

COMPUESTOS FENÓLICOS Y CAROTENOIDES EN LA PAPA: REVISIÓN.

PHENOLIC COMPOUNDS AND CAROTENOIDS IN POTATOES – REVISION.

CLARA BIANETH PEÑA^{1*}, LUZ PATRICIA RESTREPO¹.

1-Programa de Ciencia y Tecnología de Alimentos. Interfacultades,
Universidad Nacional de Colombia. Bogotá, Colombia.

*Correspondencia: clbpename@unal.edu.co

RESUMEN: Las papas nativas presentan una gran diversidad de formas, colores y tamaños. En cuanto al color, existen papas con piel amarilla, roja, rosada o morada. Los colores cremas, anaranjados y amarillos son indicativos de la presencia de carotenoides. Los colores rosa, rojo, azul, malva y violeta de ciertos vegetales se deben a la presencia de compuestos fenólicos, entre ellos las antocianinas. Los compuestos fenólicos y los carotenoides son antioxidantes naturales que muestran la capacidad de capturar radicales libres causantes del estrés oxidativo en las células. Por este motivo, la ingesta de papa puede generar un efecto beneficioso en la prevención de enfermedades cardiovasculares, circulatorias, oncológicas y neurológicas. Asimismo, en esta revisión se encontró que existe una variación en la concentración de los compuestos fenólicos y carotenoides en la papa, debido a factores como el color del tubérculo, las condiciones ambientales del cultivo, los procesos de cocción y las condiciones de almacenamiento.

Palabras clave: carotenoides, compuestos fenólicos, capacidad antioxidante.

English

PHENOLIC COMPOUNDS AND CAROTENOIDS IN POTATOES – REVISION.

SUMMARY

Native potatoes present a wide variety of shapes, colors and sizes. Regarding their color, we can find potatoes with yellow, red, pink or purple skin; however, orange and yellow skins are indicative of the presence of carotenoids. The pink, red, blue, mauve and purple skins in certain vegetables indicate the presence of phenolic compounds, including anthocyanins. Phenolic compounds and carotenoids are natural antioxidants which show a capacity to catch free radicals which cause oxidative stress in cells. Therefore, potato intake may generate a beneficial effect in the prevention of cardiovascular, circulatory, onchological and neurological diseases. Also, it was found in this review that there is a variation in the concentration of phenolic compounds and carotenoids in the potato, affected by factors such as the tuber color, environmental conditions, the cooking process and storage conditions.

Keywords: carotenoids, phenolic compounds, antioxidant capacity.

Português

COMPOSTOS FENÓLICOS E CAROTENÓIDES NA BATATA: REVISÃO

RESUMO

As batatas nativas apresentam uma grande diversidade de formas, cores e tamanhos. Quanto à cor, existem batatas com casca amarela, vermelha, rosada ou roxa. As cores creme, laranja e amarelo são indicativos da presença de carotenóides. As cores rosa, vermelho, azul, roxo e violeta de certos vegetais devem-se à presença de compostos fenólicos, entre eles as antocianinas. Os compostos fenólicos e os carotenóides são antioxidantes naturais que mostram a capacidade de capturar radicais livres que são os causadores do estresse oxidativo nas células. Por este motivo, a ingestão de batata pode gerar um efeito benéfico na prevenção de doenças cardiovasculares, circulatórias, oncológicas e neurológicas. Nesta revisão também foi encontrada a existência de uma variação na concentração dos compostos fenólicos e carotenóides na batata, devido a fatores como a cor do tubérculo, as condições ambientais do cultivo, os processos de cocção e as condições de armazenamento.

Palavras-chave: carotenóides, compostos fenólicos, capacidade antioxidante

INTRODUCCIÓN

Se realizó una revisión bibliográfica sobre los carotenoides y algunos compuestos fenólicos en papa y su función antioxidante con el objetivo de describir como este alimento puede tener propiedades funcionales. Se han llevado a cabo varias investigaciones que vinculan la variación del contenido de carotenoides y de compuestos fenólicos en papas nativas, además de la correlación de color con la presencia de compuestos antioxidantes y las condiciones que afectan la función antioxidante de estos compuestos en el tubérculo. En este trabajo se pretende presentar una visión general sobre la biosíntesis, clasificación y características y los contenidos reportados en algunas investigaciones en cuanto a los carotenoides y a los compuestos fenólicos en la papa. Finalmente, se abordan algunas investigaciones y revisiones de los carotenoides y compuestos fenólicos como antioxidantes y su efecto sobre la salud.

