: en Brasil se ha mostrado, en un ensayo con un cultivar, que los rendimientos más altos se obtienen mediante fertilización con 140 kg N/ha y 100 kg K/ha (1); en Cajamarca la fertilización con 5—10 ton/ha de humus es suficiente para equilibrar la pérdida de nutrientes (55).

Suelo. El yacón se desarrolla bien en distintos tipos de suelo. Los más apropiados parecen ser suelos livianos, profundos, con buen drenaje y ricos en nutrientes (45). Estos suelos favorecen un desarrollo uniforme de las raíces de almacenaje y limitan la descomposición. Suelos muy pesados son poco aptos. Incluso se han logrado buenos resultados en terrazas fluviales en Bolivia y en suelos laterizados tratados con dolomitas en Brasil (17). El pH del suelo puede ser ácido a levemente alcalino; los mejores resultados se logran en suelos con pH neutro a levemente ácido (32).

Propagación vegetativa. La propagación es siempre vegetativa y se efectúa tradicionalmente por propágulos (cepas), esquejes y nudos enraizados (44). Los propágulos (porciones caulinares subterráneas) deben ser divididos de modo que cada fragmento tenga entre 3—5 brotes (33, 55); de esta manera, es posible obtener 15—35 esquejes del propágulo de una planta de un año. Mediante la plantación de propágulos de mayor tamaño en Nueva Zelanda (200 gr en lugar de 50 gr), el rendimiento por planta fue incrementado a más del doble (10). Las raíces de almacenaje no pueden ser propagadas. Nuevos estudios muestran que los propágulos pueden ser mantenidos bajo tierra 25—40 días después de la cosecha, después de lo cual los vástagos o rebrotes pueden ser cuidadosamente separados y plantados. De este modo puede acelerarse algo el ciclo de cultivo. La propagación mediante esquejes de tallos (con al menos dos brotes) puede ser también llevada a cabo (17); para ello, lo mejor es emplear plantas antes de la floración, por ejemplo, de 5,5—6 meses de edad. En laboratorio, bajo condiciones controladas (atmósfera saturada), el mejor enraizamiento se produce mediante tratamiento con auxinas. En el campo, los almácigos son preparados con arena de río lavada y

