

Tubérculos

Ximena Cadima Fuentes

Fundación PROINPA, Casilla: 4285, Cochabamba, Bolivia

email: proinpa@proinpa.org, xcadima@proinpa.org

Abstract

The origin and domestication of tubers is located in the Central Andes. Among these tubers are potato, oca (*Oxalis tuberosa*), ullucu (*Ullucus tuberosus*), and mashua (*Tropaeolum tuberosum*). Only the potato has been disseminated throughout the world. It is the fourth most important crop after wheat, rice, and maize. The other tubers basically have remained in the highlands of the Andes, because their conservation and use is associated with socio-cultural aspects of the Andean people and their traditional production systems. During the last decade, many studies of Andean tubers in Ecuador, Peru and Bolivia, indicate their economic potential. Oca, ullucu, and mashua belong to three different families, but have similar ecology. They are considered to be rustic crops they requiring low levels of input, making them attractive plants for organic production. There is basic information available of the cultivated species, but little about their wild relatives. Through collaboration between the three countries, and with support from the International Potato Center (CIP) and the International Plant Genetic Resources Institute (IPGRI), morphologic descriptors have been published for oca and ullucu, and are under elaboration for mashua. Because of earlier conflicting reports ploidy levels in the three species need more study. Germplasm of Andean tubers from the three countries constitute national genebanks in each country. These serve for research in botanical, morphological, agronomic, cytological, biochemical, molecular, nutritional and agro-industrial aspects, which in turn, combined with local knowledge, serve to improve their use, conservation, and sustainability to the benefit of the Andean people. There are efforts to strengthen *in situ* conservation microcenters of biodiversity.

Key words: Andean tubers, *Oxalis tuberosa*, *Ullucus tuberosus*, *Tropaeolum tuberosum*, *In situ* & *ex situ* conservation.

Resumen

El origen y área de domesticación de los tubérculos se encuentran en los Andes centrales. De los cuatro tubérculos andinos (papa, oca, papalisa e isaño), sólo la papa se ha difundido a nivel mundial, llegando a ocupar el cuarto lugar en importancia después trigo, arroz y maíz. La oca (*Oxalis tuberosa*), papalisa (*Ullucus tuberosus*) e isaño (*Tropaeolum tuberosum*) básicamente se han quedado en las alturas de los Andes, cuya conservación y uso se halla relacionada a aspectos socio-culturales de los pobladores andinos. Investigaciones realizadas en la última década indican un gran potencial económico de la oca, papalisa e isaño en Ecuador, Perú y Bolivia. Son cultivos que pertenecen a tres familias, pero que comparten una misma ecología; son considerados en general como cultivos rústicos y requieren bajos insumos para su producción, lo que los hace atractivos para la producción orgánica. Se dispone de información básica sobre taxonomía y botánica de las especies cultivadas, pero poco de las silvestres. Mediante un trabajo colaborativo entre los tres países y con el apoyo del Centro Internacional de la Papa (CIP) y el Instituto Internacional de Recursos Fitogenéticos (IPGRI), se han publicado los descriptores morfológicos de oca y papalisa, y se encuentra en proceso el de isaño. Estos descriptores son una guía para clasificar la variabilidad genética de estos tubérculos. Mayores investigaciones de ploidia son necesarios debido a información anterior incoherente. Recolecciones de tubérculos en los tres países ahora constituyen los bancos nacionales de germoplasma de cada país, que son fuentes de investigaciones botánicas, morfológicas, agronómicas, citológicas, bioquímicas, moleculares, nutricionales y agroindustriales. Todos estos en combinación con conocimiento local contribuyen a un uso mejor y sostenible en conservar este recurso para los pobladores andinos. También se han efectuado acciones para fortalecer la conservación *in situ* de estas especies en zonas denominadas microcentros de biodiversidad.

Palabras clave: Tubérculos andinos, *Oxalis tuberosa*, *Ullucus tuberosus*, *Tropaeolum tuberosum*, Conservación *in situ* *ex situ*.

Introducción

El continente americano es uno de los centros donde se han originado y domesticado especies de plantas cultivadas como la papa, el maíz, la yuca, el camote y el frijol que han contribuido a la alimentación del mundo, pero también se han originado varias otras especies que son poco conocidas aún pero con potencial para ser explotadas más intensamente. Entre estas especies, están los tubérculos menores: papalisa (*Ullucus tuberosus*), oca (*Oxalis tuberosa*) e isaño (*Tropaeolum tuberosum*); las raíces andinas: arracacha (*Arracacia xanthorrhiza*), yacón (*Smallanthus sonchifolius*), achira (*Canna edulis*), maca (*Lepidium meyenii*) y ajipa (*Pachyrhizus ahipa*); los granos: quinoa (*Chenopodium quinoa*), kañiwa (*C. pallidicaule*) y amaranto (*Amaranthus caudatus*); así como las leguminosas como el tarwi (*Lupinus mutabilis*) y el maní (*Arachis hypogaea*).

Los tubérculos como la papa, oca, papalisa e isaño fueron domesticados en los Andes hace miles de años y son parte desde entonces de los patrones alimenticios de los pobladores andinos (Hermann 1992 cit. en Espinoza *et al.* 1996). Estas especies se asocian con la altitud, están cultivadas en pequeñas áreas bajo sistemas de producción tradicionales y en condiciones difíciles, pero son imprescindibles para asegurar la diversificación alimentaria y el sustento de las poblaciones que viven en mayor riesgo. Por lo tanto, las razones para promover la producción, conservación y uso de estos tubérculos se basan en fundamentos nutricionales, ecológicos y socio-económicos, que a través de los años continuamente han contribuido a la seguridad alimentaria de los pobladores andinos y son parte de su cultura y expresiones sociales.

La papa es uno de los cultivos principales a nivel mundial, ocupa el cuarto lugar en importancia en cuanto al valor de la producción mundial después del trigo, arroz y maíz. Originalmente, su cultivo fue limitado a los Andes sudamericanos, ahora se cultiva

en muchos países de clima templado y tropical a lo largo del mundo. Por su importancia, la papa es el tubérculo más ampliamente estudiado. Existen innumerables publicaciones y extensos tratados dedicados exclusivamente al estudio de la papa, pero el presente capítulo se limita a información de la oca, papalisa e isaño. El Centro Internacional de la Papa (CIP), con sede en Lima, Perú (www.potatocip.org) ha documentado una colección completa sobre la papa, teniendo como uno de sus principales objetivos la investigación científica y actividades relacionadas con la papa para reducir la pobreza y alcanzar la seguridad alimentaria sobre bases sostenibles en los países en desarrollo. En Bolivia, la Fundación para la Promoción e Investigación de Productos Andinos (PROINPA) (www.proinpa.org) también cuenta con un centro de documentación especializado en papa. En Ecuador se puede hallar información a través de la institución Fortalecimiento de la Investigación y Producción de Semilla de Papa (FORTIPAPA) (www.fpapa.org.ec).

Los demás tubérculos andinos (oca, papalisa e isaño, fueron menos estudiados e investigados, muy poco se conocía hasta hace apenas una década atrás. Con el proyecto regional (Programa Colaborativo de Biodiversidad de Raíces y Tubérculos Andinos, PBRTAs) en que participaron instituciones de Ecuador, Perú y Bolivia de 1993-2003, se han generado conocimientos en diferentes ámbitos que van desde la conservación, diversidad genética, sistemas productivos, usos alternativos de estos cultivos y en la forma cómo estos tubérculos podrían contribuir a mejorar la calidad de vida de los agricultores de zonas marginales. En este capítulo se centrará entonces la información sobre estas tres especies de tubérculos andinos, con el fin de dar una visión sobre el rol y las potencialidades de estos cultivos económicamente importantes para los Andes Centrales.

La oca

Clasificación y denominaciones

La oca pertenece a la familia Oxalidaceae que incluye ocho géneros. El género *Oxalis* tiene más de 800 especies. La mayor parte se encuentra en Sud América con una gran diversidad de formas. *Oxalis tuberosa* es la única cultivada como especie alimenticia (Emshwiller 1999). Los tubérculos de *O. tuberosa* son conocidos con los nombres comunes de oca en Ecuador, Bolivia, Perú y Chile; también se conoce como cuiba o quiba en Venezuela, macachin o miquichi en Argentina, huasisai o ibi en Colombia, papa extranjera en México y yam en Nueva Zelanda (Del Río 1990 cit. en Barrera *et al.* 2004).

Características morfológicas

Cárdenas (1989) clasificó la forma de los tubérculos de la oca en categorías ovoides, claviformes y cilíndricas. De acuerdo a los descriptores morfológicos estándar de la oca del IPGRI/CIP (2001), existiría una forma más que es la alargada, lo cual concuerda con lo observado en colecciones de germoplasma de oca en los tres países Ecuador, Perú y Bolivia. En los descriptores estándar no se mencionan características de los ojos, probablemente porque éste no es un carácter discriminante de la variabilidad de este cultivo. Sin embargo, hay que notar que los ojos varían de horizontales, poco curvos, cortos o largos, así como muy aproximados entre sí o alejados y superficiales o profundos. Las brácteas que cubren a los ojos pueden ser amplias y cortas o casi inexistentes o también amplias y estrechas, pero largas (Cárdenas 1989).

