

Revisión

Propiedades funcionales de tubérculos nativos de la región andina de Chimborazo (Ecuador): una revisión

Lourdes Benítez Santillán^{1,2}, M. J. Pagán Moreno¹, J. Martínez-Monzó¹, Purificación García-Segovia^{1,3}

¹Departamento Tecnología de los Alimentos. Universitat Politècnica de València. ²Grupo CEPIAD. Facultad de Salud Pública. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. ³Becaria PROMETEO-SENESCYT en la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

Resumen

La región andina de Chimborazo en Ecuador está situada en la zona central de la Región Interandina. La alimentación de las comunidades es esencialmente a base tubérculos (patata, oca, melloco y mashwa), granos (maíz, quinua y amaranto) y de leguminosas (chocho, haba, fréjol). Las características de la región han permitido la supervivencia de este tipo de cultivos que presentan una gran variabilidad en colores, formas y tamaños, y están asociados con cantidad de macro y micronutrientes, además de compuestos bioactivos. El objetivo de este trabajo es revisar los datos existentes sobre los componentes con potencial funcional presentes en los cultivos de tubérculos nativos de la región. Esta información servirá como base para la creación, en la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo (ESPOCH), de una línea de investigación que estimule la conservación de estos cultivos como fuente de alimentos funcionales naturales.

Palabras clave: *Cultivos agrícolas. Ecosistema andino. Antioxidantes. Carotenoides. Polifenoles.*

Introducción

La región andina de Chimborazo en Ecuador está situada en la zona central de la Región Interandina. Para entender la dieta de su población, es necesario reconocer que el aporte de los cultivos andinos es básico. En las comunidades rurales de los Andes, la alimentación es esencialmente a base de vegetales, predominando los tubérculos (patata, oca, melloco y mashwa), que son ricos en hidratos de carbono, pero pobres en algunos aminoácidos esenciales.

Las carencias nutricionales de los tubérculos se compensan con el consumo de granos (maíz, quinua y ama-

FUNCTIONAL PROPERTIES IN ANDEAN NATIVE TUBERS: A REVIEW

Abstract

Chimborazo in Ecuador is located in the Middle Inter-Andean region. People from this region have utilized native tubers for their nutritional and medicinal properties since prehispanic time. The health-related properties of Andean tuber crops claimed from folklore use could be in part attributed to the antioxidants present in these crops. Currently there is a high interest in the search for edible plants as novel sources of health-promoting phytochemicals. Andean crops show variability in colors, forms and sizes, and also in primary nutrient constituents and bioactive secondary metabolites derived of a great genetic diversity, unfortunately poorly studied. The objective of this work is to review the existing data on the components with functional properties in the native tubers. The information extracted in this paper should serve to stimulate an increase in the evaluation of these crops as sources of functional foods, as well as to introduce a new research program in the Escuela Superior Politecnica de Chimborazo (ESPOCH).

Key words: *Agricultural cultivation. Andean ecosystem. Antioxidants. Carotenoids. Polyphenols.*

ranto), ricos en lisina y metionina, y de leguminosas (chocho, haba, fréjol)¹.

Las especiales características culturales, climáticas y edafológicas de la región han permitido la supervivencia de este tipo de cultivos, aunque se ha perdido parte de la variabilidad genética de los mismos, en lo que se ha definido como erosión genética². Los cultivos andinos presentan una gran variabilidad en colores, formas y tamaños, que les permiten suponer una gran cantidad de nutrientes primarios (macro y micro) además de compuestos bioactivos³.

Aunque se supone que muchas de las propiedades que la tradición cultural de los pueblos andinos han dado a estos cultivos pueden atribuirse a los antioxidantes presentes en ellos, son muy pocos los datos científicos de los que se dispone acerca de la naturaleza química o la identificación de los compuestos bioactivos que contienen y menos todavía a cerca de la biodisponibilidad de los mismos.

Correspondencia: Purificación García-Segovia.
Departamento Tecnología de Alimentos.
Universitat Politècnica de València.
Camino de Vera, s/n.
46022 Valencia.
E-mail: pugarse@tal.upv.es

El objetivo de este trabajo es el de revisar los datos existentes sobre los componentes potencialmente funcionales presentes en los cultivos andinos de la región de Chimborazo, centrandó la atención en tubérculos nativos (mashua, patata, oca y melloco). Esta información servirá como base para la creación en la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo (ESPOCH) una línea de investigación que estimule la conservación de estos cultivos como fuente de alimentos funcionales naturales.

