

VALORIZACIÓN DE LOS RECURSOS GENÉTICOS DE RAÍCES Y TUBÉRCULOS ANDINOS PARA LA NUTRICIÓN Y LA SALUD

Roca, W.¹; Manrique, I.

RESUMEN

La papa (*Solanum tuberosum*) y el camote (*Ipomoea batatas*) constituyen el cuarto y el sexto cultivo alimenticio de importancia en el mundo, respectivamente. A lo largo de la historia, ambas especies han tenido un rol muy importante en la nutrición y en la alimentación humana. Existe un grupo de raíces y tubérculos andinos (RTAs) que juntamente con las papas nativas también cumplen un rol importante en la seguridad alimentaria de la población andina. Estas especies, sobre las cuales existe un conocimiento ancestral muy rico sobre usos, propiedades y formas de consumo, son: achira, ahípa, arracacha, maca, mashua, mauka, oca, olluco y yacón. Las RTAs contienen nutrientes primarios y metabolitos funcionales, con un mercado potencial debido a los nuevos hábitos alimenticios de la población que busca alimentos, que además de nutrir, contribuyan a promover la salud. En este artículo revisamos el rol y la importancia de estos cultivos Andinos en la nutrición y la salud, y resaltamos algunos aspectos de nuestra investigación sobre la valorización de los recursos genéticos de RTAs Andinos.

PALABRAS CLAVE: antioxidantes, nutraceuticos, raíces, tubérculos.

SUMMARY

VALUATING OF THE GENETIC RESOURCES OF ANDEAN ROOTS AND TUBERS FOR NUTRITION AND HEALTH

Potato (*Solanum tuberosum*) and sweetpotato (*Ipomoea batatas*) are the world's fourth and sixth most important food crops, respectively. Through history, both crop species have shown increasing importance to human nutrition and health. In addition to potato and sweetpotato, there are a group of less known Andean root and tuber crop species (ARTCs) which however play an important role in food security of the Andean people. These species, on which there is a rich accumulated ancestral knowledge include: achira, ahípa, arracacha, maca, mashua, mauka, oca, ulluco and yacon. The ARTCs contain primary nutrients and functional metabolites associated to human nutrition and health. Because of current trends in the human food habits, these Andean crops have an important market potential. This article reviews the role and importance of the ARTCs, as well the native potatoes, for their potential use as sources of nutrients and health promoting compounds.

KEY WORDS: antioxidants, nutraceuticals, roots, tubers.

INTRODUCCIÓN

Erradicar la pobreza extrema y el hambre para el año 2015 es el primero de los ocho objetivos de desarrollo del milenio. Se estima que la malnutrición en la sub-región andina afecta a más de 30 millones de personas; sólo en el Perú el 54% (14.7 millones) de personas se encontraba en situación de pobreza en el 2003, con un ingreso promedio

mensual de 47 dólares; y el 23% en extrema pobreza, con un ingreso promedio mensual de 18 dólares. Las estrategias trazadas para cumplir los objetivos del milenio estarán fuertemente ligadas a políticas de seguridad alimentaria y al mercado, las cuales ineludiblemente tienen que ver con los recursos genéticos.

¹Centro Internacional de la Papa Apartado 1558, Lima 12, Perú E-mail: w.roca@cgiar.com