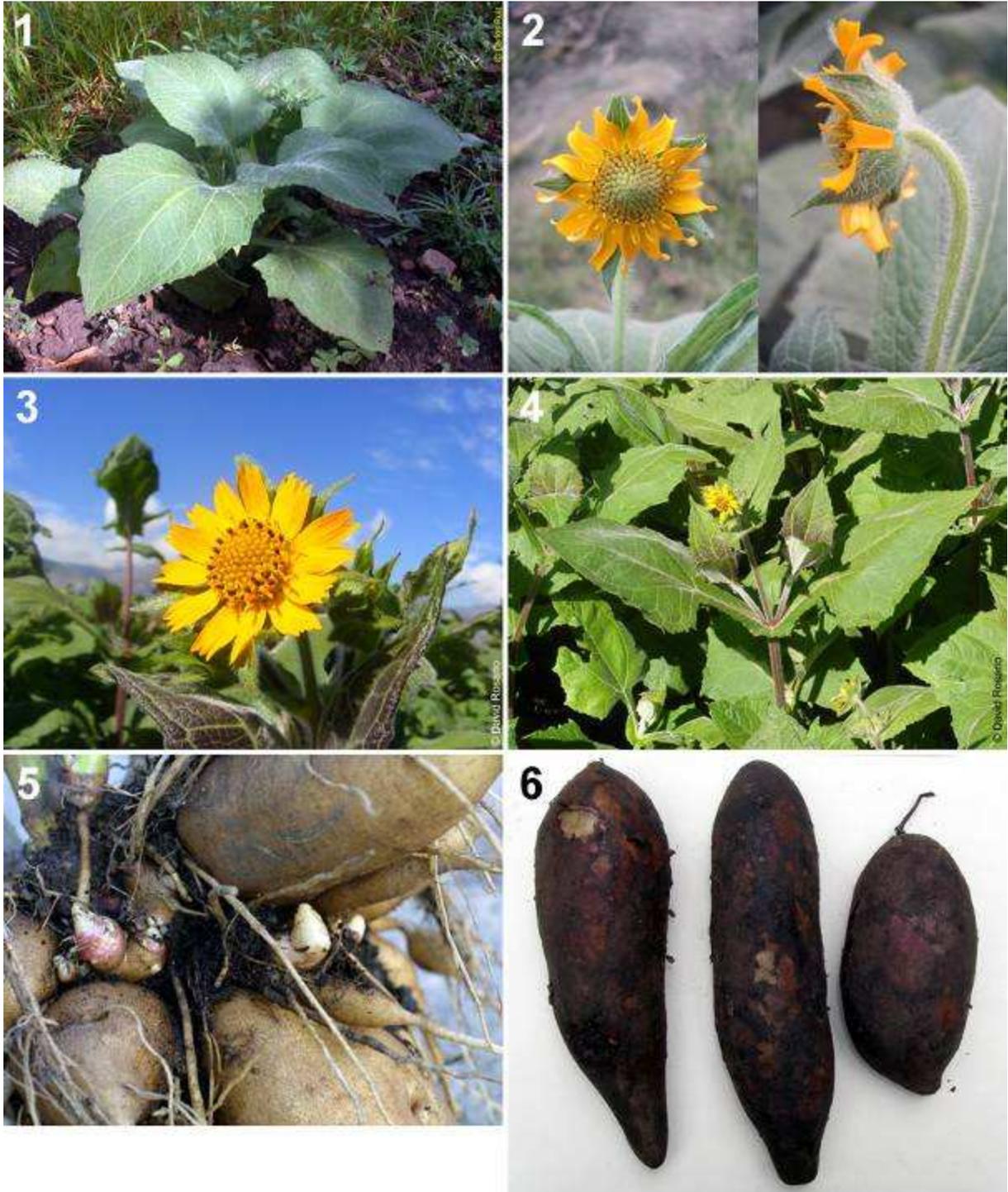
desinfectada con formalina (10%), en la que los esquejes se mantienen en condiciones húmedas al menos hasta que aparezcan los primeros brotes; de esta manera, el 98—100% de los esquejes enraízan después de 45 días (53). También la propagación mediante brotes individuales es posible en invernadero (54); los brotes individuales son aquí puestos en sustrato enraizante bajo condiciones estériles; después de 60 días enraízan entre 43 y 97% dependiendo del cultivar. El mismo método puede ser aplicado a tallos completos y los brotes deben ser separados después del enraizamiento. La propagación *in vitro* es también posible y comercialmente interesante; varios protocolos han sido desarrollados para ello, los que son interesantes en la producción de ejemplares vegetales libres de virus (11, 36, 39, 63, 71).

Enfermedades y daños. Enfermedades y parásitos no son hasta ahora un gran problema en el cultivo del yacón, ya que no existen monocultivos de gran extensión. Los parásitos aparecen en cultivo en latitudes cálidas y húmedas. Algunos parásitos y enfermedades de hojas y raíces han sido reportados (4, 12, 17, 31, 43, 51).