Patata (*Solanum tuberosum*)

Según Ochoa (4), existen nueve especies diferentes de patatas: *S. goniocalyx*, *S. phureja*, *S. stenotomun*, *S. tuberosum*, *S. ajanhuiri*, *S. chaucha*, *S. juzepczukii*, *S. curtilobum* y *S. tuberosum spp. andigenum*. Cada una de estas especies, tiene sus características propias, así como sus adaptaciones altitudinales de hasta 4.300 m.

El cultivo de patata es uno de los más importantes del mundo, con impacto económico y social en al menos 120 países. En muchos países de la cordillera Andina de Sudamérica, es el principal tipo de cultivo agrícola (figura 1).

La patata es un tubérculo y por tanto su valor nutricional se debe al alto contenido en almidón, que proporciona hidratos de carbono como fuente de energía, puede considerarse fuente de proteínas de alto valor biológico y tiene notable contenido de vitaminas C, B6 y B3, potasio, fósforo y magnesio. Pero además las patatas son una importante fuente de compuestos funcionales, especialmente compuestos fenólicos y carotenoides^{5,6}. Las evidencias que relacionan estos compuestos fitoquímicos con los potenciales beneficios para la salud (prevención de enfermedades crónicas como el cáncer, enfermedades cardiovasculares y degenerativas) ha hecho que en la última década se preste especial atención al estudio de su presencia, evolución y cambios a lo largo de los procesos productivos y de almacenamiento tanto en productos frescos como sometidos a diferentes tipos de tratamientos culinarios⁹.

Los compuestos fenólicos que son considerados como bioactivos se clasifican en tres grupos: ácidos fenólicos, flavonoides y taninos. En la patata el compuesto fenólico más importante es el ácido clorogénico que es biodis-



Fig. 1. —Imagen que muestra distintas variedades de patatas andinas (*Solanum sp.*).

ponible para humanos y constituye entre el 80-90% del total del contenido de polifenoles^{9,10}.

En el caso de los carotenoides hay más de 750 tipos conocidos cuyos colores van desde el amarillo pálido hasta el rojo intenso¹⁰⁻¹². El perfil de carotenoides y sus concentraciones en patatas andinas presenta correlación positiva con la intensidad del color amarillo en la pulpa de las mismas¹³. Así en variedades de pulpa de color amarillo intenso los predominantes son la zeaxantina y anteraxantina, en las patatas amarillas son violaxantina, anteraxantina, luteína y zeaxantina los carotenoides principales y en las patatas de pulpa color crema la violaxantina, luteína y β -caroteno¹⁴.

Por sus características organolépticas y su digestibilidad, las patatas no son un tipo de producto que pueda consumirse en fresco, de forma que necesitan un proceso de transformación culinaria, que puede ser cocción, fritura o asado. Teniendo en cuenta esto y que la concentración final y la estabilidad de los compuestos bioactivos, depende de factores tanto físicos (luz, temperatura, tiempo y técnica de cocción), como químicos (pH, actividad enzimática, presencia de ácido ascórbico, azúcares), así como del genotipo, factores agronómicos (tipo suelos, condiciones ambientales...) y almacenamiento post cosecha^{15,16}, algunos investigadores han centrado su atención en los últimos años en la influencia de estos factores sobre los compuestos fitoquímicos¹⁷.

Se han llevado a cabo trabajos sobre la identificación de diferentes cultivos de patatas de forma que se evalúe el contenido de compuestos bioactivos con el fin de seleccionar aquellas que presentaban un mejor perfil nutricional^{11,13}. En el trabajo de Andre et al. sobre cultivos de patatas Andinas, se concluyó que estos tubérculos no sólo tienen un alto contenido en vitamina C como todas las patatas, sino que además presentan notables cantidades α -tocoferol, β -caroteno, zeaxantina, ácido clorogénico y petanina, lo que puede constituir una oportunidad de promover el cultivo de patatas nativas por su alta calidad nutricional¹¹.

Las estrategias de mejora de los cultivos y de optimización de las variedades no tendrían mucho sentido si los componentes bioactivos no se mantienen en cantidades razonables tras los procesos culinarios a los que deben ser sometidas las patatas para su consumo. La cocción o asado de las patatas con piel se presenta como los mejores métodos para mantener los compuestos fenólicos totales frente a la opción de cocinado sin piel. Diversos trabajos muestran los resultados de los cambios que se observan en los compuestos fitoquímicos en patatas cocinadas¹⁸⁻²⁴. Se han encontrado pérdidas significativamente mayores de compuestos fenólicos entre patatas peladas y sin pelar, así como entre las cocidas y asadas. Parece que las migraciones de estos compuestos, más abundantes en la piel, hacia el córtex y tejidos internos durante la cocción podrían justificar este comportamiento¹⁸.