La región Andina alberga 2 de los 25 megacentros de diversidad biológica mundiales; y 2 de los 8 centros Vavilov de origen. Sólo en el Perú se encuentran 84 de las 117 zonas de vida conocidas, en donde 182 especies de plantas y 5 de animales han sido domesticadas; de éstas, casi 20 son especies que forman raíces reservantes o tubérculos. Junto con esta amplia diversidad biológica, una gran riqueza de diversidad cultural ha evolucionado en la subregión; por ejemplo, actualmente se hablan 205 idiomas. La combinación de diversidad agroecológica y cultural generó el conocimiento de las propiedades de esos recursos para una variedad de usos. Este conocimiento fue aplicado efectivamente por las poblaciones indígenas para desarrollar sistemas de producción alimentaria y nutricional con beneficios para la salud de la población. Con la conquista, este sistema autosostenible se desgastó, pero una gran parte fue pasado a través de las generaciones. Después de los granos (arroz, maíz y trigo), las raíces y tubérculos son los alimentos vegetales que más se consumen en el mundo. Debido a la enorme diversidad de estas especies (Cuadro 1), existen cultivares que además de carbohidratos contienen compuestos químicos con diferentes propiedades. Así por ejemplo, algunos cultivares de camote de pulpa anaranjada tienen niveles tan elevados de β -caroteno que se están empleando en África para combatir el déficit de Vitamina A. Se estima que el consumo de 100g diarios de camote de pulpa anaranjada podría ser suficiente para satisfacer la dosis diaria necesaria de Vitamina A. Por otro lado, existen cultivares de camote de pulpa morada que acumulan niveles muy altos de antocianinas, a los que se les ha atribuido efectos positivos en la prevención de ciertas enfermedades como el cáncer (Yoshimoto *et al.*, 2001) y las enfermedades coronarias (Galbano *et al.*, 2004).

Nuestro proyecto busca, a largo plazo, revalorar los recursos genéticos de raíces y tubérculos andinos mediante la exploración e identificación de la variabilidad genética con rasgos sobresalientes para la nutrición y la salud, usando tecnologías genéticas y bioquímicas modernas. Esta comunicación presenta información sobre las raíces y tubérculos andinos motivo de nuestro estudio, resaltando resultados recientes de nuestra investigación y de otras fuentes.

RECURSOS FITOGENÉTICOS ANDINOS: FUENTE DE COMPUESTOS BIOACTIVOS PROMISORIOS

Los siguientes metabolitos y compuestos se encuentran distribuidos en la mayoría de los recursos fitogenéticos andinos: (i) Antioxidantes con capacidad de neutralizar o reducir la actividad de los radicales libres, asociados con enfermedades cardiovasculares (Rodríguez-Amaya & Kimura, 2004), el cáncer, el Alzheimer, la artritis, el envejecimiento celular y otras enfermedades degenerativas. Los antioxidantes más frecuentes en la biodiversidad de RTAs incluyen a los carotenoides (β -caroteno, licopeno y luteína), fenoles (flavonoides y otros), vitaminas y minerales; (ii) los fenoles de más abundancia son los flavonoides y los ácidos clorogénico, cafeico y ferúlico; cumplen funciones de defensa contra patógenos y temperaturas extremas e incluyen también a las antocianinas de flores y frutos, y otras que se han reportado en papa, camote y RTAs; (iii) los carotenoides, incluyen α y β -caroteno, y la β -criptoxantina, todos precursores de la Vitamina A, además el licopeno y la luteína. Los carotenoides fortalecen el sistema inmunológico y reducen el riesgo de enfermedades degenerativas como el cáncer, cataratas, y enfermedades cardiovasculares, y el licopeno protege contra el cáncer de estómago, próstata y pulmón; (iv) los glucosinolatos involucrados en mecanismos de defensa de la planta contra pestes y enfermedades; se han identificado más de cien tipos de glucosinolatos y reportado actividad anticancerígena, pero también efectos antinutricionales. La hidrólisis de los glucosinolatos produce tiocianatos e isotiocianatos, que confieren un sabor picante muy característico a los alimentos (Rosa & Rodríguez, 2001); (v) los fructooligosacáridos (FOS), u oligofructanos, constituidos por una molécula de glucosa ligada a un número variable -2 a 10- de moléculas de fructosa, tienen efecto probiótico. El consumo de FOS está asociado a proliferación de los prebióticos y con una mejor asimilación de calcio, reducción en el nivel de colesterol, fortalecimiento del sistema inmunológico y disminución del riesgo de desarrollar lesiones cancerosas en el colon (Andersson *et al.* 1999).