Cárdenas (1989) hace una descripción de las flores indicando que se disponen en dos cimbras de 4-5 flores hermafroditas y aparecen en las axilas de las hojas superiores (Figura 1). El pedúnculo mide de 5-10 cm ó más y los pedicelos de 1-3 cm. El cáliz tiene 1 cm de

longitud con cinco sépalos unidos en su base. La corola está formada de cinco pétalos flabeliformes 10 x 16 mm de color amarillo o naranja amarillento con nervios principales rojos. Los estambres se hallan dispuestos en dos verticilos pentámeros de diferente longitud cada uno; los filamentos son pubescentes. El estilo es pentáfido y de longitud variable, ya que puede ser más largo que los estambres o más cortos que éstos. El ovario es súpero con cinco carpelos, quinquelocular, sincárpico. Los estigmas son bífidos, laminares o penicilados (como pincel) de color amarillo algo verdoso.

La biología floral presenta heteromorfismo, como lo indica León (1964 cit. en Barrera *et al.* 2004). Los estilos a veces son más largos que el grupo más alto de estambres (longistilia), otras veces están situados entre los dos grupos de estambres (mesostilia) o bien pueden ser más cortos que el grupo inferior de estambres (brevistilia). En los descriptores estándar del IPGRI/CIP (2001) también se mencionan dos tipos adicionales: cuando los estilos están situados en la misma altura que el grupo de estambres más alto (semi-homostilia) y cuando ambos grupos de estambres se encuentran casi juntos en la parte inferior y los estilos bastante más arriba (fuertemente longistilia). En la colección de oca de Bolivia se han detectado sobre todo las formas brevistilia y mesostilia, en menor proporción las formas longistilia (5% de la colección), solo un caso de semi homostilia y uno de fuertemente longistilia (según mis observaciones).

La oca rara vez forma fruto debido a que las flores comúnmente se desprenden poco después de la antesis (León 1964 cit. en Barrera *et al.* 2004). El fruto es una cápsula dehiscente de cinco lóculos de pared membranosa y encerrado en el cáliz persistente, con 1-3 ó más semillas por lóculo (Cárdenas 1989).

Un carácter discriminante importante es el color de la superficie de los tubérculos (Figura 2). En los descriptores estándar se mencionan hasta 12 variaciones de colores, que van del blanco al púrpura grisáceo oscuro, con colores

intermedios como el blanco amarillento, amarillo, naranja amarillento, rojo naranja, rojo naranja oscuro, rojo claro (rosado), rojo pálido, rojo, púrpura rojizo y púrpura grisáceo claro. Los tubérculos pueden presentar también coloraciones secundarias distribuidas ya sea en los ojos, alrededor de los ojos, sobre tuberizaciones, manchas irregularmente distribuidas o como bandas o moteaduras sobre las tuberizaciones. La experiencia ha mostrado que el uso de tan amplia gama de descriptores puede dificultar en la evaluación de la diversidad de las ocas, por lo que se ha distinguido como colores base solamente a cinco clases: blanco, amarillo, naranja, rojo y púrpura, cada uno con diferentes intensidades (según mis observaciones).

Los tallos aéreos son muy abundantes y brotan desde la base de la planta. En plantas jóvenes, el tallo es normalmente erecto hasta casi un metro de alto en zonas húmedas con diámetros de 0.5-1.5 cm. En plantas adultas, los tallos tienden a doblarse hacia fuera. Son muy suculentos, varían de color desde verde amarillento, verde grisáceo pigmentado con rojo, rojo grisáceo, púrpura rojizo y púrpura grisáceo. Las plantas pueden ser verde-amarillentas hasta casi completamente pigmentadas de antocianinas. Se presenta una correlación entre el color del tallo aéreo y el de los tubérculos (Cárdenas 1989, IPGRI/CIP, 2001, Barrera *et al.* 2004). Tanto los tubérculos como los tallos presentan una tendencia a la fasciación (= Adaptación morfológica de un órgano vegetal que adquiere la semejanza de un órgano animal o humano, M. Cadima 2006, com. pers.; en el caso de las ocas, los tubérculos fasciados se asemejan a una mano, ver figura 3), este fenómeno fue observado por Cárdenas (1989) y recientemente observé en la colección de oca de Bolivia. Las hojas de la oca son alternas trifoliadas con pecíolos largos de 2-9 cm de longitud. Los folíolos son obcordiformes de color verde en el haz y púrpura o verde en el envés (León 1964 cit. en Barrera *et al.* 2004). El tallo y las hojas son normalmente pubescentes.

Ploidía

El número de cromosomas en la oca parece ser anormal porque los resultados obtenidos en su recuento por diferentes autores no son concordantes. Según Darlington & Janaki (1945 cit. por Cárdenas 1989), la oca aparece con 63-70 cromosomas. Cronquist (1981 cit. en Emshwiller 1999) indica que el número básico en *Oxalis* varía de $x=5$ a $x=12$ y que la poliploidía es común en este género. Azkue & Martínez (1990, cit. en Emshwiller 1999) hallaron $2n=8x=64$ con un número de $x=8$ para *O. tuberosa*. Datos similares fueron reportados en accesiones de oca cultivada en el Perú por Valladolid *et al.* (1994). En cambio, en accesiones de oca de la colección boliviana se encontraron materiales pentaploides y tetraploides (Gaspar 1998, Torrico *et al.* 2004). Con estos datos se confirma la naturaleza poliploide de la oca cultivada, aunque aún queda por confirmar los posibles niveles existentes en esta especie.

Valor nutricional

Según el NRC (1989), los tubérculos de oca tienen una alta variación en sus niveles nutritivos. Como promedio tiene un 84.1% de agua, 1.1% de proteína, 13.2% de carbohidratos, 0.6% grasa y 1.0% de fibra. El contenido vitamínico varía, pero puede tener cantidades significativas de retinol (vitamina A) y los tubérculos amargos contienen hasta 500 ppm de ácido oxálico.

Usos tradicionales

La oca se consume normalmente cocida en agua o al horno, siempre luego de haber expuesto a los tubérculos por varios días al sol para que adquieran un sabor dulce. También se consume en forma de chuño (deshidratado) o caya, similar al chuño de papa (Cárdenas 1989).

En Ecuador, Barrera *et al.* (2004) reportaron que la oca tiene una preparación más diversificada que la papalisa, dependiendo de si



Fig. 1: Flor de la oca. Foto: M. L. Ugarte.



Fig. 2: Diversidad de tubérculos de oca cultivada. Fotos: X. Cadima.



Fig. 3: Tubérculo de oca fasciado. Foto: X. Cadima.

se utiliza al fresco o asoleado. Al fresco y recién cosechada, se utiliza para sopas, cortada como la papa y también se cocina como locro. Otra forma de consumo es en puré y envueltos como el quimbolito (la oca se muele cruda, después se sazona con dulce, se envuelve en hojas de achira y se cocina como las humitas). La oca asoleada (y por lo tanto endulzada) se come preferentemente con dulce o en coladas; y también mezclada con leche. En Bolivia Terrazas & Valdivia (1998) reportan también usos medicinales de la oca que junto a la cucurbitácea (*Cucurbita maxima*) constituye un paliativo para las lesiones internas y disminuye la fiebre causada por la enfermedad de animales denominada fiebre aftosa.

Importancia del cultivo

El cultivo de la oca es muy importante en los Andes Centrales, sobre todo en lugares húmedos entre 2.800 y 4.100 m desde Venezuela hasta Chile y Argentina, pero particularmente en Ecuador, Perú y Bolivia. Es el segundo tubérculo importante después de la papa en Perú y Bolivia. En la sierra ecuatoriana se cultiva la oca en un sistema de subsistencia, es menos importante que la papalisa e incluso se la sitúa en cuarto lugar, después de la papa, la papalisa y la zanahoria blanca (*Arracacia xanthorrhiza*), como lo indican Espinosa *et al.* (1996) y Barrera *et al.* (2004). Los rendimientos reportados de la oca en Ecuador no sobrepasan a las 2 t/ha, aunque a nivel experimental se han obtenido de 15-28 t/ha (Barrera *et al.* 2004). En el Perú, la oca tiene una producción promedio de 5 t/ha (www.minag.gob.pe/Politica/inia2_mAnexoIV.pdf) y en Bolivia las estadísticas nacionales hasta 1998 reportaron un promedio de 3 t/ha (INE 1999).

La papalisa

Clasificación y denominaciones

El género *Ullucus* tiene una sola especie, el *Ullucus tuberosus*, que de acuerdo a Sperling

(1987) citado por Arbizu (2004) tiene dos subespecies: *aborigineus* y *tuberosus*. Dentro de la subespecie *aborigineus* están incluidas todas las papalissas silvestres, que pueden encontrarse en suelos sueltos, húmedos y de buen drenaje o también en ambientes rocosos formando tubérculos de 1.5-1.0 cm de diámetro, de colores rosados, rojos, marrón oscuro y a veces blancos. Son comunes desde Carchi en el Ecuador hasta el NW de Argentina. La papalisa es la planta más importante del género *Ullucus* y probablemente de la familia Basellaceae. Esta familia incluye dos especies cultivadas: *Ullucus tuberosus* y *Basella alba*. La papalisa se cultiva por sus tubérculos comestibles en los Andes sudamericanos, desde Venezuela hasta el NW de Argentina. La papalisa cultivada (Figura 4) pertenece a la subespecie *tuberosus*, cuyas características generales son: tubérculos redondos, semifalcados, cilíndricos y alargados retorcidos con colores que varían desde el blanco amarillento, verde, amarillo de diferentes tonalidades, naranja, rosado y rojo.