En los estudios de cocción a microondas las pérdidas de estos compuestos son dependientes de la potencia aplicada, pero de forma general se observan menores pérdidas para patatas sin pelar frente a las peladas y pér-

didadas menores en microondas frente la cocción tradicional¹⁹. Los procesos de cocción provocan cambios tanto en el contenido como en la composición de los polifenoles, estos cambios se han atribuido a la combinación de pérdidas debidas a lixiviación en el agua de cocción, la degradación por efecto del calor, la acción de la polifenol oxidasa y por isomerización²⁰.

En los distintos trabajos sobre el efecto de las diferentes procesos de cocinado de patatas hay resultados controvertidos. En el trabajo de Navarre et al.²² sobre tres tipos de cultivos de patatas diferentes, cocinadas a microondas, hervidas, al vapor y asadas, ninguno de los procesos de cocinado producía un descenso en la cantidad total de compuestos fenólicos, sino más bien se producía un incremento no significativo de la fracción extraíble de fenoles totales (FT). Con el respecto al ácido clorogénico (AC) observaron que al igual que para los FT, o bien no se producía ningún cambio o se incrementaba, no significativamente, después del cocinado (sin importar el proceso). Por el contrario, en el estudio de Dao y Friedman²³ publicado en 1992, se presentaban resultados de destrucción total del AC en patatas asadas, con un 60% de degradación en la cocción en agua y un 46% de pérdida en microondas. En el trabajo de Im et al.²⁴, se evalúan los cambios del AC en siete tipos de cocción diferentes, dando pérdidas de un 70% para el hervido en agua con un 3% de sal, donde los autores interpretan este descenso por efecto de la lixiviación de los compuestos solubles. En este trabajo el efecto del asado producía solo un 5% de pérdida y en el microondas también se encontró un 45% de degradación del AC. En otros trabajos realizados sobre patatas cortadas en tiras sometidas a diferentes procesos de cocinado se observó una retención del 42% del AC en la cocción al vapor y sólo un 24% se mantenía tras la fritura. En su estudio sobre el perfil antioxidante de diferentes genotipos de patatas Stushnoff et al.²⁵ observaron que las pérdidas de fenoles totales eran mayores cuando se asaban a 170° C mientras que el microondas (1 min/30 g y potencia de 700 W) o el hervido durante 30 min presentaban reducciones menores. Por otra parte el trabajo de Faller y Fialho²¹ presentaba como resultados, comparando entre vegetales de cultivos orgánicos y convencionales, que tanto el hervido, el cocinado en microondas y la cocción al vapor provocaban un descenso en el contenido en polifenoles. No obstante, la recuperación de polifenoles fue mayor en el hervido, seguido del microondas y al vapor. Observaron que contrariamente a lo que ocurría en otros vegetales (como zanahorias, calabazas o cebollas) los procesos de cocción provocaban un incremento en la capacidad antioxidante de las patatas justificándose por una mejor extracción de estos compuestos durante los procesos de cocción.

Con respecto a los carotenoides, como ya se ha mencionado arriba, los compuestos más significativos, según la variedad de patata, son la luteína y la zeaxantina²⁶⁻²⁸.

Burgos et al.²⁷ al evaluaron y clasificaron 23 genotipos de *Solanum phureja* en tres grupos según el perfil de carotenoides que presentaban, mediante espectrofotometría y HPLC. Así, el grupo 1 (de pulpas amarillo y amarillo intenso) presentó el mayor valor de concentraciones de carotenoi-

des totales (1.258-1.840 µg) formado en gran parte por la presencia de zeaxantina (658-1.290 µg) con muy baja presencia o ausencia de β-caroteno (< 5,4 µg). En el grupo 2 (genotipos de pulpas amarillas a amarillo claro) presentaban moderadas concentraciones de carotenoides totales, siendo la violaxantina, anteraxantina, la luteína y la zeaxantina, los más importantes. El último grupo (con pulpas de color crema) presentó muy bajas concentraciones de carotenoides totales (97-262 µg) y muy baja o nula concentración de zeaxantina, luteína y violaxantina y concentraciones relativamente altas de β-caroteno (hasta 27 µg). Se mostró una correlación positiva significativa en la concentración total de carotenoides con anteraxantina y de zeaxantina con la intensidad de color amarillo en las pulpas de las patatas; y una correlación negativa concentración de β-caroteno con concentración total de carotenoides.