Cosecha y rendimiento. Después del término del ciclo vegetativo, las partes aéreas del yacón comienzan a morir, lo que indica la época de cosecha. Las raíces de almacenaje pueden permanecer, todavía, un tiempo en el suelo sin dañarse, dependiendo de la región y el clima. La cosecha se realiza, dependiendo de la región y la altitud, 6—12 meses después de la plantación. Investigaciones en Brasil y Nueva Zelanda prueban que una cosecha cada 7—8 meses es lo mejor con respecto a rendimiento y contenido de fructo-oligosacáridos (42, 66, 70). Durante la cosecha deben removerse primero las partes aéreas de las plantas y luego desenterrar cuidadosamente todo el stock de raíces (55). Las raíces de almacenaje son muy sensibles a daño mecánico. Posteriormente se separa el rizoma de las raíces de almacenaje. En Brasil y Nueva Zelanda, cosechadores mecánicos de papas han sido utilizados de manera exitosa (10, 21). En cosecha de hojas, se cosechan las hojas adultas, cuando forman aproximadamente un ángulo recto con el tallo. Estudios preliminares en Cajamarca asumen que las hojas pueden ser cosechadas cada 30 días. La magnitud de la influencia de la cosecha de hojas en la producción de raíces de almacenaje no se conoce hasta ahora. La producción media de raíces de almacenaje por hectárea alcanza, en cultivo en el territorio alto-andino, normalmente 20—40 ton/ha peso fresco (peso seco 10—14%) y en las cercanías de Cajamarca 40—50 ton/ha (18, 45, 55). La producción depende fuertemente de la elección del cultivar, de la región de cultivo (altitud, duración del día, fertilidad del suelo) y de otros cuidados culturales y medidas de fertilización. En Brasil se han obtenido hasta 100 ton/ha (21). Distanciamientos más bajos entre plantas aumentan el rendimiento de la cosecha y la proporción de raíces de almacenaje (< 200 g) (1, 9, 61). La cosecha de hojas se estima en 3—4 toneladas peso seco bajo densidades de 18.500 plantas/ha. En la República Checa se han cosechado ca 2 toneladas de hoja (64). Adicionalmente se realizó evaluaciones de 45 genotipos de colecciones del banco de germoplasma del Centro de Investigación de Cultivos Andinos (CICA) y Programa de Raíces y Tubérculos Andinos (RTA) de la UNSAAC, y encontró un rendimiento promedio de 0,9 kg/planta (58). Huamán, evaluando ecotipos del norte del país, obtuvo un peso promedio de 1,09 kg/planta; mientras que Tello, al evaluar variedades procedentes de Huánuco, encontró un peso promedio de 2,85 kg/planta (19, 60). En Oxapampa (Pasco), Melgarejo, trabajando con variedades locales obtuvo 3,4 kg/planta empleando alta fertilización; esto contrasta con lo obtenido por Rivas, quien evaluando la variedad "morado piel negra", obtuvo un rendimiento de 1,3 kg/planta (37, 47). Sotomayor analizó 101 entradas de yacón del norte del Perú y diferenció 12 grupos morfológicos, separados principalmente por el color del tallo, pigmentación de las hojas, forma de la lámina, piel de la raíz y color de los propágulos; el peso promedio encontrado fue de 0,979 kg/planta (57).

VII. POSCOSECHA