Ullucus tuberosus es conocida también como chugua, ulluma, iliaco y chiga en Colombia; melloco, hubas, chuga, chigua y ulluco en Ecuador; olluco, olloco, ullush, ullucu o lisas en el Perú; y papalisa, illoco, ulluma y lisa en Bolivia. Se cultiva desde Colombia hasta el Perú y Bolivia (Cárdenas 1989, Cadima *et al.* 2003a, Arbizu 2004, Tapia *et al.* 2004).

Características morfológicas

El porte de la planta es erecto o rastrero. Algunos cultivares suelen presentar alargamiento de los tallos, cuando las plantas se encuentran en plena floración. Cárdenas (1989) describe a los tallos de la papalisa como suculentos y angulosos de 30-60 cm de alto, aunque en las colecciones de Perú y Bolivia no se han encontrado tallos mayores a 40 cm. Es lógico que el tamaño y vigor de las plantas dependan de la fertilidad del suelo y el grado de infección de virus. El color de los tallos varía de verde amarillento claro a rojo grisáceo y es común

encontrar tallos verdes con pigmentaciones rosadas o bien tallos rojos con pigmentaciones verdes. Cárdenas (1989) describió que existe cierta correspondencia entre el color de los tallos y los tubérculos. Esto se corrobora con lo observado en la colección de papalisa de Bolivia, donde se han encontrado plantas de tallos rojos grisáceos nacidas de tubérculos rojizos y púrpuras, así como plantas de tallo verde nacidas de tubérculos amarillos. Además, he encontrado que de un mismo tubérculo amarillo con rojo pueden generarse tallos rojos nacidos de ojos rojos y tallos verdes nacidos de ojos amarillos. Es común también encontrar tubérculos normales y adventicios, estos últimos que brotan por encima de la tierra y son más pequeños que los normales.

Como lo indican varios autores (Cárdenas 1989, IPGRI/CIP 2003, Barrera *et al.* 2004), las hojas de la papalisa son anchas y simples, pueden presentar cuatro formas ovada, cordada, deltoide y semireniforme; de ápice obtuso o redondeado con el pecíolo de 2.5-7.5 cm de longitud y lámina de 2.5-7.5 x 5 cm. Arbizu (2004) señala además que la forma de las hojas puede ayudar a identificar cultivares, pues no se modifican por la influencia de factores bióticos o abióticos.

Las inflorescencias en espiga son axilares y abundantes con numerosas flores pequeñas. Cárdenas (1989) describió el color magenta (púrpura rojizo) de las flores, pero en las colecciones de los tres países se reportan también el color verde amarillento solo o con ápice y bordes púrpura rojizo (Arbizu 2004, Barrera *et al.* 2004). Las flores (Figura 5) miden 5-8 mm de diámetro con cinco tépalos ovado-cordados, largamente mucronados y con un involucre formado de dos lóbulos suborbiculares, agudos y unidos en su base al perianto. Los cinco estambres están opuestos a los tépalos. El estilo es corto y el estigma obtuso y bífido. El ovario es súpero y globoso. La formación de frutos no es común, sin embargo León (1964 cit. en Cárdenas 1989) indica que los frutos son utrículos de 2 mm de largo por 1 mm

de ancho, de perfil triangular, con pericarpio papiráceo morado o verde, que envuelve a una sola semilla con forma de una pirámide amarilla y superficie corrugada.

Las variedades cultivadas pueden identificarse por características principalmente de los tubérculos pero también de la planta. Algunos de estos caracteres son: en los tubérculos, la forma, el color predominante de la piel y el color de la pulpa, mientras que en la planta son: el porte, la elongación y aspecto de los tallos, el color del follaje, la forma de las hojas, hábito de floración y color de los sépalos y pétalos (IPGRI/CIP 2003, Arbizu 2004). De acuerdo a los descriptores morfológicos estándar del IPGRI/CIP (2003), solo se tienen cuatro formas de tubérculo en papalisa: redondo, cilíndrico, semifalcado y retorcido. Sin embargo, es común ver en las colecciones de los países (Ecuador, Bolivia y Perú) también tubérculos ovoides, descripción que concuerda con lo mencionado por Cárdenas (1989). Los descriptores estándar no hacen referencia a los ojos, seguramente porque no son parámetros de descripción de la variabilidad de la especie, sin embargo los ojos de la papalisa se caracterizan porque son muy superficiales y sin brácteas.

El color de los tubérculos presenta una gran variación (Figura 4). De acuerdo a los descriptores estándar (IPGRI/CIP. 2003), existen 12 estados que van desde el blanco amarillento hasta el púrpura rojizo, pasando por una gran gama de colores intermedios como el verde amarillento, amarillo, amarillo oscuro, amarillo grisáceo, amarillo naranja, naranja pálido, naranja, naranja rojizo, rojo claro (rosado) y rojo. Cárdenas (1989) presentó una clasificación menor de colores y con algunos nombres diferentes, como amarillo dorado (seguramente se refiere al naranja), pardo (naranja rojizo), lila y magenta claro (rosado y rojo) y magenta oscuro (púrpura rojizo). Lo que sí queda claro es que – según mis observaciones – las colecciones en los tres países (Ecuador, Perú y Bolivia) presentan seis colores



Fig. 4: Diversidad de papalisa cultivada. Fotos: X. Cadima, M. L. Ugarte.



Fig. 5: Flor de papalisa. Foto: M. L. Ugarte.

básicos: blanco, amarillo, verde, naranja, rosado y rojo, con diferentes intensidades en cada color. Además del color predominante, también es común encontrar una coloración secundaria, es decir, sobre un fondo amarillo o blanco amarillento presenta coloración púrpura-rojiza en forma de puntos, jaspes, bandas, manchas o una combinación de ellas. También pueden presentar una coloración secundaria solo en los ojos. El color de la superficie de los tubérculos es muy sensible a la luz. Las papalisas amarillas y blancas suelen tornarse verdes y los verdes amarillentos se hacen más verdes. Solo los rojos y púrpuras difícilmente son afectados por

la luz. Pero una vez que cambian de color, ya no son aptos para el consumo.

Ploidía

Acosta-Solís (1980 cit. en Barrera *et al.* 2004) dan diferentes datos sobre el número de cromosomas de la papalisa: el atlas de cromosomas de Darlington & Janaki (1945) señala $2n=36$ cromosomas. Según el Bureau of Plant Breeding de Cambridge (1945), la papalisa de Cochabamba, Bolivia y de Puno, Perú tiene $2n=24$ cromosomas y las del Ecuador y Colombia. $2n=36$ cromosomas. Estos datos son

coincidentes con lo mencionado por Arbizu (2004) en estudios realizados en la colección de papalisa mantenida por el CIP encontraron que el 96% de las papalisas cultivadas es diploide, 3% es triploide y el 1% tetraploide. Este autor indica también que las papalisas silvestres son triploides ($2n=3x=36$). En la colección de la papalisa boliviana, Gaspar (1998) encontró solo accesiones diploides, aunque en un número reducido de la colección (17 accesiones).

Valor nutricional

Los tubérculos de papalisa son una buena fuente de carbohidratos. Los tubérculos frescos tienen alrededor de 85% de humedad, 14% de almidones y azúcares y entre 1% y 2% de proteínas, generalmente tienen alto contenido de vitamina C (Barrera *et al.* 2004). Lescano (1994) menciona también que la papalisa contiene importantes cantidades de proteínas (10.8–15.7%), que a su vez son fuente de seis aminoácidos de los ocho aminoácidos esenciales en la dieta humana (lisina, triptófano, valina, isoleucina, leucina y treonina). Las hojas pueden contener niveles altos de proteína, calcio y caroteno.

Usos tradicionales

Los tubérculos de papalisa tienen una cáscara tan delgada que no necesitan ser pelados para su consumo. La pulpa tiene una textura suave y sedosa con un sabor agradable para quienes tienen costumbre de consumir papalisa. Sin embargo, para algunas personas que comen por primera vez este tubérculo, puede parecerles desabor muy fuerte e incluso algunas manifestaron que tiene sabor a tierra, probablemente esto se deba por la presencia de mucílago en los tubérculos. Algunas variedades tienen alto contenido de mucílago y se requiere un hervor previo a la preparación.

En Bolivia se consume papalisa en sopas, también en un plato típico llamado sajta que es

un guiso con charque o carne secada al sol y ají picante; otro preparado no muy común es como ensalada cocida, revuelta con huevo y maní. En Perú se prepara un plato típico llamado ollquito con charqui y también se elabora chuño de ullucu. Barrera *et al.* (2004) reportaron que en el Ecuador se prepara la sopa de melloco, que consiste en un locro adicionado con papa, haba y repollo; también se consume en forma de ensaladas y en combinación simple con otros productos cocidos, como habas o papas. Un plato muy apetecido es el guiso: melloco cocinado, picado, sazonado, con refrito, leche y maní, acompañado de sal y/o ají.

Recientemente se reportó el uso de la papalisa para espesar sopas y estofados, proporcionando una consistencia suave a ciertas preparaciones culinarias (Repo & Kameko 2004). Las hojas son también usadas en ensaladas y sopas o para reemplazar a la espinaca. En Ecuador se reporta también el uso del follaje del melloco para alimentación del ganado vacuno (Caicedo *et al.* 2004).

Importancia del cultivo

En Ecuador el cultivo de la papalisa es el segundo tubérculo en importancia, después de la papa (Tapia *et al.* 1996). En Perú y Bolivia ocupa una menor importancia que la papa y la oca. Esta especie es cultivada en toda la sierra ecuatoriana, a altitudes entre 2.500 y 4.000 m; se reporta un rendimiento promedio de 3.5 t/ha (Barrera *et al.* 2004). En el Perú, la sierra central es la principal zona productora, pues participa con el 35% de la producción nacional y registra un promedio de rendimiento de 4-5 t/ha (López. 2004). En Bolivia, la papalisa se cultiva en siete de los nueve departamentos, pero la mayor superficie cultivada y producción se encuentra en las zonas altas de Cochabamba y Chuquisaca. Los rendimientos reportados en 15 años (1983 a 1998) por el Instituto Nacional de Estadística no llegan a las 3 t/ha, siendo los más bajos de la región andina (INE 1999).