EL GERMOPLASMA DE RAÍCES Y TUBÉRCULOS ANDINOS

Las raíces y tubérculos Andinos (RTAs), las papas nativas y el camote desempeñan un rol esencial en la nutrición y la salud de la población alto andina (Cuadro 1). Una

característica común de estos cultivos es que, mayormente, están desligados de los sistemas de producción de mercado. La mayoría de ellos se siembran en las zonas altas de los Andes, para el autoconsumo, y de esta forma han podido subsistir por muchos años. Si bien se considera que algunas especies de RTAs podrían estar en peli-

Cuadro 1. Rasgos y características más relevantes de las raíces y tubérculos andinos.

Nombre común	Nombre científico	Familia	Parte comestible	Principales nutrientes y metabolitos secundarios	Rango altitudinal de producción (m)
Achira	<i>Canna edulis</i>	Cannaceae	Rizoma	Almidón y potasio	1000-2900
Ahipa	<i>Pachyrhizus ahipa</i>	Fabaceae	Raíz	Almidón, azúcares, proteínas, potasio, vitamina C, rotenona	1500-3000
Arracacha	<i>Arracacia xanthorrhiza</i>	Umbelliferae	Raíz	Almidón, β -caroteno, ácido ascórbico, niacina calcio, hierro	1500-3000
Maca	<i>Lepidium meyenii</i>	Brassicaceae	Raíz-hipocotilo	Carbohidratos, ácidos grasos insaturados, aminoácidos esenciales, glucosinolatos, flavonoides, fitoestrógenos, antocianinas, hierro, calcio, zinc	3500-4500
Mashua	<i>Trapaolum tuberosum</i>	Tropaeolaceae	Tubérculo	Proteínas, carbohidratos, glucosinolatos, vitaminas A y C	2800-4000
Mauka	<i>Mirabilis expansa</i>	Nyctaginaceae	Raíz	Carbohidratos, proteínas, calcio, fósforo y potasio	Alrededor de 3000
Oca	<i>Oxalis tuberosa</i>	Oxalidaceae	Tubérculo	Almidón, vitamina C, antocianinas, carotenoides y compuestos antioxidantes	2800-3800
Olluco	<i>Ullucus tuberosus</i>	Basellaceae	Tubérculo	Proteínas, calcio, compuestos fenólicos	2800-3800
Yacón	<i>Smallanthus sonchifolius</i>	Asteraceae	Raíz	FOS, fibra, compuestos fenólicos y antioxidantes, sesquiterpenos y potasio	1800-3000
Papa nativa	<i>S. tuberosum ssp. Andigena</i> <i>S. ajanhuiri</i> <i>S. stenotomum</i> <i>S. goniocalyx</i> <i>S. curtilobum</i> <i>S. jusepzkii</i> <i>S. chaucha</i>	Solanaceae	Tubérculo	Vit. C., Zn, Fe, polifenoles, antocianinas, carotenoides	2800-4200

gro de extinción, existen otras que, debido a la mayor difusión que se ha hecho de sus propiedades nutritivas y promotoras de la salud, han empezado a desarrollar un mercado que se extiende a las ciudades e incluso para la exportación.

Papa nativa. Se caracteriza por su alto contenido de materia seca (hasta 34%) y una variación importante en contenido de Vitamina C y microelementos como el Zn, Fe y Ca. Este germoplasma se encuentra concentrado en la sub-región Andina, principalmente entre Perú y Bolivia pero también ocurre en el Norte de Argentina, Ecuador, Colombia y Sur de Venezuela. A pesar de su gran importancia en la alimentación del poblador alto andino, estas papas todavía no han llegado a impactar en los mercados urbanos grandes de la región; por ejemplo, de los 3,000 cultivares de papa nativa conocidas en el Perú, sólo una decena llega a los mercados de las grandes ciudades; la gran mayoría son base de la dieta, autoconsumo, de las comunidades alto andinas. Numerosos genotipos de papas nativas muestran pigmentación variada de la piel y la carne, por la presencia de antocianinas principalmente. Estudios recientes muestran niveles altos de antocianinas, polifenoles y carotenoides, que superan a las variedades mejoradas de papa. El banco de germoplasma del CIP mantiene más de 4,200 entradas de papas nativas representando a las 7 especies conocidas de la papa cultivada (Cuadro 1). Actualmente se experimenta la producción de papas nativas para los mercados más grandes, así como de productos derivados con valor agregado, entre estos los las hojuelas de colores, el puré pre-hecho, varias formas de presentación de “chuño”, etc.