En estudios posteriores se determinó el perfil de carotenoides en patatas sometidas a cocción en agua, siguiendo la misma metodología para el mismo tipo de patatas andinas con diferentes intensidades de color amarillo en sus pulpas²⁸. Se detectaron cambios significativos debidos a la cocción, observándose una reducción significativa en la violaxantina y anteraxantina en todos los casos. Sin embargo, las cantidades de luteína y la zeaxantina o no se vieron afectadas o fueron mayores que en los tubérculos frescos. Así las patatas con pulpas de color intermedio (grupo 2) mostraron alto contenido de luteína (en torno a 200 lg) y las que tienen una intensidad de color mayor (grupo 1) presentaron una mayor concentración de zeaxantina (alrededor de 1.000 lg) tanto en los tubérculos frescos como en los hervidos.

En el trabajo de Blessington et al.²⁹ se comparaban las pérdidas de carotenoides usando diferentes métodos de cocinado como el asado en horno, el hervido, la fritura y el microondas. En el contenido de carotenoides totales se observaron menores las pérdidas en el hervido frente a los tubérculos frescos, pero no se detectaron diferencias significativas entre los diferentes métodos de cocción.

La mayor parte de los estudios revisados señalan la importancia no sólo de estudiar y cuantificar el contenido de compuestos activos si no la necesidad de evaluar la biodisponibilidad de los compuestos fenólicos en las patatas después de ser sometidas a cualquier proceso de cocción, con el fin de determinar su contribución real a la salud del consumidor.

Mashwa (*Tropaelum tuberosum*)

En los Andes del Ecuador, la mashwa o mashua, se cultiva actualmente en las pequeñas parcelas de indígenas y campesinos, asociada con el resto de tubérculos andinos (melloco, oca y patatas nativas) por lo que resulta difícil conocer su nivel producción. Son consumidos por la población indígena principalmente, tanto formando parte de su dieta diaria, como formando parte de platos típicos de ocasiones especiales (bautizos, bodas...) (figura 2). La producción anual (datos obtenidos del MAGAP directamente) en la región de Chimborazo fue 11 TM.

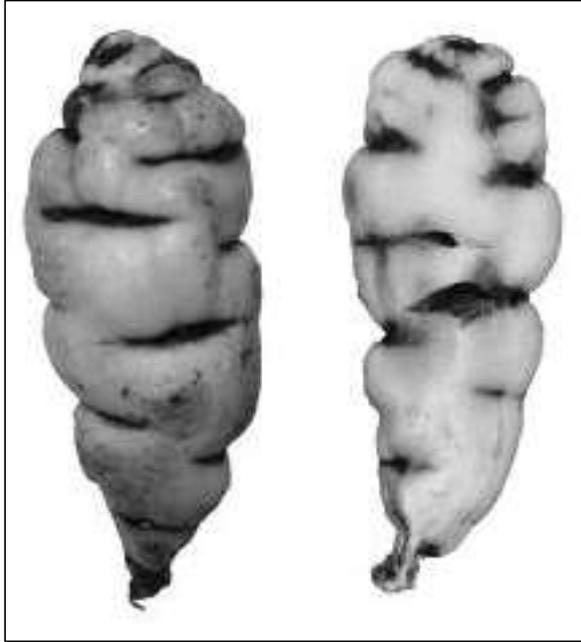


Fig. 2.—Imagen donde se expone la Mashua (*Tropaeolum tuberosum*).

Parece comprobado que la mashua tiene propiedades bactericidas, nematocidas, fungicidas, insecticidas y repelentes de insectos. Estas propiedades se deben al contenido de principios activos que poseen (isotiocianatos) y han hecho que las comunidades indígenas siembren este tubérculo intercalado con otros tubérculos más susceptibles como la patata, oca y melloco¹. En lo que se refiere a su valor nutricional, algunas variedades de mashua, pueden contener apreciables cantidades de carotenoides, vitamina C (77 mg/100 g), calcio (12 mg/100 g) y hierro (1,0 mg/100 g).