El isaño

Clasificación y denominaciones

Tropaeolum es el género más grande de la familia Tropaeolaceae, que incluye a 86 especies distribuidas desde el Sur de México y por toda Sudamérica (Sparre & Anderson 1991 cit. en Grau *et al.* 2003). Estos mismos autores reconocen dos subespecies para *T. tuberosum*: la cultivada *T. tuberosum* ssp. *tuberosum* y la silvestre *T. tuberosum* ssp. *silvestre*.

Varios autores (Cárdenas 1989, Grau *et al.* 2003, Barrero *et al.* 2004) citan numerosos nombres para el isaño, que varía de acuerdo al país y al idioma. En quechua: allausu, aña, apiñu, apiñamama, cubio, hubios, hubias, mashua, mashwa, ocaquisañu, yanoca. En aymara: apilla, isau, isaña, isaño, kayacha, miswha.

Características morfológicas

El isaño es una planta anual herbácea, glabra de 20-80 cm de alto. De acuerdo a Arbizu & Vivanco (s/a), en los descriptores de mashua el follaje del isaño puede variar de verde amarillento a verde oscuro. Sus tallos aéreos son cilíndricos de 3-4 mm de grosor, ramificados, pueden variar de color de verde a púrpura grisáceo con diferentes grados de pigmentación. Es de crecimiento inicialmente erecto, que luego varía a semiprostrado y es ocasionalmente trepador, mediante pecíolos táctiles (Arbizu & Tapia 1992 cit. en Barrera *et al.* 2004).

Las hojas son alternas separadas por entrenudos de 1-8 cm con pecíolo de 2-30 cm de longitud. Las láminas son peltadas de 5-6 cm de ancho, tri o pentalobadas, también puede observar en una misma planta hojas tri y pentalobadas. La base de la lámina es truncada en la base. Las hojas son verde oscuras, brillantes en el haz y más claras en el envés (Cárdenas 1989). En las colecciones de isaño de Ecuador, Perú y Bolivia se han encontrado nervaduras pigmentadas en el envés de las hojas. Las flores

solitarias (Figura 6) aparecen sobre pedúnculos de 10-15 cm, intensamente pigmentados. Son zigomorfas de 2-2.5 cm de longitud. El cáliz de color rojo intenso tiene cinco sépalos unidos en su base, los tres sépalos superiores se prolongan en un espolón de 1-1.5 cm de longitud. La corola es de cinco pétalos rojo anaranjados y provistos de una nervadura roja oscura, los dos pétalos superiores son orbiculares de 5-8 mm de diámetro y los inferiores son espatulados de 10-12 mm de longitud. Los estambres están colocados en dos verticilos de a cuatro piezas desiguales entre sí y algo más cortos que los pétalos inferiores. Las anteras son de 2-3 mm de longitud. El ovario es trilobular verde claro. El estilo es más corto que los estambres, blanco o pigmentado de magenta y trífido (Cárdenas 1989).

El fruto es un esquizocarpo formado por tres mericarpios uniseminados que se separan y caen individualmente en la madurez. El isaño fructifica abundantemente (Cárdenas 1989). Los tubérculos del isaño son menos variables en su forma que la oca y la papalisa; son cónicos, cónico alargados y alargados (Figura 7). El color de los tubérculos es variado, según los descriptores de mashua (Arbizu & Vivanco s/a) existen al menos de nueve colores: blanco amarillento, amarillo pálido, amarillo, amarillo naranja, naranja, rojo grisáceo, rojo grisáceo oscuro, púrpura grisáceo y negro, siendo dominante el amarillo con ojos negruzcos o anaranjados. También son comunes los tubérculos con fondo claro con color secundario, distribuido en los ojos y bandas irregulares sobre tuberizaciones o también en forma de puntos densos o manchas irregularmente distribuidos. Los ojos del isaño son siempre profundos, anchos y estrechos, sin brácteas.

Ploidía

Estudios de cromosomas realizados por diferentes investigadores muestran resultados contradictorios. Varios autores (Huynh 1967 cit. en Grau *et al.* 2003; Gibss *et al.* 1978, Arbizu

& Tapia 1992, Hermann 1992, cit. en Barrera *et al.* 2004) coinciden en las formas cultivadas del isaño que son tetraploides $2n=4x=52$ con un número básico de $x=13$. En el documento de mashua de Grau *et al.* (2003) menciona a Gibss *et al.* (1978) quien propone $2n=43, 48, 51$ y 64 . Estudios posteriores realizados por Johns & Towers (1981 cit. en Grau *et al.* 2003) mostraron $2n=52$ para las formas cultivadas y $2n=42$ para las formas silvestres. Posteriormente, Román & García (1997 cit. en Grau *et al.* 2003) encontraron otros niveles de ploidía: $2n=18, 27$ y 36 con un número básico de $x=9$.

En la colección de isaño de Bolivia, Gaspar (1998) y Torrico *et al.* (2003) encontraron dos niveles de ploidía: $2n=26$ y $2n=39$ para el número básico $x=13$. Estos resultados solo confirman que el isaño es una especie poliploide, pero todavía existen dudas sobre el nivel de ploidía de la especie.

Valor nutricional

El isaño tiene un alto contenido de carbohidratos (11% en base fresca) y alto contenido de ácido ascórbico (67 mg por 100 g en base fresca). El contenido de proteína puede variar de 6.9-15.9% en base seca. El principal componente de las tropaeoláceas son los glucosinolatos, que pueden ser responsables para uso medicinal de la especie (NRC 1989).

Usos tradicionales

Los tubérculos recién extraídos del suelo son muy amargos y se consume muy poco, excepto por poblaciones indígenas. Con el cocimiento mejora su sabor. Se consume en forma de tayacha o sea isaño cocido y congelado y sopado en miel de caña. Ocasionalmente se utiliza para espesar sopas o también en wathia (cocido en tierra caliente) similar a la oca, luego de asolear los tubérculos por varios días. En Bolivia se utiliza también el isaño en la alimentación de cerdos para engorde (Terrazas & Valdivia 1998).

Se atribuye al isaño propiedades anafrodisíacas y también medicinales para las enfermedades del hígado y los riñones. Es utilizado como depurativo, para curar enfermedades venéreas; también detiene hemorragias y cicatriza heridas internas y externas (Cárdenas 1989, Espinoza *et al.* 1996). En la sierra ecuatoriana utilizan el isaño negro cocinado con panela para contrarrestar la prostatitis y también para aliviar la blenorragia. Los enfermos de riñones mejoran al tomar una infusión de isaño, caballochupa y pelo de choclo.

Importancia del cultivo

Entre los tubérculos andinos el isaño es el menos importante en los tres países. Contribuye a la diversidad de tubérculos que se cultivan en los Andes, debido probablemente a su estabilidad de producción en ambientes heterogéneos de la región, aspecto que puede haber favorecido a la conservación de varios cultivares. Sin embargo, el futuro del isaño es incierto, ya que sus cualidades de rusticidad, tolerancia a enfermedades y plagas, buen rendimiento y bajo insumo para su cultivo, no pueden contrabalancear la falta de interés en el mercado (Grau *et al.* 2003).

El isaño es cultivado en pequeños lotes o bien como bordes alrededor de otros cultivos más importantes como la papa. De acuerdo a Grau *et al.* (2003), Perú es el país con mayor superficie de producción de isaño, que supera a las 7.000 ha; no existen datos estadísticos sobre Bolivia ni Perú, pero algunas estimaciones dan una idea de que no se cultiva más de 100 ha en Bolivia y apenas 50 ha en Ecuador. Estos datos son extremadamente bajos, considerando que al menos en Bolivia la situación del isaño es muy similar a la del Perú. En Bolivia los datos de rendimiento en campos de agricultores oscilan entre 30 y 60 t/ha, lo cual demuestra su alto potencial productivo (Cadima *et al.* 2003b). Las estadísticas nacionales del Perú indican que el isaño tiene un rendimiento promedio de



Fig. 6: Flor del isaño. Foto: M. L. Ugarte.



Fig. 7: Diversidad de tubérculos del isaño cultivado. Fotos: M. L. Ugarte.

4-7t/ha (http://www.minag.gob.pe/Politica/inia2_mAnexoIV.pdf).

Conservación de tubérculos andinos en Ecuador, Perú y Bolivia

Los cultivos que se propagan clonalmente son diferentes a los cultivos de propagación por semilla sexual en su evolución y en sus necesidades para conservación. Un ejemplo de los primeros son los tubérculos andinos, cuyas estrategias de conservación son particulares en el cultivo. Existen factores tanto sociales como

bióticos que influyen en la evolución de los cultivos de tubérculos. La influencia humana es muy importante en la diversidad genética de los mismos, porque los agricultores juegan un papel fundamental en la selección y dispersión de genotipos clonales.