LA PAPA

La papa es un producto ancestral de los Andes y uno de los alimentos de mayor consumo a nivel mundial. En el listado de la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura (FAO, por sus siglas en inglés) se ubica en el cuarto puesto como producto alimenticio agrícola después del arroz, de la cebada y el trigo. Algunos autores estiman que aproximadamente existen más de 5.000 variedades comestibles de papa, donde la mayor parte de la diversidad en variedades y cultivos silvestres de papa se concentra en la zona Andina de América de (Hijmans, 2003). Esta diversidad genética de variedades de papa comparada con otros productos agrícolas se debe a su capacidad de adaptación para crecer en ambientes muy divergentes (Hawkes, 1990) y lo que conlleva a tener en la papa la síntesis de moléculas pequeñas y de metabolitos secundarios, producidos como respuestas al medio ambiente. La papa posee 12 cromosomas, los cuales se organizan en series poliploides: diploides ($2n=24$), Triploides ($3n=36$), Tetraploides ($4n=48$), Pentaploides ($5n=60$) y hexaploides ($6n=72$). En el germoplasma nativo de la papa, en especial en los Andes, se presenta una notable diversidad genética, lo que sugiere una considerable variabilidad en el estudio nutricional. En general, la papa es reconocida como un alimento que puede proporcionar una buena fuente de proteínas, carbohidratos, vitamina C, vitamina B6, vitamina B3, y ciertos minerales tales como potasio, fósforo y magnesio (André, Oufir, et al., 2009). Una muestra de 150 g de tubérculo contiene un 45% de la dieta diaria recomendada de vitamina C, 10% vitamina B6, 8% niacina, 6% de folatos, así como cantidades significativas de minerales esenciales para la salud humana y antioxidantes (Navarre, 2009).

Por lo tanto, en las papas se pueden conseguir cantida-

des significativas de algunos compuestos antioxidantes. Estos compuestos antioxidantes aparecen debido a que los tubérculos de papa contienen una cantidad abundante de plástidos en los que se sintetizan numerosos compuestos a través de las vías biosintéticas, como la vía del fenilpropanoide para la síntesis de compuestos fenólicos o la vía mevalónica, presente en el citoplasma y la vía del 2C-metil-D-eritrol 4-fosfato (MEP) para la síntesis de carotenoides. Estos compuestos tienen efectos positivos sobre la salud humana y son altamente deseables en la dieta (Navarre, 2009)(S, V, & A, 2011)(Monro & Mishra, 2009). La mayor parte de la capacidad antioxidante de productos de origen vegetal, entre los que se incluye a la papa, está dada por sus contenidos en vitamina E, C y carotenos, así como de diferentes polifenoles (Brown, C; Wrolstad, R; Yang, C Yy Clevidence, 2003)(Navarre, 2009).

Esta capacidad antioxidante implica la presencia de antioxidantes, los cuales actúan neutralizando radicales libres y ayudan a prevenir el daño tisular oxidativo, que es vinculado al comienzo y a la progresión de una amplia gama de enfermedades crónicas, como las enfermedades cardiovasculares, el cáncer, la diabetes, y enfermedades neurodegenerativas (Nassar, Sabally, Kubow, Leclerc, & Donnelly, 2012). Actualmente se realizan investigaciones en los Estados Unidos y en Europa acerca de la caracterización del contenido de vitaminas y potencial antioxidante de las papas mejoradas derivadas de los cruces entre *S. phureja* y *S. stenotomum* (Lu W, Haynes K, Wiley, 2001); (Breithaupt DE, 2002). Conocer el valor nutritivo y en especial la presencia de antioxidantes naturales de la papa tiene relevancia por ser este un alimento de alto consumo a nivel mundial, según la FAO, para el año 2007, la producción de papa era más de 165 millones de toneladas, consolidándola como un producto de gran importancia. Muestra de ello es que en el año 2008 se celebró el año internacional de la papa, lo que ha llevado a la incorporación de este alimento en los programas de seguridad alimentaria con las perspectivas de contribuir a mejorar la salud humana, reducir la pobreza y el hambre. En el campo de la salud humana, la presencia de compuestos fitoquímicos con actividad antioxidante puede generar un valor agregado a este alimento en la dieta de las personas. Debido a la relación entre la dieta y las enfermedades que pueden aparecer o prevenirse en el cuerpo humano (Al-Weshahy, El-Nokety, Bakhete, & Rao, 2010), la presencia de polifenoles y carotenoides en papa lo perfilan como un alimento funcional.

COMPUESTOS FENÓLICOS

Los compuestos fenólicos son efectivos donadores de hidrógenos, particularmente los flavonoides. Su potencial antioxidante es dependiente del número y

de la posición de los grupos hidroxilos y de su conjugación, así como de la presencia de electrones donadores en el anillo estructural. Debido a la capacidad que posee el grupo aromático de soportar el desapareamiento de electrones por desplazamiento del sistema de electrones- π (Damage & Vitamin, 2001). Los compuestos fenólicos incluyen distintas clases químicas, tales como ácidos fenólicos (ácido benzoico y hidroxicinámico), flavonoides (flavonoles y antocianinas), estilbenos y lignanos.