Son muy pocos los trabajos de investigación sobre los compuestos bioactivos presentes en mashua. En 2006 Campos et al.³ investigaron 11 genotipos de mashua proporcionados por el Centro Internacional de la Patata (CIP) (Lima, Perú). En los tubérculos se analizó el contenido de polifenoles totales (FT), antocianinas (ANT), carotenoides totales (CT), capacidad antioxidante de los compuestos hidrofílicos (CAH) y capacidad antioxidante de la fracción lipofílica (CAL). Así los resultados obtenidos para FT en mashua se encontraban entre 0,92 to 3,37 mg/g. De los 11 genotipos estudiados los que presentaban pigmentaciones moradas mostraron un mayor contenido en FT frente a los genotipos con pulpas amarillas. Para las antocianinas (ANT) para los genotipos de mashua pigmentados presentaron valores de 0,5 a 2,05 mg/g. Estos datos son significativamente mayores a los reportados por otros autores para rábanos (0,30 mg/g), col morada (0,25 mg/g), fresas (0,15–0,3 mg/g) y frambuesas (0,3–0,4 mg/g). Los ANT son el compuesto principal de los FT en los genotipos pimentados de mashua³⁰, donde la relación entre ANT/FT es de 0,3–0,67. El contenido en CT se hallaba entre 1–25 μg β -caroteno/g. El contenido de carotenoides en mashua es relativamente alto comparado con la mayoría de las patatas comerciales²⁶ aunque no tanto como los presentes en tomates (56–210 $\mu\text{g/g}$), mango (74,3 $\mu\text{g/g}$) o zanahorias (90 $\mu\text{g/g}$)³⁰.

En lo que respectaba a la capacidad antioxidante hidrofílica (CAH) expresada como equivalentes Trolox (TE) presentó valores de 955 a 9.800 $\mu\text{g TE/g}$. La presencia de perfiles diferentes de compuestos fenólicos en los diferentes genotipos de mashua hace que exista una baja correlación entre la presencia de ANT y CAH ($r^2 = 0,48$, $p = 0,11$); y una fuerte correlación entre los FT y la CAH ($r^2 = 0,84$, $p = 0,00$)³⁰. Por último en el caso de la CAL, los valores referidos a equivalentes Trolox se encontraban entre 93 y 279 $\mu\text{g/g}$, teniendo en cuenta que esta capacidad antioxidante lipofílica sólo se encontró en aquellos genotipos que tenían carotenoides, presentando una muy baja correlación entre CAL y CT ($r^2 = 0,14$, $p = 0,058$), lo cual denota un perfil de carotenoides muy diferente para los diferentes genotipos. En general la fracción lipofílica contribuye entre el 2–19% del total de la capacidad antioxidante total de mashua.

Con el fin de evaluar las variaciones de los compuestos bioactivos identificados en mashua, Chirinos et al.³¹ evaluaron el efecto del grado de maduración y el tiempo de almacenamiento post-recolección. De este modo concluyeron que en general la correlación entre la capacidad antioxidante y el contenido en compuestos bioactivos varía notablemente entre los diferentes genotipos. En resumen, el alto contenido en polifenoles totales, flavonoles, antocianinas y carotenoides presentes en los diferentes cultivares de mashua indican que pueden ser considerados como una fuente de antioxidantes. La recolección tras de 6 meses muestra una mayor capacidad antioxidante, aunque es a partir de los 7 meses cuando el tubérculo presenta un mayor contenido en carotenoides y antocianinas en genotipos de pulpa amarilla y morada respectivamente. En el almacenamiento post-recolección durante más de 7 días se producen pérdidas en la estabilidad de la mayor parte de compuestos bioactivos estudiados a excepción de los carotenoides, que se mantenían constantes³¹.

Melloco (*Ullucus tuberosus*)

El Melloco (*Ullucus tuberosus* Loz.), en Ecuador, es el segundo tubérculo en importancia tras la patata. Es parte de la alimentación de la población ecuatoriana de todos los estratos sociales y constituye un componente de los sistemas agrícolas de los pequeños agricultores de la sierra (figura 3). La producción de mellocos en la región de Chimborazo en 2014 fue de 110 TM.

El valor nutricional del melloco se puede destacar un buen contenido proteico de 4,4 a 15,7% y de carbohidratos de 73,5 a 81,1%. Un bajo contenido graso (0,1 a 1,4%) y entre el 3,6 a 5,0% de fibra cruda. Dentro de los minerales, se destaca el contenido en fósforo, lo que sería una ventaja en la alimentación humana¹.