Achira (*Canna edulis*). La achira, también conocida como “canna” es un cultivo que se desarrolla bien en los valles cálidos de los Andes (Arbizu, 1994). Sus gránulos de almidón son fácilmente digeribles y además son los más grandes que se conocen. El área de siembra en la zona Andina no llega a las 1000 ha, sin embargo en Vietnam y el sur de China se siembran entre 20000 y 30000 ha para el procesamiento de fideos transparentes que tienen muy buena aceptación (Hermann *et al.*, 1999). El rendimiento de los rizomas –la parte comestible– es relativamente bajo en diferentes localidades del Perú (entre 10 y 15t/ha) pero en Colombia, en donde existe una industria de procesamiento más desarrollada, el rendimiento promedio es 34t/ha (Arbizu, 1994).

Ahipa (*Pachyrhizus ahipa*). Conocida como “frijol chuncho” o “huitoto” (Aymará) en Bolivia; hasta el año 1997 se había descrito su cultivo sólo en pequeñas comunidades situadas en los valles subtropicales de Bolivia, Argentina y Perú. Sus semillas y hojas acumulan rotenona, un insecticida natural altamente eficiente. En la raíz

reservante –la parte comestible de la planta– no se ha encontrado rotenona en niveles tóxicos, en cambio se ha reportado una concentración alta de proteína (8-18% en base seca (bs)), almidón (45-55% en bs, 95% del cual es del tipo amilopectina) y varios azúcares (8-24% en bs). Las raíces se comen crudas y en Bolivia se usan para combatir infecciones respiratorias; éstas se destinan sólo para el autoconsumo o para su comercialización –a muy pequeña escala– en ferias rurales (Sørensen & Grüneberg, 1997).

Arracacha (*Arracacia xanthorrhiza*). También se le conoce como “apio criollo” en Venezuela, “zanahoria blanca” en Ecuador y “virraca” en el Perú; se cultiva no sólo en la sub-región andina sino también en Brasil –país donde fue introducida a comienzos del siglo pasado– se siembran extensiones importantes; así en el año 1996 se estimó un área de 12000 ha. La arracacha tiene niveles altos de β -caroteno, calcio y un tipo de almidón de muy fácil digestibilidad, altamente recomendada para niños y personas de la tercera edad. Aunque la mayor parte de la arracacha se destina para el consumo fresco, en Brasil se han desarrollado sopas instantáneas y alimentos para bebés. Un problema de la arracacha es su alta perecibilidad, tan solo puede tolerar una semana en almacenamiento (Hermann, 1997).

Maca (*Lepidium meyenii*). Ha sido la RTA más estudiada en los últimos años. La maca crece entre los 3500 y 4500 msnm –en donde casi ningún otro cultivo puede desarrollarse– y por que tiene una diversidad grande de metabolitos secundarios. Hace 20 años se encontraba en peligro de extinción (se sembraba tan solo 50 ha y casi exclusivamente en una sola zona del Perú), sin embargo en la actualidad –debido a su demanda en el mercado– se siembran alrededor de 2000 ha en varias zonas del Perú e incluso en Bolivia y el noroeste de Argentina (Quirós & Aliaga, 1997). El conocimiento tradicional atribuye a la maca virtudes sobre la fertilidad y la libido, propiedades vigorizantes, anticancerígenas y para reducir el estrés. Los relatos de los cronistas españoles del siglo XVI y XVII y varios trabajos de investigación recientes han confirmado estas propiedades (Zheng *et al.*, 2000; Cicero *et al.*, 2002; Gonzales *et al.*, 2003; Gonzales *et al.*, 2005; Lee *et al.*, 2005). El hipocotilo contiene carbohidratos, proteínas, aminoácidos esenciales, hierro y calcio. Además contiene flavonoides, glucosinatos, isotiocianatos (isotiocianatos de bencilo y p-metoxibencilo principalmente), fitoestrógenos, sitosterol, campesterol, ergosterol, macamidas (alcamidas benciladas), macaridina, ácidos grasos insaturados (linoleico, oleico, láurico, palmítico, etc.) y alcaloides (Lock y Rojas, 2002). Existen productos procesados a partir de la maca: cápsulas, harina, licor, galletas, etc., los cuales se comercializan en ferias, supermercados y farmacias de Lima