Las raíces de almacenaje del yacón acumulan una gran cantidad de fructo-oligosacáridos (FOS) del tipo inulina, con un grado de polimerización de 3—10 (más bajo que en la verdadera inulina) (2, 3, 18, 23, 24). Los FOS constituyen cerca del 10% del peso fresco, lo que significa 70—80% del peso seco. Ellos se forman durante el período vegetativo a partir azúcares simples y son enzimáticamente descompuestos de nuevo entre la cosecha y el rebrote (13, 14, 55). El grado medio de polimerización de los FOS aumenta durante el período vegetativo. Hay algunos estudios que muestran que después de la cosecha, es decir, durante el almacenamiento de las raíces de almacenaje del yacón, la concentración de FOS disminuye y la de los azúcares libres aumenta nuevamente. Especialmente en los primeros días después de la cosecha parece ser que esta conversión se produce relativamente rápido y que es dependiente de las condiciones de almacenamiento (7, 8, 25, 65). Sin embargo, estos estudios están restringidos hasta ahora a unos pocos cultivares; es así que se muestra que en el almacenamiento de las raíces de almacenaje del yacón en dos pisos altitudinales diferentes, 1.990 m y 1.930 m, la disminución del contenido de FOS en los primeros días es mayor en el piso altitudinal más bajo; después de 12 días las concentraciones se vuelven a equiparar (15). En Nueva Zelanda las raíces de almacenaje son guardadas por 30 días a 1°C sin cambios en la concentración de FOS (10); se muestra, sin embargo, una disminución posterior de la concentración alrededor de 35% hasta el día 72; en condiciones de almacenamiento de 5°C, 10°C, 20°C y a temperatura ambiente se observa una disminución del 25% después de 15 días. La congelación de los brotes de las raíces a -20°C previene la degradación de FOS (22). Además, los FOS con menor grado de polimerización (2—7) se degradan más rápido que los con mayor grado (9—11) (23). El contenido de fenoles de las raíces de almacenaje y de las hojas parecen no cambiar durante el almacenamiento y el secado (40—60°C) (59). Para la elaboración de productos con alta concentración de FOS las raíces de almacenaje deberían ser guardadas sólo por períodos cortos en espacios fríos y oscuros con alta humedad del aire, y ser procesados, en lo posible, directamente. Tradicionalmente las raíces de almacenaje permanecen un par de días al sol después de la cosecha, ya que de este modo las raíces se vuelven más dulces. Una investigación sobre este método mostró una pérdida de agua del 40% y una disminución del 50—62% en la concentración de FOS y hasta 29—44% del peso seco después de 6 días. Los azúcares libres aumentan del mismo modo (15). También se han reportado diferencias visibles en la tasa de conversión entre diferentes cultivares. La concentración de FOS en relación al peso fresco es, después de seis días de exposición al sol y debido a la disminución del peso, levemente mayor que al momento de la cosecha. Ello significa que la cantidad absoluta de FOS es mayor directamente después de la cosecha y la cantidad relativa, mayor después de la exposición al sol. Las condiciones de almacenamiento deben ser seleccionadas dependiendo del tipo de producto deseado.