Las diferentes variedades de melloco se caracterizan por presentar diferentes colores, tamaños y por su forma. Así se clasifican en mellocos rosados, largos y redondos, y mellocos amarillo-verdosos, redondos. La variedad de colores se relaciona con la presencia de diferentes tipos de compuestos fitoquímicos, destacando los carotenos y las antocianinas.



Fig. 3.—Imagen donde se muestran mellocos (*Ullucus tuberosum*).

En el caso de los mellocos sólo hemos encontrado en esta revisión un trabajo que presente resultado sobre los compuestos bioactivos presentes en ellos. En el trabajo de Campos et al.³ se evaluaron 15 genotipos de mellocos con el fin de cuantificar los polifenoles (FT), antocianinas (ANT), betaxantinas (BXT), betacianinas (BCT), y carotenoides (CT) presentes en ellas así como la capacidad antioxidante. Comparado con los otros tubérculos estudiados en este trabajo, los mellocos presentaban la menor cantidad de FT (0,41 a 0,77 mg/g). Los polifenoles identificados previamente en los mellocos son rutina, narcisina y kaempferol³². No se detectó presencia de antocianinas ni de carotenoides en los 15 genotipos estudiados de mellocos. Sin embargo, los mellocos presentaron cantidades betaxantinas (BXT) entre 22 y 96 mg/g, estos pigmentos se han empezado a conocer por ser fuente potencial de antioxidantes y colorantes naturales en la familia de las *Amarantaceae*³². Sólo uno de los genotipos de melloco estudiados, que presenta la piel pigmentada de rojo, contenía 64 mg/g de betacianina (BCT).

En lo que se refiere a la capacidad antioxidante hidrofílica (CAH) se obtuvieron valores entre 483 y 1.524 mg/g TE. En melloco, contrariamente a lo observado en mashua, se dio una correlación baja entre CAH y FT ($r^2 = 0,64$, $p = 0,00$). Puede deducirse de los resultados que hay un incremento en la capacidad antioxidante en genotipos con alto contenido en FT pero no es significativa. Por otro lado la CAH no se correlaciona con la cantidad de BXT, con lo que esto parece indicar que estos compuestos no tienen CAH en mellocos. No se detectó CAL en ninguno de los 15 genotipos de melloco estudiados.

Oca (*Oxalis tuberosum* Molina)

La oca (*Oxalis tuberosa*), es una especie nativa de los Andes, que ya se cultivaba en el Ecuador prehispánico, es uno de los cultivos nativos que forman la base de la dieta andina, incluso desde antes de que el maíz tomara importancia (figura 4)¹. Desde el punto de vista del valor nutri-



Fig. 4.—Imagen donde se enseñan distintas variedades de Oca (*Oxalis tuberosum*).

cional, la oca es una importante fuente de carbohidratos (90%), calcio (22 mg), hierro (1,6 mg), fósforo (36 mg), vitamina A (1,26 µg), vitamina B1 (0,05 mg), vitamina B2 (0,13 mg), niacina (0,43 mg) y vitamina C (38,40 mg).

Las tradicionales formas de consumo son hervidas, cocidas al horno, fritas, encurtidas o directamente recolectadas; aunque también pueden "asolearse". Con la exposición al sol lasocas van adquiriendo un tono más amarillo, debido la síntesis de carotenoides y se consigue además que el tubérculo se endulce. Según registros del MAGAP para la zona de Chimborazo (2014) la producción deocas fue de 47 TM.

De los 14 genotipos de Oca estudiados por Campos et al.³ el contenido en FT más alto se encontró para los que presentaban pulpas moradas frente a los genotipos de pulpa amarilla. Enocas con pigmentación morada, el contenido en ANT se hallaba entre 0,14 y 1,3 mg/g. La relación entre ANT/FT estaba entre 0,14 a 0,9. A diferencia de los mellocos el contenido en carotenoides en oca se encontró entre 2–25 mg β-caroteno/g.

Los valores de CAH encontrados para lasocas estaban entre 1637 y 4771 mg/g y una vez más se encontró una relación directa entre la capacidad antioxidante y el contenido en FT. En este caso también hay una correlación significativa entre CAH y FT ($r^2 = 0,75$, $p = 0,00$). La CAL en este caso se encontró en 69–320 mg/g, pero no había ninguna correlación entre CAL y CT, debido probablemente a los diferentes perfiles de carotenoides de los diferentes genotipos. A la fracción lipofílica enocas corresponde 1,9–10,2% del total de la capacidad antioxidante de estos tubérculos³³.