y varias provincias del Perú. Existe un mercado de consumo interesante en Japón, Estados Unidos y Europa. El interés por la maca ha llevado a que se registren dos patentes en Estados Unidos, las que se refieren a productos procesados para uso farmacéutico (Pure World Botanicals, Inc) y para incrementar los niveles de testosterona (Biotics Research Corporation). Aunque las patentes no están dirigidas directamente a la planta, el aprovechamiento del conocimiento tradicional e indígena sobre las propiedades de la maca está siendo cuestionado fuertemente.

Mashua (*Tropaeolum tuberosum*). Se le conoce como “cubios” en Colombia, “añu” e “isaño” en Perú, Bolivia y Argentina y como “apiña mama” en Bolivia. Frecuentemente se le usa como cerco del cultivo principal para prevenir el ataque de enfermedades e insectos. Se siembra desde Venezuela hasta Argentina, entre los 2800 a 4000 msnm, pero se ha adaptado muy bien en Estados Unidos, Inglaterra y Nueva Zelanda. Se consumen las hojas y las flores pero principalmente los tubérculos, los cuales tienen altos niveles de proteína, carbohidratos, ácido ascórbico, vitaminas B1 y B2, fibra, glucosinolatos y compuestos antioxidantes (NRC, 1989). El conocimiento tradicional le atribuye propiedades depresoras sobre la libido. El contenido de antocianinas y compuestos fenólicos de la mashua es muy alto, sobretodo en los cultivares de pulpa púrpura o morada. La actividad antioxidante de la mashua es entre 2 y 5 veces más alta que la del blueberry o arándanos (*Vaccinium stamineum*). Los glucosinolatos se encuentran en una cantidad elevada en los tubérculos deshidratados (1 a 19mmol/g) pero en menor cantidad que en los hipocotilos de la maca. Algunos extractos de mashua, ricos en isotiocianatos, han mostrado actividad anticancerígena sobre células cancerosas experimentales de colon y la próstata (Norato *et al.*, 2004). Recientemente, investigadores del King’s College, London, han anunciado que un tipo de glucosinolato, obtenido del brócoli, tiene propiedades inhibitorias sobre la acetilcolinesterasa, la enzima clave involucrada en la enfermedad del Alzheimer; también se han reportado efecto antibiótico contra la bacteria *Helicobacter pylori*, involucrada en las úlceras gástricas y el cáncer de colon.

Mauka (*Mirabilis expansa*). Conocida como “miso” y “tazo” en Ecuador, “chago” y “yuca inca” en Perú; recién fue descubierta por la ciencia a inicios de la década de 1960 y con toda certeza es la especie RTA menos estudiada. Se siembra en pocos lugares de Bolivia, Ecuador y Perú, por encima de los 2700 msnm (NRC, 1989). Se consumen los tallos subterráneos engrosados y las raíces reservantes, las cuales tienen un elevado contenido de proteínas. La mauka tiene proteínas, carbohidratos, calcio,

fósforo y potasio más altos que otras RTAs pero no se han descrito usos particulares en salud.

Oca (*Oxalis tuberosa*). Se le conoce también como “ibia” en Colombia, “ciuba” en Venezuela, “apilla” en Bolivia y “miquichi” en Argentina. En Bolivia y Perú es el tubérculo que más se siembra después de la papa. Normalmente se siembra junto al olluco y la mashua en un sistema asociado con el de las papas nativas. Los tubérculos son ricos en carbohidratos y diferentes compuestos con fuerte actividad antioxidante (Cuadro 2). Sin embargo también tienen factores antinutricionales en forma de oxalatos solubles, la mayoría de los cuales son degradados después de exponer los tubérculos al sol por unos pocos días; también se consume en forma de “chuño”. Desde hace algunos años se siembra en varios países fuera de los Andes, siendo comercializada a pequeña escala en Nueva Zelanda y México (NRC, 1989).