1) Plántula de yacon; 2, 3) Inflorescencia (cabezuela); 4) Hábito; 5) Sistema radicular; 6) Raíces carnosas y tuberosas de almacenaje.

Fotos: 1: Carlos Ruiz; 2: Lázaro Santa Cruz; 3, 4: David Rosario; 5: Markus Ackermann; 6: José Roque.

VII. LITERATURA

1. Amaya, J. 2000. Efeitos de doses crescentes de nitrogênio e potássio na produtividade de yacon (*Polymnia sonchifolia* Poep. & Endl.). Tese do título de Mestr em Agronomia – área de concentração em horticultura. Universidade Estadual Paulista Julio de Mesquita Filho, Brasil, 58 p. (citado por Seminario et al. 2003).
2. Asami, T.; Kubota, M.; Minamisawa, K.; Tsukihashi, T. 1989. Chemical composition of yacon [*Polymnia sonchifolia*], a new root crop from the Andean highlands. Japanese Journal of Soil Science and Plant Nutrition 60(2): 122-126.
3. Asami, T.; Minamisawa, K.; Tsuchiya, T.; Kano, K.; Hori, I.; Ohyama, T.; Kubota, M.; Tsukihashi, T. 1991. Fluctuations of oligofructan contents in tubers of yacon (*Polymnia sonchifolia*) during growth and storage. Jpn. J. Soil Science and Plant Nutrition 62: 621–627.
4. Barrantes, F. 1998. Patología de las raíces y cormos andinos. En: Seminario, J. (Comp.). Producción de raíces andinas: Fascículos. Mnuales de capacitacion CIP, Lima, Perú, 17:1-10.
5. Brako, L.; Zarucchi, J.L. 1993. Catalogue of the Flowering Plants and Gymnosperms of Peru. Monogr. Syst. Bot. Missouri Bot. Gard. 45: i–xl, 177-178.
6. Chicata, N. 1998. Variabilidad de la semilla botánica y comparación de progenies y clones provenientes del germoplasma de yacón (*Polymnia sonchifolia*). Tesis de Grado, Universidad de San Antonio Abad del Cusco, Perú (citado por Seminario et al. 2003)
7. Doo, H.S. 2000. Changes of chemical composition in tuberous root of yacon by different curing conditions. Kor. J. Crop Sci. 45 (2): 79–82.
8. Doo, H.S.; Li, H.L.; Kwon, T.O.; Ryu, J.H.; 2000. Changes in sugar contents and storability of yacon under different storage conditions. Kor. J. Crop Sci. 45 (5): 300–304.
9. Doo, H.S.; Ryu, J.H.; Lee, K.S.; Choi, S.Y. 2001. Effect of Plant Density on Growth Responses and Yield in Yacon. Korean J. Crop. Sci. 46(5): 407-410.
10. Douglas, J.A.; Douglas, M.H.; Deo, B.; Follett, J.M.; Scheffer, J.J.C.; Sims, I.M., Welch, R.A.S. 2005. Research and development of yacon (*Smallanthus sonchifolius*) production in New Zealand. Acta horticulturae. 670: 79-85.
11. Estrella, J.E. 1994. In vitro propagación of jicama (*Polymnia sonchifolia* Poeppig & Erlicher): A neglected Andean crop. HortScience 29(4): 331.
12. Fenille, R.C.; Ciampi, M.B.; Souza, N.L.; Nakatani, A.K.; Kuramae, E.E. 2005. Binucleate *Rhizoctonia* sp. AG G causing root rot in yacon (*Smallanthus sonchifolius*) in Brazil. Plant pathology. 54(3): 325-330.
13. Fukai, K.; Miyazaki, S.; Nanjo, F.; Hara, Y. 1993. Distribution of carbohydrates and related enzyme activities in yacon. Soil Sci. Plant Nutr. 39(3): 567-571.
14. Fukai, K.; Ohno, S.; Goto, K.; Nanjo, F.; Hara, Y.; 1997. Seasonal fluctuations in fructan content and related enzyme activity in yacon (*Polymnia sonchifolia*). Jpn. J. Soil Sci. Plant Nutr. 43 (1): 171–177.
15. Graefe S.; Hermann, M.; Manrique, I.; Golombek, S.; Buerkert, A. 2004. Effects of post-harvest treatments on the carbohydrate composition of yacon roots in the Peruvian Andes. Field Crops Research 86: 156-165.
16. Grau, A.; Slanis, A. 1996. Is *Polymnia sylphoides* var. *perennis* a wild ancestor of yacon? Resumos I Congresso Latino Americano de Raízes Tropicais. CERAT-UNESP, Sao Pedro, Brasil (citado por Grau & Rea 1997).
17. Grau, A.; Rea, J. 1997. Yacon. *Smallanthus sonchifolius*. (Poepp. & Endl.) H. Robinson. In: Hermann, M. & J. Heller (eds): Andean roots and tubers: Ahipa, arracacha, maca, yacon. Promoting the conservation and use of underutilized and neglected crops. 21. Institute of Plant Genetics and Crop Plant Research, Gatersleben/International Plant Genetic Resources Institute, Rome, Italy, 199-242.
18. Hermann, M.; Freire, I.; Pazos, C.. 1999. Compositional diversity of the yacon storage root. In: Impact on a changing world, Program Report 1997-1998, The International Potato Center (CIP), Lima, Peru, 425-432.
19. Huamán, W. 1991. Caracterización y evaluación de 45 entradas de germoplasma de llacón [*Smallanthus sonchifolius* (Poepp. & Endl.) H. Rob.] en Cajamarca. Tesis para optar el título de Ingeniero Agrónomo. Universidad Nacional de Cajamarca.
20. Jørgensen, P.M.; León-Yáñez, S. (eds.) 1999. Catalogue of the vascular plants of Ecuador. Monogr. Syst. Bot. Missouri Bot. Gard. 75: i–viii, 309.
21. Kakihara, T.S.; Câmara, F.L.A.; Vilhena, S.M.C.; Riera, L. 1996. Cultivo e industrialização de yacon: uma experiência brasileira. Resumos I Congresso Latino America de Raízes Tropicais. CERAT-