Existen dos metodologías de conservación: *in situ* y *ex situ*. En los tres países, Ecuador, Perú y Bolivia se ha trabajado en ambas formas, buscando una complementariedad. La conservación *in situ* de la agrobiodiversidad es diferente a la conservación *in situ* de especies silvestres como por ejemplo en áreas protegidas,

donde la intervención del hombre es mínima o casi nula o definitivamente las comunidades humanas son involucradas en los programas de conservación de la naturaleza como actores y con responsabilidades en esos procesos. En cambio, la conservación de los recursos de la agrobiodiversidad se caracteriza por la participación activa del hombre: conservación en campos de agricultores donde el continuo cultivo y manejo de un grupo diverso de poblaciones vegetales cultivadas es realizado por agricultores en el agroecosistema y donde el cultivo ha evolucionado (Jarvis *et al.* 2000 cit. en Tapia *et al.* 2004). La agrobiodiversidad sin embargo no se encuentra dispersa en cualquier sitio, sino en zonas muy particulares denominadas microcentros de diversidad, que son áreas geográficas con características medioambientales, sistemas de producción agropecuarios y patrones socioculturales que posibilitan la supervivencia y uso de la biodiversidad (García *et al.* 2003, Tapia *et al.* 2004).

La conservación *ex situ* se realiza fuera del lugar de procedencia y origen del germoplasma, donde ha desarrollado sus características ancestrales. La conservación se realiza como semillas en bancos de semillas, en condiciones *in vitro*, en colecciones de campo o en jardines botánicos. Los tubérculos andinos - por ser especies de propagación vegetativa - se conservan como colecciones de campo y complementariamente en condiciones *in vitro*.

Conservación *in situ*

Rea (2004) hace mención que la amplitud de distribución y la gran rusticidad de los tubérculos andinos han sido mantenidos a través de más de seis siglos en la dorsal andina sur, gracias a la vía campesina de conservación, manejo y utilización *in situ* de los recursos agrícolas. A través de esta vía, los actuales pequeños productores como descendientes directos de los domesticadores originales, siguen perpetuando acciones para mantener

esa riqueza genética. Esto se evidencia en poblaciones que cuanto más aisladas están, más guardan la costumbre tradicional y más se encuentran estos cultivos en la dieta de la gente. Estas poblaciones se caracterizan por tener una agricultura poco orientada al mercado y con prácticas culturales y alimenticias tradicionales. De esta manera, la costumbre y la tradición permiten que perdure aún el consumo de los tubérculos andinos y sigan presentes en la agricultura andina.

Sin embargo, algunos autores (Espinoza *et al.* 1996, García & Cadima 2003) concuerdan en que los tres países andinos (Ecuador, Perú y Bolivia) las tradiciones y costumbres que están muy relacionadas con la conservación de los tubérculos andinos, se están perdiendo poco a poco y en algunos lugares más aceleradamente que en otros. Se reporta que las comunidades campesinas están perdiendo el conocimiento sobre cómo éstos deben ser tratados. Muchas prácticas ya son irrecuperables, pues se han perdido con la muerte de las personas mayores. Aunque a través de diferentes proyectos, se ha sensibilizado sobre el valor de estos cultivos, ya los agricultores no saben cómo cultivarlos, cuidarlos, almacenarlos ni prepararlos.

A través del Proyecto Colaborativo de Biodiversidad de Raíces y Tubérculos Andinos (PBRTAs), se identificaron áreas específicas en los tres países Ecuador, Perú y Bolivia, para efectuar estudios y fortalecer a la conservación *in situ* de estos cultivos. Se localizaron sitios específicos donde persisten antiguas influencias culturales y donde los cultivos nativos crecen como mezclas de genotipos en mosaicos, siendo cada área con diferentes factores socio-culturales y agroecológicos. Dentro de cada área, se identificaron combinaciones únicas de germoplasma de tubérculos andinos y algunos estuvieron estrechamente relacionados al germoplasma silvestre. También se localizaron los factores que inciden en la producción y conservación de los tubérculos andinos. Entre los factores que hacen que estos cultivos aún se hallen en la dieta de los pobladores andinos

está la diversificación de usos, muy relacionada con aspectos culturales. Pero también están los factores que inciden negativamente, entre éstos está la pérdida gradual del conocimiento originario para la producción, baja comercialización debido a una limitada demanda en mercados y precios bajos, así como una oferta mínima de alternativas tecnológicas modernas (Espinoza *et al.* 1996, Gonzales *et al.* 2003, Barrera *et al.* 2004).

En Ecuador - a través del PBRTAs - se realizaron estudios sobre la dinámica de la conservación de tubérculos andinos en condiciones *in situ* en comunidades campesinas de la región interandina del país (Tapia *et al.* 2004). El proyecto además se enfocó en reforzar la capacidad de los agricultores y de organizaciones locales para incrementar la conservación de los recursos fitogenéticos y así mejorar los medios de vida de los agricultores, fortaleciendo la seguridad alimentaria de las poblaciones locales. El apoyo a la conservación *in situ* se concentró en un microcentro de diversidad denominado Las Huaconas. Las actividades que involucró el proyecto fueron: realización de inventarios locales sobre la variabilidad de tubérculos en comunidades del microcentro, ferias de conservación de semillas donde se evaluó la diversidad de tubérculos a nivel comunal, estudios sobre destino y usos de la variabilidad y producción, así como la cuantificación de la erosión genética en base a análisis comparativos de diversidad registrada *in situ* y *ex situ* (Tapia *et al.* 2004).

En el Perú, las primeras iniciativas de apoyo a la conservación *in situ* se llevaron a cabo en el década de los 80's a través del INIA (Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias), participando en actividades relacionadas con sistemas agrícolas andinos, rescate de tecnología tradicional y ferias de semillas. A partir del año 2001, se implementó a nivel nacional un proyecto de conservación *in situ* de cultivos andinos y parientes silvestres con participación del INIA, cuatro organizaciones no gubernamentales y el financiamiento del

Fondo Mundial para la Conservación y la Cooperación de Italia. El proyecto involucra a 54 comunidades a nivel nacional y 11 cultivos, entre los cuales se encuentran los tubérculos andinos (Pastor *et al.* 2004). El proyecto ha centrado su atención en documentar y registrar las chacras (georeferenciadas), sus cultivos y variedades, también el tipo de manejo agronómico, los factores (socio-cultural, biológicos y climáticos) que inciden en la producción, información etnobotánica sobre usos, los mecanismos tradicionales de mantenimiento de la diversidad y flujo de semillas. Pero también el proyecto está implementando acciones para fortalecer la conservación *in situ*, como por ejemplo el apoyo a ferias de diversidad, promoción de concursos, difusiones radiales, talleres y otras actividades dirigidas a revalorar los cultivos nativos, intercambio entre agricultores y búsqueda de mercados para los productos de la biodiversidad de los cultivos nativos (Pastor *et al.* 2004).

En Bolivia el fortalecimiento a la conservación *in situ* de tubérculos (papa nativa, oca, papalisa e isaño) se concentró en el Municipio de Colomi (Cochabamba), particularmente en la zona de Candelaria, identificada como un microcentro de diversidad de tubérculos andinos. Así con base en la experiencia y lecciones aprendidas en una década (1993-2003), se elaboró una estrategia de fortalecimiento a la conservación *in situ* que consiste en el accionar de tres componentes complementarios entre sí: ecológico, cultural y económico-productivo, además de dos componentes transversales: relación *in situ-ex situ* y los usos de la biodiversidad (García & Cadima 2003). En el componente ecológico, se ha realizado la caracterización de la zona como un microcentro de diversidad; el estudio de las dinámicas locales para la conservación de la biodiversidad y la formación de bancos comunales de tubérculos andinos (jardín de variedades). En el componente socio-cultural se ha trabajado en el rescate de las tradiciones

y costumbres ligadas al saber local sobre los usos de la diversidad de tubérculos andinos, en el empoderamiento de los actores locales (escuelas rurales, agricultores y gobierno municipal) sobre la potencialidad de los recursos genéticos, la gestión de la biodiversidad en las políticas municipales y en el desarrollo de iniciativas de agroturismo y ecoturismo rural. En el componente económico-productivo, se ha realizado un diagnóstico de las principales limitantes bióticas, abióticas y económicas para los cultivos y se ha desarrollado y difundido tecnologías con enfoque participativo (García & Cadima 2003). En el componente relacionado a incrementar los usos de los tubérculos andinos, se ha impulsado la oferta de variedades nativas de calidad (seleccionados y empacados) por microempresas rurales y el desarrollo de productos con valor agregado (harinas, hojuelas, deshidratados, tintes naturales). En el componente de la relación *in situ-ex situ*, se ha trabajado en la promoción de la biodiversidad en diferentes eventos rurales y urbanos a través de exposiciones en ferias de biodiversidad, y en la reintroducción de variedades a través de semilla de calidad fitosanitaria (García & Cadima 2003).

Conservación *ex situ*

A través del proyecto Colaborativo de Biodiversidad de Raíces y Tubérculos Andinos (PBRTAs), los tres países realizaron importantes colectas de oca, papalisa e isaño y establecieron bancos de germoplasma con estas colecciones, que actualmente constituyen las colecciones nacionales de sus respectivos países. En la tabla 1 se presenta una relación del número de accesiones de tubérculos andinos existentes en los bancos de germoplasma de Bolivia, Perú y Ecuador. El banco de germoplasma de tubérculos andinos del Ecuador es custodiado por el DENAREF (Departamento Nacional de Recursos Fitogenéticos y Biotecnología) del INIAP

(Instituto Nacional Autónomo de Investigaciones Agropecuarias); el banco de Bolivia por la Fundación PROINPA (Promoción e Investigación de Productos Andinos) en el marco del Sistema Nacional de Recursos Genéticos para la Agricultura y la Alimentación (SINARGEAA) y el banco nacional de tubérculos andinos en el Perú es manejado por el INIEA (Instituto Nacional de Investigación y Extensión Agraria) a través de la Dirección General de Investigación Agraria. El Centro Internacional de la Papa (CIP) mantiene colecciones mundiales de tubérculos andinos.