Conclusiones

Para las cuatro especies de tubérculos estudiados se puede resumir que ordenando las cantidades de FT en sentido ascendente melloco ≤ oca ≤ patatas ≤ mashua. En el caso de las ANT siguiendo el mismo sentido de clasificación se encuentran patata ≤ oca ≤ mashua. El contenido en carotenoides mashua ≈ oca ≥ patata. Si clasificamos la capacidad antioxidante hidrofílica en sentido descendente tendremos que mashua ≥ oca ≥ patatas ≥ melloco. Y con respecto a la capacidad antioxidante lipofílica tanto patata, oca o mashua presentaron resultados similares³.

Agradecimientos

Este trabajo ha sido llevado a cabo con el apoyo del programa PROMETEO de la Secretaría de Educación Superior, Ciencia, Tecnología e Innovación de la República de Ecuador.

Declaración de conflicto de intereses

No hay conflictos de interés.

Contribución de cada uno de los autores

Lourdes Benitez se encuentra realizando su tesis doctoral en el tema de productos de la región de Chimborazo (Ecuador). Ella a recopilado la información contenida en este artículo. La Dra. García ha revisado la información, la ha seleccionado, clasificado organizado y escrito la revisión. Los Dres. Martínez y Pagán han revisado, corregido y mejorado el artículo.