Olluco (*Ullucus tuberosum*). Se le conoce como “papa lisa” en Bolivia, “chiqua” y “melloco” en Colombia y Ecuador, “ruba”, “timbo” y “mucuchi” en Venezuela, y “ulluma” y “ulluca” en Argentina. A pesar de que es el tubérculo con menor valor nutricional, además de tener la menor actividad antioxidante entre todas las RTAs estudiadas (Cuadro 2), es el que ha tenido mayor éxito comercial en los países andinos (Tapia, 1997). Los tubérculos son ricos en carbohidratos y en vitamina C pero también poseen mucílagos. También se consumen las hojas, las cuales contienen proteínas en niveles altos y se preparan en forma de ensaladas. Existe la creencia de que el consumo de olluco es bueno durante el periodo de gestación.

Cuadro 2. Actividad antioxidante total de algunas RTAs.

Especie	mg Trolox Eq./g PF
Camote	2119-15573
Mashua	1179-10002
Oca	1738-8092
Yacón	832-5082
Papas nativas	2366-3499
Olluco	432-1524

Fuente propia, proyecto colaborativo CIP-UNALM

Yacón (*Smallanthus sonchifolius*). Conocido también como “jiquima” en Ecuador, “llakuma” (Quechua) en Perú y Bolivia, y “aricana” (Aymará) en Bolivia; se siembra desde el sur de Colombia hasta el noroeste de Argentina. Cre-

ce desde el nivel del mar hasta los 3000 msnm, es resistente a plagas y enfermedades, y no requiere muchos insumos para dar altos rendimientos. Actualmente se siembra en Brasil, Japón, Taiwán, Filipinas, Nueva Zelanda y la República Checa, países en los que existe interés por el yacón por ser la especie que almacena mayor cantidad de FOS. Además de sus propiedades como prebiótico, los FOS son interesantes por su reducido valor calórico (la tercera a cuarta parte del valor del azúcar de mesa) y por que no elevan el nivel de glucosa en la sangre. Por lo tanto, el yacón es un recurso interesante para la industria que procesa alimentos dietéticos y para personas con diabetes (Seminario *et al.*, 2003). Investigaciones, usando extractos de hojas, han reportado un efecto significativo en la reducción de los niveles de glucosa en ratas a las que se les había inducido la enfermedad. Aparentemente una parte de este efecto se debe a un tipo de fenol que actúa en el hígado a nivel de la glucogenolisis y la gluconeogenesis. Los fenoles también tienen una fuerte actividad antioxidante y un efecto citoprotector, todo lo cual contribuiría a la prevención y al tratamiento de la diabetes (Aybar *et al.*, 2001; Valentova *et al.*, 2004; Valentova *et al.*, 2005). Muchos de los fenoles que existen en las hojas (ácido clorogénico, cafeico y ferúlico) también existen en las raíces, aunque en menor concentración, por ello existe la posibilidad de que se puedan encontrar propiedades en las raíces parecidas a las de los extractos de la hoja. El consumo de las raíces en el Perú está mucho más extendido entre los diabéticos; desde años es posible encontrar en los supermercados de Lima diversos productos procesados de yacón (mermelada, jarabe, té, etc.).

CONCLUSIONES

Las RTAs juegan un papel importante en la nutrición y la salud de la población andina. Son fuente de nutrientes y de varios metabolitos secundarios con valor creciente en el mercado de productos. Sólo en los Estados Unidos las ventas en productos antioxidantes alcanzaron el valor de 2700 millones de dólares en el año 2003 (Wright, 2005). Tomando en cuenta que la mayoría de RTAs muestran actividad antioxidante alta (Cuadro 2), se puede prever que existe un potencial grande para desarrollar en estos cultivos. Es necesario corroborar el conocimiento tradicional sobre usos y propiedades de las RTAs, así como de las primeras evidencias científicas que se tienen sobre sus efectos benéficos en la salud, mediante estudios clínicos en humanos. Aquí, la medicina tiene un campo fértil de investigación, sobre todo en lo que respecta a los efectos promisorios encontrados en la prevención del cáncer de próstata y colon, la diabetes y la restauración de la fertili-

dad. También será necesario realizar estudios sobre toxicidad ya que para muchos países estos cultivos serán nuevos y deberán cumplir las exigencias de inocuidad alimentaria que imponen estos países.