Caracterización de las colecciones de tubérculos andinos

La caracterización de germoplasma es un proceso importante para conocer las propiedades del material conservado y para fomentar el uso de los mismos, ya sea por agricultores, mejoradores o científicos, industrias, entre otros. La caracterización es la toma de datos mayormente cualitativos, que son altamente heredables para describir y así diferenciar las muestras o accesiones de una colección de germoplasma (Castillo *et al.* 1991 cit. en Tapia *et al.* 2004). Las colecciones de tubérculos andinos en los tres países fueron caracterizadas morfológicamente, utilizando descriptores estándar publicados por el Instituto Internacional de Recursos Fitogenéticos (IPGRI). En el caso de la oca, papalisa e isaño, los descriptores fueron elaborados y consensuados por técnicos encargados del manejo de las colecciones en los tres países, incluyendo los curadores del CIP. En función al análisis de la información de las caracterizaciones, las colecciones fueron agrupadas en morfotipos definidos por caracteres morfológicos y en algunos casos también agronómicos particulares. En la tabla 2 se presenta el resumen de esta información. Adicionalmente, algunos bancos de germoplasma también realizaron

Tabla 1: Número de accesiones de tubérculos andinos en los Andes centrales (en base a INIEA 2004, PROINPA 2004, Tapia *et al.* 2004 y <http://www.cipotato.org/potato/potato.htm>). Símbolos: * = Especies cultivadas.

Espece* [*]	Bolivia	Ecuador	Perú	Perú (CIP)
Oca	503	101	1.279	555
Papalisa	200	137	432	464
Isaño	80	78	160	86
Papa	1.400	692	-	3.800

caracterizaciones bioquímicas y moleculares adicionales para complementar la información del estudio de la diversidad genética de las colecciones. Esta etapa aún se encuentra en proceso, por lo que se cuentan solo con reportes preliminares.

En el caso del Ecuador, la colección de papalisa fue caracterizada utilizando métodos bioquímicos (isoenzimas) y encontraron 55 grupos en un total de 239 accesiones evaluadas. En la colección de isaño encontraron hasta nueve grupos, también con análisis isoenzimáticos y la colección de oca fue evaluada con RAPDs (Random Amplified Polymorphism DNA), cuya información fue complementaria a la caracterización morfológica (Tapia *et al.* 2004). En Bolivia el uso de técnicas moleculares para complementar la caracterización de la diversidad genética de las colecciones de tubérculos andinos se inició en papa nativa y actualmente se está trabajando también en la caracterización de la colección de oca con marcadores ISSR (Inter Simple Sequence Repeats).

Relación de la conservación *ex situ* con la conservación en fincas de agricultores

Siempre ha sido un reto para todos los curadores de germoplasma el lograr la complementariedad de las dos formas de conservación *ex situ* e *in situ*, porque los mecanismos para conseguir esa complementariedad nunca han sido claros o no han sido definidos. En los tres países se reportan

iniciativas para lograr la complementariedad de ambas formas de conservación, siendo algunas las siguientes:

- ◆ Reintroducción de germoplasma a las comunidades (flujo *in situ* – *ex situ* – *in situ*), lo cual ha permitido reponer algunas variedades que corrían el riesgo de perderse *in situ* por problemas fitosanitarios.
- ◆ Participación de agricultores en la selección de materiales promisorios de las colecciones de germoplasma y también en procesos de mejoramiento genético, lo cual ha permitido que los agricultores participen en la obtención de nuevas variedades desde etapas tempranas y el proceso de realiza de acuerdo a las expectativas de ellos (mejoramiento participativo).
- ◆ Conservación de germoplasma bajo una lógica *ex situ*, pero en campos de agricultores. Esta iniciativa ha permitido dinamizar el banco y lograr una integración de los agricultores en el proceso de conservación desde la selección de la semilla, las prácticas culturales, el manejo de las colecciones en campo e incluso la caracterización de las variedades.
- ◆ Visitas guiadas al banco de germoplasma y talleres con agricultores. Estas actividades permiten que los agricultores aprecien objetivamente la importancia del banco en la conservación de las variedades. Asimismo, se comparten criterios entre técnicos y agricultores sobre metodologías y parámetros de evaluación en campo.

Tabla 2: Número de morfotipos de cada una de las colecciones de tubérculos andinos por país (basado en Cadima *et al.* 2003a, b; INIEA 2004, Tapia *et al.* 2004 y Ugarte & Baudoin 2004).

Especie	Bolivia		Ecuador		Perú	
	No. accesiones	No. morfotipos	No. accesiones	No. morfotipos	No. accesiones	No. morfotipos
Oca	503	181	135	20	1.279	714
Papalisa	200	42	239	20	432	343
Isaño	80	33	78	15	160	131

El uso de técnicas derivadas de la biología molecular como apoyo al fortalecimiento de la conservación *in situ* de cultivos y variedades de tubérculos andinos también se considera un aporte de las técnicas desarrolladas *ex situ* para un mejor entendimiento de la dinámica de la evolución y conservación de la diversidad *in situ*. Se han hallado pocos reportes para tubérculos en esta área. El más reciente es el desarrollado por Emshwiller (2004), quien utilizó marcadores moleculares (tipo AFLPs, polimorfismos por segmentos de longitud amplificada) para comparar datos moleculares con la etnotaxonomía de la oca en comunidades de Cuzco (Perú) y para realizar estudios de los patrones geográficos de la variabilidad genética de este cultivo.

Usos potenciales de tubérculos en los Andes centrales

La erosión genética es una realidad no discutida, pero también son muchos los esfuerzos para frenar esta realidad. Sin embargo, la creación de bancos de germoplasma o los esfuerzos de fortalecer la conservación *in situ* de la agrobiodiversidad no serán suficientes si no se incrementan las posibilidades de uso de los recursos genéticos, como los tubérculos andinos, pues es una lección aprendida que aquello que no se usa se pierde o se desecha. Al tomar en cuenta a los conocimientos locales y populares de usos en procesos de investigación

contribuiría a la conservación sostenible de los recursos genéticos, adicionando un valor a estos recursos a través de la identificación de usos alternativos. Por ejemplo, la industrialización de los tubérculos andinos podría garantizar un mayor acceso a los mercados urbanos. Sin embargo, las posibilidades de incrementar el uso y consumo de la diversidad de estos tubérculos dependerá del conocimiento que se tenga sobre sus principales componentes químicos y de las características físicas, nutricionales y funcionales que se atribuyen para orientar sus posibles usos y aplicaciones.

La información recopilada de estudios realizados en Ecuador, Perú y Bolivia sobre la composición química y valor nutricional de los tubérculos andinos en términos de cantidad y calidad muestra una interesante variabilidad de los contenidos de materia seca, proteína y carbohidratos solubles en variedades de estos cultivos, lo que da pautas para orientar su valor de opción futura. En forma general, los tubérculos andinos son buenas fuentes de almidón, que podrían ser aprovechadas en la industria como posibles fuentes de amiláceas que substituyan total o parcialmente a las fuentes tradicionales. También se tienen datos de caracterización fitoquímica (tabla 3), identificando los principales metabolitos secundarios, útiles en términos de sus propiedades medicinales, alimenticias y estructurales, así como potenciales fuentes de principios activos con aplicación en diferentes áreas de la industria. Como se puede apreciar

Tabla 3: Composición química de tubérculos andinos. Datos expresados en base seca de muestra entera (basado en Espín *et al.* (2004). Abreviación: mf = materia fresca.

Parámetro	Oca	Papalisa	Isaño
Humedad (%)	77.73	84.34	88.70
Cenizas (%)	3.39	5.93	4.81
Proteína (%)	4.60	10.01	9.17
Fibra (%)	2.16	2.63	5.86
Extracto etéreo (%)	1.66	1.24	4.61
Carbohidrato total (%)	88.19	80.12	75.40
Ca (%)	0.012	0.02	0.006
P (%)	0.14	0.263	0.32
Mg (%)	0.0065	0.107	0.11
Na (%)	0.018	0.03	0.044
K (%)	1.30	2.48	1.99
Cu (ppm)	2.25	10.71	9.00
Fe (ppm)	48.85	59.42	42.00
Mn (ppm)	5.35	9.19	7.00
Zn (ppm)	5.95	23.94	48.00
I (ppm)	3.65	-	-
Almidón (%)	42.17	70.50	46.92
Azúcar total (%)	9.68	6.63	42.81
Azúcares reductores (%)	7.62	-	35.83
Energía (Kcal/100g)	399.0	412.0	440.0
Vitamina C (mg/100 g mf)	34.53	26.03	77.37
Eq. Retinol / 100 mf	-	-	73.56
Acido oxálico/100 g mf	82.93	-	-

en la tabla 3, los tubérculos andinos son ricos en carbohidratos, siendo la oca la que presenta el contenido mayor (88.19%). Los carbohidratos solubles, almidón y azúcares presentan una distribución casi equitativa en isaño, en cambio en papalisa y oca, el principal componente es el almidón. Estos componentes presentan importantes características como es la alta digestibilidad de los almidones (alrededor del 90%), que supera a la digestibilidad del almidón del trigo (Espín *et al.* 2004). En cuanto a proteínas, la papalisa presenta el valor más alto, seguido por el isaño. Espín *et al.* (2004)

indican también que la digestibilidad de las proteínas, particularmente de la oca es alta en el orden del 91.78%.