Referencias

1. Suquilanda Valdivieso, Manuel B. Producción Ecológica de Cultivos Andinos. [Accedido 12 agosto 2016]. Disponible en: <http://teca.fao.org/node/7011>.
2. Barrera V, Tapia C, Monteros A. (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, Ecuador-Lima, Perú. 2004; p. 176.
3. Campos D, Noratto G, Chirinos R, Arbizu C, Roca W, Cisneros-Zevallos, L. Antioxidant capacity and secondary metabolites in four species of Andean tuber crops: native potato (*Solanum sp.*), mashua (*Tropaeolum tuberosum* Ruiz & Pavon), Oca (*Oxalis tuberosa* Molina) and Ulluco (*Ullucus tuberosus* Caldas). *J Sci Food Agri* 2006; 86: 1481-8.
4. Ochoa, C.M. The potatoes of South America: Bolivia. Cambridge, University Press, Cambridge. 1990.
5. Burlingame B, Mouille B., Charrondiere R. Nutrients, bioactive non-nutrients and anti-nutrients in potatoes. *J Food Compos Anal* 2009; 22: 494-502.
6. Andre C.M, Legay S, Iammarino C, Ziebel J, Guignard C, Larondelle Y et al. The Potato in the Human Diet: a Complex Matrix with Potential Health Benefits. *Potato Res* 2014; 57: 201-14.
7. Miller P.E, Snyder D.C. Phytochemicals and cancer risk: a review of the epidemiological evidence. *Nutr Clin Pract* 2012; 27: 599-605.
8. Burmeister A, Bondiek S, Apel L, Kühne C, Hillebrand S, Fleischmann P. Comparison of carotenoid and anthocyanin profiles of raw and boiled *Solanum tuberosum* and *Solanum phureja* tubers. *J Food Comp Analysis* 2011; 24: 865-72.
9. Brown CR. Antioxidants in potato. *American Journal of Potato Research* 2005; 82: 163-72.
10. Andre CM, Ghislain M, Bertin P, Oufir M, Herrera MDR, Hoffmann L, Hausman JF. Andean potato cultivars (*Solanum tuberosum* L.) as a source of antioxidant and mineral micronutrients. *J Agric Food Chem* 2007b; 55(2): 366-78.
11. Andre CM, Oufir M, Guignard C, Hoffmann L, Hausman JF, Evers D, et al. Antioxidant profiling of native Andean potato tubers (*Solanum tuberosum* L.) reveals cultivars with high levels of β -carotene, α -tocopherol, chlorogenic acid, and petanin. *J Agric Food Chem* 2007a; 55: 10839-49.
12. Rodríguez-Amaya DB. A Guide to Carotenoid Analysis in Foods. IL-SI Press, Washington, DC. 2001
13. Fernández-Orozco R, Gallardo-Guerrero L, Hornero Mendez D. Carotenoid profiling in tubers of different potato (*Solanum sp*) cultivars: Accumulation of carotenoids mediated by xanthophyll esterification. *Food Chem* 2013; 141: 2864-72.
14. Burgos G, Salas E, Amoros W, Auqui M, Munoa L, Kimura M et al. Total and individual carotenoid profiles in *Solanum phureja* of cultivated potatoes: I. Concentrations and relationships as determined by spectrophotometry and HPLC. *J Food Comp Analysis* 2009; 22: 503-8.
15. Palermo M, Pellegrini N, Fogliano V. The effect of cooking on the phytochemical concentration of vegetables. *J Sci Food Agri* 2013; 94: 1057-70.
16. Patras A, Brunton NP, O'Donnell C, Tiwari BK. Effect of thermal processing on anthocyanin stability in foods; mechanisms and kinetics of degradation. *Trends Food Sci Tech* 2010; 21: 3-11.
17. Ezekiel R, Singh N, Sharma S, Kaur A. Beneficial phytochemicals in potato - a review. *Food Research International* 2013; 50: 487-96.
18. Mattila P, Hellstrom J. Phenolic acids in potatoes, vegetables, and some of their products. *J Food Comp Analysis* 2007; 20: 152-60.
19. Barba AA, Calabretti A, d'Amore M, Piccinelli AL, Rastrelli L. Phenolic constituents levels in cv. Agría potato under microwave processing. *Food Science and Technology* 2008, 41: 1919-26.
20. Takenaka M, Nanayama K, Isobe S, Murata M. Changes in caffeic acid derivatives in sweet potato (*Ipomoea batatas* L.) during cooking and processing. *Bioscience, Biotechnology, and Biochemistry* 2006; 70: 172-7.
21. Faller ALK, Fialho E. The antioxidant capacity and polyphenol content of organic and conventional retail vegetables after domestic cooking. *Food Research International* 2009; 42: 210-5.
22. Navarre DA, Shakya R, Holden M, Kumar S. The effect of different cooking methods on phenolics and vitamin C in developmentally young potato tubers. *Am J Pot Res* 2010; 87: 350-9.
23. Dao L, Friedman M. Chlorogenic acid content of fresh and processed potatoes determined by ultraviolet spectroscopy. *J Agri Food Chem* 1992; 40: 2152-6.
24. Im HW, Suh BS, Lee SU, Kozukue N, Ohnisi-Kameyama M, Levin CE et al. Analysis of phenolic compound by high-performance liquid chromatography and liquid chromatography/mass spectrometry in potato plant flowers, leaves, stems and tubers and in home-processed potatoes. *J Agri Food Chem* 2008; 56: 3341-9.
25. Stushnoff C, Holm D, Thomson MD, Jiang W, Thompson HJ, Joyce NI. Antioxidant properties of cultivars and selections from the Colorado potato-breeding programme. *Am J Pot Res* 2008; 85: 267-76.
26. Lu W, Haynes K, Wiley, E. Carotenoid content and color in diploid potatoes. *J Amer Soc Hort Sci* 2001; 26: 722-6.
27. Burgos G, Salas E, Amoros W, Auqui M, Muñoa L, Kimura M et al. Total and individual carotenoid profiles in *Solanum phureja* of cultivated potatoes: I. Concentrations and relationships as determined by spectrophotometry and HPLC. *J Food Comp Analysis* 2009; 22 (6): 503-8.
28. Burgos G, Amoros W, Salas E, Muñoa L, Sosa P, Díaz C, et al. Carotenoid concentrations of native Andean potatoes as affected by cooking. *Food Chem* 2012; 33 (4): 1131-7.
29. Blessington T, Nzaramba MN, Scheuring DC, Hale AL, Reddivar L, Miller JC Jr. Cooking methods and storage treatments of potato: Effects on carotenoids, antioxidant activity, and phenolics. *Am J Pot Res* 2010, 87: 479-91.
30. Giusti M, Wrolstad R. Radish anthocyanin extract as a natural red colorant for maraschino cherries. *J Food Sci* 1996; 61: 688-94.
31. Chirinos R, Campos D, Arbizu C, Rogez H, Rees JF, Larondelle Y et al. Effect of genotype, maturity stage and post-harvest storage on phenolic compounds, carotenoid content and antioxidant capacity, of Andean mashua tubers (*Tropaeolum tuberosum* Ruiz & Pavon). *J Sci Food and Agri* 2007; 87: 437-46.
32. Dini A, Rastrelli L, Saturnino P, Schettino O. Minor components in food plants - Note I. Flavonol glycosides from *Ullucus tuberosus*. *Boll Soc Ital Biol Sper* 1991; 67: 1053-8.
33. Cai Y, Sun M, Corke H. Antioxidant activity of betalains from plants of the Amaranthaceae. *J Agric Food Chem* 2003; 51: 2288-94.