- UNESP, São Pedro, Brasil. (citado por Grau & Rea 1997)
22. Kanayama Narai, A.; Tokita, N.; Aso, K.. 2006. Changes in fructooligosaccharide content of yacon (*Smallanthus sonchifolius*) tuberous roots during storage. Nippon Jui Seimei Kagaku Daigaku Kenkyu Hokoku 55: 104-111.
 23. Kanayama Narai, A.; Tokita, N.; Aso, K. 2007. Dependence of Fructooligosaccharide Content on Activity of Fructooligosaccharide-Metabolizing Enzymes in Yacon (*Smallanthus sonchifolius*) Tuberous Roots during Storage. J. Food Sci 72(6): S381 - S387.
 24. Lachman, J.; Fernández, E.C.; Orsák, M. 2003. Yacon [*Smallanthus sonchifolia* (Poepp. et Endl.) H. Robinson] chemical composition and use – a review. Plant Soil Environ., 49(6): 283–290.
 25. Lachman, J.; Havrland, B.; Fernández, E.C.; Dudjak, J.. 2004. Saccharides of yacon [*Smallanthus sonchifolius* (Poepp. et Endl.) H. Robinson] tubers and rhizomes and factors affecting their content. Plant Soil Environ 50(9): 383–390.
 26. Lachman, J.; Fernandez, E. C.; Viehmannova, I.; Sulc, M.; Cepkova, P. 2007. Total phenolic content of yacon (*Smallanthus sonchifolius*) rhizomes, leaves, and roots affected by genotype. New Zealand Journal of Crop and Horticultural Science, 35(1): 17-123.
 27. Lebeda, A.; Dolezalova, I.; Valentova, K.; Dziechciarkova, M.; Greplova, M.; Opatova, H.; Ulrichova, J. 2003a. Biological and chemical variability of maca and yacon. Chemicke Listy 97(7): 548-556.
 28. Lebeda, A.; Dolezalova, I.; Dziechciarkova, M.; Dolezal, K.; Frcek, J. 2003b. Morphological Variability and Isozyme Polymorphisms in Maca and Yacon. Czech J. Genet. Plant Breed., 39(1): 1–8.
 29. Lebeda, A.; Dolezalova, I., Dolezal, K. 2004. Variation in morphological and biochemical characters in genotypes of maca and yacon. Acta horticulturae. 629: 483-490.
 30. Lebeda, A., Dolezalova, I., Valentova, K.; Gasmanova, N.; Dziechciarkova, M.; Ulrichova, J. 2008. Yacon (*Smallanthus sonchifolius*)--a traditional crop of Andean Indians as a challenge for the future--the news about biological variation and chemical substances content. Acta horticulturae. 765: 127-136.
 31. Lizárraga, L.; Ortega, R.; Vargas, W.; Vidal, A. 1997. Cultivo del yacón (*Polymnia sonchifolia*). Resúmenes Curso Pre Congreso – IX Congreso Internacional de Cultivos Andinos. Cusco, Peru, 65-67 (citado por Grau & Rea 1997).
 32. Manrique, I.; Hermann, M.; Bernet, T. 2004. Yacon - Fact Sheet. International Potato Center (CIP) Lima, Peru.
 33. Manrique, I.; Párraga, A.; Hermann, M. 2005. Yacon syrup: Principles and processing. Series: Conservación y uso de la biodiversidad de raíces y tubérculos andinos: Una década de investigación para el desarrollo (1993-2003). No. 8B. International Potato Center, Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión, Erbacher Foundation, Swiss Agency for Development and Cooperation. Lima, Peru. 31 p.
 34. Mansilla, P. 2001. Caracterización genética molecular del yacón [*Smallanthus sonchifolius* (Poepp. & Endl.) H. Rob.] mediante marcadores RAPDs. Tesis para optar el título de biólogo. Facultad de Ciencias. Universidad Nacional Agraria La Molina.
 35. Mansilla, R.C.; César López B.; Raúl Blas S.; Julio Chia, W.; Baudoin, J. 2006. Análisis de la variabilidad molecular de una colección peruana de *Smallanthus sonchifolius* (Poepp & Endl) H. Robinson “Yacón” Ecol. apl. 5(1-2):75-80.
 36. Masuri, N.; Takeomi, A.; Kazushi, F.; Wataru, M.; Eiichi, I.; Teruo, T.; 2002. Plant Regeneration through Leaf culture of Yacon. J. Japan. Soc. Hort. Sci. 71(4): 561-567.
 37. Melgarejo, D. 1999. Potencial productivo de la colección nacional de yacón [*Smallanthus sonchifolius* (Poepp. & Endl.) H. Rob.] bajo condiciones de Oxapampa. Tesis para optar el título de Ingeniero Agrónomo. Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión.
 38. Milella, L.; Viehmannová, I.; Fernández Cusimamani, E.; Lachman, J. 2007. Phenolic Content and Molecular Markers of Different Yacon [*Smallanthus sonchifolius* (Poepp. et Endl.) H. Robinson] Landraces. Tropentag 2007, October 9 - 11, Witzenhausen, Germany
 39. Mogor, G.; Mogor, A. F.; Lima, G. P. P. 2003. Bud source, asepsis and benzylaminopurine (BAP) effect on yacon (*Polymnia sonchifolia*) micropropagation. Acta Horticulturae, 597: 311-314.
 40. Nakanishi, T.; K. Ishiki. 1996. Flowering induction of yacon (*Polymnia sonchifolia*) by grafting onto sunflower at Quito, Ecuador. Jpn. J. Trop. Agric. 40: 27-28.
 41. National Research Council. 1989. Lost Crops of the Incas: Little - known plants of the Andes with promise for worldwide cultivation. National Academy Press, Washington, DC.
 42. Oliveira, Alvares de, M.; Nishimoto, E.K. 2004. Evaluation of the development of yacon plants (*Polymnia sonchifolia*) and characterization of the carbohydrates by HPLC. Braz. J. Food Technol. 7(2): 215-220.