La diversidad en la mayoría de RTAs en la sub-región andina es grande. Es fácil encontrar cultivares dentro de una misma especie con valores muy diferentes en el contenido de metabolitos secundarios, lo que hace necesario caracterizar toda diversidad. También será importante realizar ensayos para medir el efecto genotipo x ambiente, ya que la calidad y cantidad de metabolitos secundarios varían significativamente entre localidades; la producción de algunos metabolitos secundarios responde directamente a factores de estrés. Estudios de poscosecha y procesamiento serán también necesarios realizar para monitorear las variaciones en el contenido de metabolitos y su actividad.

La integración de tecnologías químico-analíticas con tecnologías modernas de la genética nos está permitiendo no solo investigar la variación de contenido de metabolitos secundarios y otros compuestos en las colecciones silvestres y cultivadas de RTAs, sino también la identificación de genes involucrados en rutas metabólicas claves para su futura manipulación y modificación. Así, los avances en genómica de *Arabidopsis* ofrece oportunidades únicas para avanzar en la genética de otras crucíferas como la maca; y, desde que los glucosinolatos de la maca son virtualmente los mismos que en la mashua (Quirós, 2003), se abre el camino para la aplicación de la genética moderna a estos dos cultivos andinos poco estudiados.

Finalmente, pero no lo último, hay necesidad de aplicar estrategias innovativas de investigación, desarrollo y comercialización que aseguren la distribución equitativa de los beneficios derivados del uso de estos recursos, sobre todo para las comunidades alto andinas, las cuales han sido, y continúan siendo, sus principales custodios.

BIBLIOGRAFÍA

- ANDERSSON, H.B.; ELLEGÅRD, L.H. and BOSAEUS I.G. 1999. Nondigestibility characteristics of inulin and oligofructose in humans. *Journal of Nutrition* 129: 1428S-1430S.
- ARBIZU, C. 1994. La agroecología de la achira en el Perú. Circular - International Potato Center 20(3):12-13.
- YBAR, M.J.; SÁNCHEZ RIERA, A.N.; GRAU, A. & SÁNCHEZ, S.S. 2001. Hypoglycemic effect of the water extract of *Smalanthus sonchifolius* (yacón) leaves in normal and diabetic rats. *Journal of Ethnopharmacology* 74: 125-132.
- CICERO, A.F.G.; PIACENTE, S.; PLAZA, A.; SALA, E.; ARLETTI, R. & PIZZA, C. 2002. Hexanic maca extract improves rat sexual performance more effectively than