Los elementos protectores constituyen las vitaminas y las sales minerales. Respecto a los minerales, la papalisa presenta el valor más alto de potasio (K), seguido por el isaño. En cuanto a sodio (Na) presentan bajos valores, lo que puede ser aprovechado para dietas de personas con problemas de hipertensión que requieren alimentos ricos en potasio y bajo contenido de sodio. Las vitaminas son vitales para el crecimiento y mantenimiento del organismo y necesarias para

varias actividades metabólicas del mismo. Dentro de las vitaminas solubles en agua se identificó que el isaño es la especie más rica en vitamina C y en provitamina A, expresado como equivalentes de retinol (ER) (Espín *et al.* 2004).

Como se mencionó en párrafos anteriores, los tubérculos andinos son fuentes importantes de energía, debido al contenido de almidón. Los diferentes tipos de almidones se diferencian entre sí por el tamaño de los gránulos, su apariencia, sus características físicas y su constitución química, pues existen almidones que están constituidos por una mayor cantidad de amilasa y otros de amilopectina. Los primeros tienen importancia en el campo de las fibras y plásticos y los segundos en el campo alimenticio (Inatsu *et al.* 1983 cit. en Espín *et al.* 2004). En las tablas 4 y 5 se dan referencias de estudios realizados en Ecuador sobre la caracterización física de los almidones de

tubérculos andinos y el contenido de amilasa y amilopectina de éstos. El almidón es materia prima para la fabricación de numerosos productos como dextrosa, alcohol, sorbitol, glucósidos metílico, etílico y ácido láctico. Por ello pueden ser fuente de abastecimiento en la elaboración de sustancias orgánicas, en la industria alimenticia, textil, en la industria del papel y en la de los polímeros (Gujska *et al.* 1994 cit. por Espín *et al.* 2004). Dadas estas posibilidades de aplicaciones de los almidones, es importante conocer y estudiar los contenidos, rendimiento y calidad de los almidones de los tubérculos andinos, como posibles fuentes amiláceas que sustituyan parcial o totalmente a las materias primas tradicionales. En este sentido, el desarrollo agroindustrial y la comercialización de los tubérculos andinos ofrecen perspectivas de gran valor en la economía de los países andinos.

Tabla 4: Tamaño y forma de los gránulos de varios almidones (en base a Villacrés & Espín 1998 cit. en Espín *et al.* 2004).

Especie	Eje mayor (micras)	Eje menor (micras)	Forma
Oca	30.94 ± 2.40	19.13 ± 1.08	Ovoidal
Papalisa	24.06 ± 1.86	16.45 ± 1.85	Ovoidal
Isaño	15.00 ± 1.96	13.07 ± 1.70	Esférica
Papa	30.90 ± 1.23	19.72 ± 1.70	Ovoidal

Tabla 5: Contenido de amilasa/amilopectina, en el almidón de Tas (basado en Villacrés & Espín 1998 cit. en Espín *et al.* 2004).

Almidón	Amilasa (%)	Amilopectina (%)
Oca	30	70
Papalisa	26	74
Isaño	27	73
Papa	28	72

Referencias

- Acosta-Solís, M. 1980. Tubérculos, raíces y rizomas cultivados en el Ecuador. Pp. 175-214 En: Corral, L. & J. H. Cáceres (eds.) II Congreso Internacional sobre Cultivos Andinos, 4-8 junio 1979, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Facultad de Ingeniería Agronómica, IICA, OEA, Riobamba.
- Arbizu, C. 2004. Clasificación y morfología (Capítulo 2). pp. 5-11 En: G. López & M. Hermann (eds.). El Cultivo del Ulluco en la Sierra Central del Perú. Serie: Conservación y uso de la biodiversidad de raíces y tubérculos andinos. Una década de investigación para el desarrollo (1993-2003). No.3. Centro Internacional de la Papa, Universidad Nacional del Centro, Instituto Vida en los Andes, Universidad Nacional Agraria La Molina, Agencia Suiza para el Desarrollo y la Cooperación, Lima.
- Arbizu, C. & F. Vivanco. s/a. Descriptores de mashua. Centro Internacional del Papa. Lima.
- Arbizu, C. & M. Tapia. 1992. Tubérculos andinos. Pp. 147-161 En: J. Hernández & J. León (eds.). Cultivos Marginados: Otra Perspectiva de 1492. FAO-Producción y Protección Vegetal (26).
- Barrera, V., P. Espinosa, C. Tapia, A. Monteros & F. Valverde. 2004. Caracterización de las raíces y los tubérculos andinos en la ecoregión andina del Ecuador (Capítulo 1). pp. 3-30 En: V. Barrera, C. Tapia & A. Monteros (eds.). Raíces y Tubérculos Andinos: Alternativas para la Conservación y Uso Sostenible en el Ecuador. Serie: Conservación y uso de la biodiversidad de raíces y tubérculos andinos. Una década de investigación para el desarrollo (1993-2003). No.4. Instituto Nacional Autónomo de Investigaciones agropecuarias, Centro Internacional de la Papa, Agencia Suiza para el Desarrollo y la Cooperación, Quito - Lima.
- Cadima, X., García, W. & J. Ramos (eds) 2003a. Conservación y producción de la papalisa (*Ullucus tuberosus*). Documento de trabajo No.23. Fundación PROINPA. Programa Colaborativo de Manejo, Conservación y Uso de la Biodiversidad de Raíces y Tubérculos Andinos (PBRTAs). Proyecto Papa Andina, Cochabamba. 84 p.
- Cadima, X., García, W. & F. Patiño. (eds) 2003b. El isaño (*Tropaeolum tuberosum* R&P). Avances en la investigación de un cultivo subutilizado. Documento de trabajo No.24. Fundación PROINPA. Programa Colaborativo de Manejo, Conservación y Uso de la Biodiversidad de Raíces y Tubérculos Andinos (PBRTAs). Proyecto Papa Andina. Cochabamba. 49 p.
- Caicedo, C., L. Muñoz, A. Monteros & C. Tapia. 2004. Producción agroecológica y limpieza de virus de melloco (Capítulo 3). pp. 75-90 En: V. Barrera, C. Tapia & A. Monteros (eds.). Raíces y Tubérculos Andinos: Alternativas para la Conservación y Uso Sostenible en el Ecuador. Serie: Conservación y uso de la biodiversidad de raíces y tubérculos andinos. Una década de investigación para el desarrollo (1993-2003). No.4. Instituto Nacional Autónomo de Investigaciones agropecuarias, Centro Internacional de la Papa, COSUDE, Quito y Lima.
- Cárdenas, M. 1989. Manual de plantas económicas de Bolivia. Segunda Edición. Editorial Los Amigos del Libro, La Paz y Cochabamba. 333 p.
- Castillo, R., J. Estrella & C. Tapia. 1991. Técnicas para el manejo y uso de los recursos fitogenéticos. Departamento Nacional de Recursos Fitogenéticos y Biotecnología, INIAP, Quito. 248 p.
- Cronquist, A. 1981. An integrated system of classification of flowering plants. Colombia University Press, Nueva York.
- Darlington, C.D. & A. Janaki. 1945. Chromosome atlas of cultivated plants. Londres.
- Del Río, C. A. 1990. Análisis de la variación isoenzimática de oca (*Oxalis tuberosa* Molina) y su distribución geográfica. Tesis Licenciado en Biología, Universidad Ricardo Palma, ciudad. 61 p.
- Emshwiller, E.A. 1999. Origins of domestication and polyploidy in the Andean Tuber Crop *Oxalis tuberosa* Molina (Oxalidaceae). Tesis PhD, Cornell University, Ithaca.
- Emshwiller, E.A. 2004. Patrones de diversidad genotípica en el cultivo de la oca (*Oxalis tuberosa* Mol.) - Datos de marcadores AFLP comparados con la etnotaxonomía. En: Congreso Internacional de Cultivos Andinos (XI, 2004, Cochabamba). [Memorias].