43. Ortiz, J.L.; Seminario, J.; Roncal, M. 2001. Enfermedades foliares en la colección ex situ de achira (*Canna edulis*) y llacón (*Smallanthus sonchifolius*) de Cajamarca. *Caxamarca* 9(1): 215-222.
44. PYMAGROS. Productores y Mercados del Agro de la Sierra. s/a. Experiencias de propagación vegetativa y producción comercial de Yacon, en el Valle de Condebamba, Cajamarca.
45. Rea, J. 1994. Andean roots. In: Hernandez Bermejo, J.E., Leon, J. (Eds.), *Neglected Crops: 1492 from a Different Perspective*. FAO, Rome, Italy, 163-179.
46. Rea, J. 1995. Conservación y manejo in situ de recursos fitogenéticos agrícolas en Bolivia. Taller electrónico sobre conservación in situ. CIP-Lima, (citado por Grau & Rea 1997)
47. Rivas, R. 2004. El yacón [*Smallanthus sonchifolius* (Poepp. & Endl.) H. Rob.], su cultivo en el valle de Oxapampa y potencial uso. Monografía para optar el título de Ingeniero Agrónomo. Universidad Nacional Agraria La Molina.
48. Robinson, H. 1978. Studies in the Heliantheae (Asteraceae). XII. Re-establishment of the genus *Smallanthus*. *Phytologia* 39 (1): 47-53.
49. Robinson, H.; Powell, A.M.; King, R.M.; Weedon, J.F. 1981a. Chromosome numbers in Compositae. XVI. Heliantheae. *Smithsonian Contrib. to Bot.* 52: 1-28.
50. Robinson, H. 1981b. A Revision of the Tribal and Subtribal Limits of the Heliantheae (Asteraceae). *Smithsonian Contrib. to Bot.* 51: 1-102.
51. Sato, T.; Tomioka, K. Nahanishi, T.; Koganezawa, H. 1999. Charcoal Rot of Yacon (*Smallanthus sonchifolius* (Poepp. et Endl.) H. Robinson), Oca (*Oxalis tuberosa* Molina) and Pearl Lupin (Tarwi, *Lupinus mutabilis* Sweet) Caused by *Macrophomina phaseolina* (Tassi) Goid. *Bulletin of the Shikoku National Agricultural Experiment Station* 64: 1-8.
52. Seminario, J., C. Granados & J. Ruiz. 1999. Recursos genéticos de raíces andinas: I. Exploración para chago, yacón, achira y arracacha en el norte del Perú. Pp. 37-59. In: T. Fairlie, M. Morales & M. Holle (eds.). *Raíces y Tubérculos Andinos. Avances de Investigación, 1*. Centro Internacional de la Papa (CIP) - Consorcio para el Desarrollo Sostenible de la Ecorregión Andina (CONDESAN). Lima.
53. Seminario, J.; Valderrama, M.; Honorio, H. 2001. Propagación por esquejes de tres morfotipos de yacón *Smallanthus sonchifolius* (Poepp. & endl.) H. Robinson. *Agronomía XLVII*:12-20 (citado por Seminario et al. 2003).
54. Seminario, J.; Valderrama, M. 2002. Propagación de tres morfotipos de yacón, *Smallanthus sonchifolius* (Poepp. & endl.) H. Robinson, mediante nodos de tallos (citado por Seminario et al. 2003).
55. Seminario, J.; Valderrama, M.; Manrique, I. 2003. El yacón: fundamentos para el aprovechamiento de un recurso promisorio. Centro Internacional de la Papa (CIP), Universidad Nacional de Cajamarca, Agencia Suiza para el Desarrollo y la Cooperación (COSUDE), Lima, Perú, 60 p.
56. Soto, F.R. 1998. Estudio de la biología floral del germoplasma regional de yacón. Tesis de Grado, Universidad Nacional de Cajamarca, Perú, 51p (citado por Seminario et al. 2003).
57. Sotomayor, M. Variabilidad de germoplasma de raíces andinas del INIEA del norte del Perú [*Arracacia xanthorrhiza* Bancrofti, *Mirabilis expansa* (Ruiz & Pav.) Standley y *Smallanthus sonchifolius* (Poepp. & Endl.) H. Rob.]. Tesis para optar el título de biólogo. Facultad de Ciencias. Universidad Nacional Agraria La Molina.
58. Taboada, H. 1998. Caracterización agrobotánica de 48 genotipos de llacón [*Smallanthus sonchifolius* (Poepp. & Endl.) H. Rob.] bajo condiciones de campo. Tesis para optar el título de Ingeniero Agrónomo. Universidad Nacional San Antonio Abad del Cusco (UNSAAC) (citado por Tello 2002).
59. Takenaka, M.; Nanayama, K.; Ono, H.; Nakajima, H.; Isobe, S. 2006. Changes in the concentration of phenolic compounds during growing, storing, and processing of yacon. *Nippon Shokuhin Kagaku Kogaku Kaishi* 53(12): 603-611.
60. Tello, M. 2002. Caracterización morfológica y molecular de genotipos de yacón [*Smallanthus sonchifolius* (Poepp. & Endl.) H. Rob.] provenientes del departamento de Huánuco. Tesis de Magister Scientiae. Universidad Nacional Agraria La Molina.
61. Tsukihashi, T.; Yoshida, T.; Miyamoto, M.; Suzuki, N. 1989. Studies on the cultivation of Yacon (*Polymnia sonchifolia*), 1: Influence of different planting densities on the tuber yield. *Japanese Journal of Farm Work Research* 65: 32-38
62. Valentova, K.; Lebeda, A.; Dolezalova, I.; Jirovsky, D.; Simonovska, B.; Vovk, I.; Kosina, P.; Gasmanova, N.; Dziechciarkova, M.; Ulrichova, J. 2006. The biological and chemical variability of yacon. *Journal of agricultural and food chemistry*. 54(4): 1347-1352.
63. Velásquez, H.N.; Ortega, R. 1997. Establecimiento, micropropagación y conservación in vitro de yacón. IX congreso Internacional de cultivos andinos: Libro de