- methanolic and chloroformic maca extracts. *Andrologia* 34:177-179.
- GALVANO, F.; LA FAUCI, L.; LAZZARINO, G.; FOGLIANO, V.; RITIENI, A. and GALVANO, G. 2004. Anthocyanins and cyanidins: chemistry, analysis, sources and biological properties. *FoodInfo Online Features* 18 March 2004. <http://www.foodsciencecentral.com/fsc/ixid12880>
- GONZALES, G.F.; CORDOVA, A.; VEGA, K.; CHUNG, A.; VILLENNA, A. and GOMEZ, C. 2003. Effect of *Lepidium meyenii* (maca), a root with aphrodisiac and fertility-enhancing properties, on serum reproductive hormone levels in adult healthy men. *Journal of Endocrinology* 176(1):163-168.
- GONZALES, G.F.; MIRANDA, S.; NIETO, J.; FERNANDEZ, G.; YUCRA, S.; RUBIO, J.; YI, P. & GASCO, M. 2005. Red maca (*Lepidium meyenii*) reduced prostate size in rats. *Reproductive Biology and Endocrinology* 3(1):5
- HERMANN, M. 1997. Arracacha (*Arracacia xanthorrhiza* Bancroft). 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. Gatersieben/International Plant Genetic Resources Institute. Rome, Italy, p. 75-172. <http://www.cipotato.org/market/ARTChermann/Arracacha.pdf>
- HERMANN, M.; QUYNH, N.K. & PETERS, D. 1999. Reappraisal of edible Canna as a high-value starch crop in Vietnam. Program report 1997-98. International Potato Center (CIP), Lima (Perú), p. 415-424. <http://www.cipotato.org/market/PgmRprts/pr97-98/50canna.pdf>
- LEE, K.J.; DABROWSKIA, K.; SANDOVALB, M. & MILLER, M.J.S. 2005. Activity-guided fractionation of phytochemicals of maca meal, their antioxidant activities and effects on growth, feed utilization, and survival in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) juveniles. *Aquaculture* 244(1-4):293-301.
- LOCK, O. & ROJAS, R. 2002. Química y farmacología de *Lepidium meyenii* Walp ("maca"). *Revista de Química* 16(1-2): 25-32.
- 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.
- NORATTO, G.; CISNEROS-ZEVALLOS, L. & MO, H. 2004. *Tropaeolum tuberosum* (mashua) extracts suppress tumor cell proliferation. *FASEB Journal*, 18(5), A886, 2004.
- QUIROS, C. & ALIAGA, R. 1997. Maca (*Lepidium meyenii* Walp.). 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. Gatersieben/International Plant Genetic Resources Institute. Rome, Italy, p. 173-197. <http://www.cipotato.org/market/ARTChermann/Maca.pdf>
- QUIROS, C. 2003. Comparative genomics in crucifers: tagging and cloning of major glucosinolate genes. Report, UC Davis. 4p.
- RODRIGUEZ-AMAYA, D.B; & KIMURA, M. 2004. HarvestPlus for carotenoid análisis. Series: HarvestPlus Technical Monographs No. 2. International Food Policy Research Institute (IFPRI). International Center for Tropical Agriculture (CIAT). Washington, D.C. (USA). 2004. 57 p.
- ROSA & RODRÍGUEZ, A. 2001. Total and individual glucosinolate content in 11 broccoli cultivars grown in early and late seasons. *HortScience* 36(1):56-59.
- SEMINARIO J, VALDERRAMA M. & I MANRIQUE. 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.
- SORENSEN, M. and GRÜNEBERG, W.F. 1997. Ahipa (*Pachyrhizus ahipa* (Wedd.) Parodi). 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. Gatersieben/International Plant Genetic Resources Institute. Rome, Italy, p. 13-73. <http://www.cipotato.org/market/ARTChermann/ahipa.pdf>.
- TAPIA, M. Cultivos andinos subexplotados y su aporte a la alimentación. 1997. FAO. Oficina Regional para América Latina y el Caribe. 2. ed. 273 p.
- VALENTOVA, K.; MONCION, A.; DE WAZIERS I. & ULRICHOVA, J. 2004. The effect of *Smallanthus sonchifolius* leaf extracts on rat hepatic metabolism. *Cell Biol Toxicol* 20(2):109-120.
- VALENTOVA, K.; SERSEN, F. & ULRICHOVA, J. 2005. Radical Scavenging and Anti-Lipoperoxidative Activities of *Smallanthus sonchifolius* leaf extracts. *J Agric Food Chem.* 53(14):5577-5582.
- WRIGHT, R. 2005. Antioxidant avalanche. *Nutraceuticals World* 8(3): 47-57.
- YOSHIMOTO, M.; OKUNO, S.; YAMAGUCHI, M. & YAMAKAWA, O. 2001. Antimutagenicity of deacylated anthocyanins in purple-fleshed sweetpotato. *Biosci Biotechnol Biochem* 65(7):1652-1655.
- ZHENG, B.L.; HE, K.; KIM, C.H.; ROGERS, L.; SHAO, Y.; HUANG, Z.Y.; LU, Y.; YAN, S.J.; QIEN, L.C.H. & ZHENG, Q.Y. 2000. Effect of a lipidic extract from *Lepidium meyenii* on sexual behavior in mice and rats. *Urology* 55: 598-602.