- Fundación para la Promoción y la Investigación de Productos Andinos (PROINPA), Cochabamba.
- Espín S., E. Villacrés & B. Brito. 2004. Caracterización físico-química nutricional y funcional de raíces y tubérculos andinos. (Capítulo 4). pp. 71-116 En: V. Barrera, C. Tapia & A. Monteros (eds.). Raíces y Tubérculos Andinos: Alternativas para la Conservación y Uso Sostenible en el Ecuador. Serie: Conservación y uso de la biodiversidad de raíces y tubérculos andinos. Una década de investigación para el desarrollo (1993-2003). No.4. Instituto Nacional Autónomo de Investigaciones agropecuarias, Centro Internacional de la Papa, COSUDE, Quito-Lima..
- Espinoza, P., R. Vaca, J. Abad & C.C. Crissman. 1996. Raíces y tubérculos andinos, cultivos marginados en el Ecuador. Situación actual y limitaciones para la producción. Centro Internacional de la Papa-Estación Quito. Departamento de Ciencias Sociales, Quito. 178 p.
- García, W. & X. Cadima (eds). 2003. Manejo sostenible de la agrobiodiversidad de tubérculos andinos: Síntesis de investigaciones y experiencias en Bolivia. Conservación y uso de la biodiversidad de raíces y tubérculos andinos: Una década de investigación para el desarrollo (1993-2003). 1. Fundación PROINPA, Alcaldía de Colomi, Centro Internacional de la Papa (CIP), Agencia Suiza para el Desarrollo y la Cooperación (COSUDE), Cochabamba. 208 p.
- García, W., X. Cadima, F. Terrazas & A. Gandarillas. 2003. La agrobiodiversidad sostenible: conservación *in situ* y *ex situ*. Pp. 2-12 En: García, W. & X. Cadima (eds) Manejo Sostenible de la Agrobiodiversidad de Tubérculos Andinos: Síntesis de Investigaciones y Experiencias en Bolivia. Conservación y Uso de la Biodiversidad de Raíces y Tubérculos Andinos: Una Década de Investigación para el Desarrollo (1993-2003). 1. Fundación PROINPA, Alcaldía de Colomi, Centro Internacional de la Papa (CIP), Agencia Suiza para el Desarrollo y la Cooperación (COSUDE), Cochabamba.
- Gaspar, S. 1998. Caracterización morfológica y nivel de ploidía en cultivares de Oca (*Oxalis tuberosa* M.), Papalisa (*Ullucus tuberosus* C.), e Isaño (*Tropaeolum tuberosum* R.) Tesis Ing. Agronómica, Univesidad Mayor de San Simón, Cochabamba.
- Gibbs, E., D. Marshall & D. Brunton. 1978. Studies on the cytology of *Oxalis tuberosa* and *T. tuberosum*. Royal Botanic Garden, Kew.
- Gonzales, S., Almanza, J., Oros, R. & A. Devaux. 2003. Producción de oca (*Oxalis tuberosa*), papalisa (*Ullucus tuberosus*) e isaño (*Tropaeolum tuberosum*): Avances en la investigación del manejo agronómico. Documento de trabajo No.22. Fundación PROINPA. Programa Colaborativo de Manejo, Conservación y Uso de la Biodiversidad de Raíces y Tubérculos Andinos (PBRTAs). Proyecto Papa Andina, Cochabamba. 50 p.
- Grau, A., R. Ortega Dueñas, C. Nieto Cabrera & M. Hermann. 2003. Mashua (*Tropaeolum tuberosum* Ruiz and Pav.) promoting the conservation and use of underutilized and neglected crops. 25. International Potato Center, Lima, Perú/International Plant Genetic Resources Institute, Roma. 65 p.
- Gujska, E., D. Reinhard, K. Khan. 1994. Physicochemical properties of field pea, pinto and navy bean starches. J. Food Sc. 59(3): 634-636.
- Hermann, M. 1992. Raíces y tubérculos andinos: prioridades de investigación para un recurso alimentario pospuesto. Centro Internacional de la Papa, Lima.
- Huynh, K.L. 1967. Caryosystematique dans le genre *Tropaeolum* L.1: *T. cochabambae* Buch., *T. pubescens* H.B.K. et *T. tricolor* Sweet. Bulletin de la Societé Botanique de Suisse 77: 309-313.
- Inatsu, O., I. Maeda, J. Nobuko & K. Takahashi. 1983. Some properties of Edible Canna Starch produced in Taiwan. Soc. Sci. 30(1): 38-47.
- INE (Instituto Nacional de Estadística), 1999. Estadísticas agropecuarias 1984-1998. La Paz. 207 p.
- INIEA (Instituto Nacional de Investigación y Extensión Agraria). 2004. Tríptico Proyecto Conservación, Manejo y Uso Sostenible de la Biodiversidad de Raíces y Tubérculos Andinos en la Sierra del Perú. Dirección General de Investigación Agraria (www.inia.gob.pe/genetica/tritipico_PRY-INIA-COSUDE.pdf).
- IPGRI/CIP. 2001. Descriptores de oca (*Oxalis tuberosa* Mol.). Instituto Internacional de Recursos

- Filogenéticos, Centro Internacional de la Papa, Lima. 52 p.
- IPGRI/CIP. 2003. Descriptores de ullucus (*Ullucus tuberosus*). Instituto Internacional de Recursos Filogenéticos - Centro Internacional de la Papa, Lima. 42 p.
- Jarvis, D., L. Myer, H. Klemick, L. Guarino, M. Smale, A. Brown, M. Sadiki, B. Sthapit & T. Hodgkin. 2000. A training guide for *in situ* conservation on-farm. Versión 1. International Plant Genetic Resources Institute, Roma. 160 p.
- Johns, T. & G.H.N. Towers. 1981. Isothiocyanates and thioureas in enzyme hydrolysates of *Tropaeolum tuberosum*. *Phytochemistry* 20: 2687 – 2689.
- León, J. 1964. Plantas alimenticias andinas. Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas-Zona Andina. Lima, Perú. Boletín Técnico (6): 5-34.
- Lescano, J.L. 1994. Genética y mejoramiento de cultivos altoandinos. Programa interinstitucional de Waru Waru. Proyecto Especial Binacional. Convenio INADE/PELT COTESU. La Paz.
- López, G. 2004. Tubérculos-semilla (Capítulo 7). pp. 83-104. En: G. López & M. Hermann (eds.). El Cultivo del Ulluco en la Sierra Central del Perú. Serie: Conservación y uso de la biodiversidad de raíces y tubérculos andinos. Una década de investigación para el desarrollo (1993-2003). No.3. Centro Internacional de la Papa, Universidad Nacional del Centro, Instituto Vida en los Andes, Universidad Nacional Agraria La Molina, Agencia Suiza para el Desarrollo y la Cooperación, Lima.
- NRC (National Research Council). 1989. Lost crops of the Incas. Little-known plants of the Andes with promise for worldwide cultivation. National Academy Press. Washington, D.C.
- Pastor, S., A. Campana, C. Uchima, T. Medina, T. Sauñi, L. Calua, S. Dávila, R. Becerra, J. Ríos, S. Altamirano, M. Huacachi, A. Martínez, J. Fernández, V. Gonzales, J. Llacsá, V. Ruiz, F. Huamán, W. Ríos, P. Díaz, W. Mamani, P. Ramírez, S. Iman & M. Holle. 2004. Conservación *in situ* de los cultivos nativos en el Perú: Experiencias del INIA en el contexto de un proyecto nacional. En Congreso Internacional de Cultivos Andinos (XI, 2004, Cochabamba), Fundación para la Promoción y la Investigación de Productos Andinos (PROINPA).
- Rea, J. 2004. Soberanía alimentaria y sistemas bolivianos andinos. XI Congreso Internacional de Cultivos Andinos. Fundación PROINPA, Consejo Interuniversitario de Bélgica, CIUF, Cochabamba.
- Repo, R. & J. Kameko. 2004. Procesamiento (Capítulo 9). pp. 119-133. En: G. López & M. Hermann (eds.). El Cultivo del Ulluco en la Sierra Central del Perú. Serie: Conservación y uso de la biodiversidad de raíces y tubérculos andinos. Una década de investigación para el desarrollo (1993-2003). No.3. Centro Internacional de la Papa, Universidad Nacional del Centro, Instituto Vida en los Andes, Universidad Nacional Agraria La Molina, COSUDE, Lima.
- Román, N.A. & J.M. García. 1997. Citogenética de *Tropaeolum tuberosum*. Resúmenes. X Congreso Internacional de Cultivos Andinos, Cuzco, Perú.
- Sparre, B. & L. Andersson. 1991. A taxonomic revision of the Tropaeolaceae. *Opera Botanica* Ser. B N° 2.
- Sperling, C.R. 1987. Systematic of the Basellaceae. Ph.D. Thesis, Harvard University, Cambridge, Massachusetts. 279 p.
- Tapia, C., R. Castillo & N. Mazón. 1996. Catálogo de Recursos Genéticos de Raíces y Tubérculos Andinos en Ecuador. INIAP-DENAREF. 180 p.
- Tapia, C., J. Estrella, A. Monteros, F. Valverde, M. Nieto & J. Córdova. 2004. Manejo y conservación de RTAs *in situ* en fincas de agricultores y *ex situ* en el banco de germoplasma de INIAP (Capítulo 2). Pp. 31-74. En: V. Barrera, C. Tapia & A. Monteros (eds.). Raíces y Tubérculos Andinos: Alternativas para la Conservación y Uso Sostenible en el Ecuador. Serie: Conservación y uso de la biodiversidad de raíces y tubérculos andinos. Una década de investigación para el desarrollo (1993-2003). No.4. Instituto Nacional Autónomo de Investigaciones Agropecuarias, Centro Internacional de la Papa, Agencia Suiza para el Desarrollo y la Cooperación, Quito-Lima.
- Terrazas, F. & G. Valdivia. 1998. Spatial dynamics of *in situ* conservation: handling the genetic

- diversity of Andean tubers in mosaic systems. Plant Genetic Resources Newsletter. FAO/IPGRI (114): 9-15.
- Torrice, E., X. Cadima, J. Zeballos, J. Gabriel & J.A. Rojas. 2004. Análisis de los niveles de ploidía en papa, oca e isaño conservadas en el banco nacional de tubérculos y raíces andinas utilizando técnicas citogenéticas y moleculares. En Congreso Internacional de Cultivos Andinos (XI, 2004, Cochabamba), Fundación para la Promoción y la Investigación de Productos Andinos (PROINPA).
- Ugarte, M.L. & J. P. Baudoin. 2004. Conservación *ex situ* de tubérculos andinos análisis de datos de la diversidad genética de la oca (*Oxalis tuberosa* Mol.). Congreso Internacional de Cultivos Andinos (XI, 2004, Cochabamba), Fundación para la Promoción y la Investigación de Productos Andinos (PROINPA).
- Valladolid, A, C. Arbizu, & D. Talledo. 1994. Niveles de ploidía de oca (*Oxalis tuberosa* Mol.) y sus parientes silvestres. Agro Sur 22: 11-12.