- resúmenes, 22-25 de abril 1997. Universidad Nacional de San Antonio del Cusco, Centro de Investigación en cultivos Andinos (CICA), Asociación ARARIWA, cusco, Perú, 54-55 (citado por Seminario et al. 2003).
64. Viehmannová, I.; Milella, L.; Fernández Cusimamani, E.; Lachman J. 2007. Chemical Composition of Tuberous Roots and Leaves of Yacon [*Smallanthus sonchifolius* (Poepp. et Endl.) H. Robinson] Tropentag 2007, October 9 - 11, Witzenhausen, Germany.
 65. Vilehna, S.M.C.; Câmara, F.L.A. 1996. Manejo pós-colheita de yacon (*Polymnia sonchifolia*). Parte 1. Teores de proteína e açúcares em raízes de yacon, em função da cura ao sol e do armazenamento a 4°C. Resumos I Congresso Latino Americano de Raízes Tropicais. CERAT-UNESP, São Pedro, Brasil.
 66. Vilhena, S.M.C.; Camara, F.L.A.; Piza, I.M.T.; Lima, G.P.P. 2003. Content of fructans in tuberous roots of yacon (*Polymnia sonchifolia*). *Ciencia y Tecnologia Alimentaria* 4(1): 35-40.
 67. Wells, J. R. 1965. A taxonomic study of *Polymnia* (Compositae). *Brittonia* 17(2): 144-159.
 68. Wells, J.R. 1967. A new species of *Polymnia* (Compositae: Heliantheae) from Mexico. *Brittonia* 19:391-394.
 69. Wells, J.R. 1971. Variation in *Polymnia* pollen. *Am. J. Bot.* 38:124-130.
 70. Wong, N. A.; Manley-Harris, M. 2003. Yacon - a New Zealand seasonal variation and storage trial. *Chemistry in New Zealand* 67(1): 64-66.
 71. Yang, X.; Jiang, W.; Ding, B. 2006. In vitro propagation of virus-free yacon (*Smallanthus sonchifolius*). *Zhejiang Daxue Xuebao, Nongye Yu Shengming Kexueban* 32(1): 51-55.
 72. Zardini, E. 1991. Ethnobotanical notes on "Yacon," *Polymnia sonchifolia* (Asteraceae). *Economic botany.* 45 (1): 72-85.

PERÚ BIODIVERSO



 Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

**Agencia Suiza para el Desarrollo
y la Cooperación COSUDE**

**Secretaria de Estado
de Economía SECO**



PERÚ Ministerio de Comercio Exterior y Turismo



PERÚ Ministerio del Ambiente



PERÚ Ministerio de Educación

Consejo Nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación Tecnológica