El color de la piel y la pulpa en la papas orienta hacia la presencia de ciertos compuestos fenólicos; por ejemplo, la pigmentaciones rojas, azules o púrpuras se asocian con el contenido de antocianinas en los tubérculos (Brown, 2005)(Garzón, 2008).

Biosíntesis de Compuestos polifenólicos en la papa

Los compuestos fenólicos se producen a través de la vía fenilpropanoide. La ruta común de la fenilpropanoide se inicia con la conversión de fenilalanina en ácido cinámico por la PAL (*enylalanine ammonia-lyase* o fenilalanina-amonio liasa). El ácido cinámico es convertido en ácido 4-cumárico (p-cumárico) por la C4H (cinamato-4 hidroxilasa). En algunas plantas, la PAL exhibe también actividad de TAL (tirosina-amonio liasa) sobre la tirosina para generar directamente ácido 4-cumárico. En el siguiente paso, el ácido 4-cumárico es transformado en 4-cumaroil-CoA por la 4CL (4-cumarato CoA ligasa). La 4-cumaroil-CoA, un producto central de la ruta fenil propanoide, es condensada con 3 moléculas de malonil CoA para formar naringenina-chalcona o pinocebrina chalcona (de tirosina o fenilalanina respectivamente) por la enzima CHS (chalcona sintetasa). Después de esta reacción, la CHI (chalcona isomerasa) cicla a la naringenina o pinocebrina chalcona mediante la isomerización estereroespecífica para formar las (2S) flavanonas naringenina o pinocebrina. Las flavanonas son ulteriormente modificadas por enzimas de la ruta flavonoide para generar una amplia diversidad de derivados (Elisa, Serrano, & Biológicos, 2007)(R. A. Dixon & Steele, 1999). La vía de fenilpropanoide es regulada a nivel génico y está altamente influenciada por factores ambientales (Kong, 2003); esos factores ambientales son la radiación UV, la sequía, el frío, la concentración de metales pesados, ataque por patógenos, lesiones, o deficiencias de nutrientes (R. a. Dixon & Paiva, 1995).

Compuestos fenólicos presentes en la papa

Los compuestos fenólicos presentes en tubérculos de papa incluyen: fenoles monohídricos, cumarinas, flavonas, taninos y lignina (Lisinska, G y Leszcznski, 1989). También se encuentran los ácidos fenólicos tales como clorogénico, cafeico, protocatéquico y p-cumárico, entre varios otros, identificados en papas de pulpa roja

y púrpura (Jaromír Lachman, 2008). Pequeñas cantidades de rutina, quercetina, miricetina, kaempferol, naringenina y algunos otros flavonoides (Jaromír Lachman, 2008)(Lewis, C., Walker, J., 1998) (Reyes, L; Miller, J y Cisneros -Zevallos, 2005).

En un estudio realizado en 1000 genotipos de papas andinas por el Centro Internacional de la Papa en Perú (CIP), se determinó que los ácidos fenólicos, en especial la concentración del ácido clorogénico, representaron una gran proporción en todos los genotipos, entre el 45% y 90% del total del contenido de polifenoles (Andre et al., 2007)

En la investigación con doce papas nativas chilenas procedentes de la islas de Chiloe y Valdivia se evaluó el contenido de polifenoles totales por el método de Folin-Ciocalteu en papas con cáscara y sin cáscara, observándose que existe una variación en las muestras de papas peladas y sin pelar. En papas sin cáscara, el rango de polifenoles totales fue de 191 a 1864 mg /100 g en base seca (BS) mientras tanto estos parámetros variaron desde 345 a 2852 mg /100 g en BS en muestras sin pelar (Ah-hen, Fuenzalida, Hess, Contreras, & Vega-gálvez, 2012), lo que indica una elevada concentración de polifenoles en la cáscara de los tubérculos.

Asimismo, en la evaluación de cascara provenientes de dos variedades: Penta y Marcy, se detectaron seis compuestos polifenólicos: gálico, hidroxibenzoico, ácido clorogénico, cafeico, p-cumárico y ácidos ferúlico. En el caso de los ácidos clorogénico y cafeico, se observaron los dos compuestos polifenólicos principales (Ezekiel, Singh, Sharma, & Kaur, 2011)(Friedman, 2004).

Otro factor que se puede correlacionar con el contenido de polifenoles son las coloraciones rojas y púrpuras de la piel del tubérculo, las cuales pueden llegar a contener el doble de la concentración de ácidos fenólicos en comparación con variedades de piel blanca (Ezekiel et al., 2011)(Teow et al., 2007), las cuales son las de mayor consumo. Esta característica del color de piel de los tubérculos sobresale en las papas nativas andinas silvestres donde se encuentran diferentes tonalidades entre papas de color amarillo, rojas y púrpuras.

En cuanto a las antocianinas para los cultivares de papa, se ha encontrado presencia de los p-cumaril -5-glucósido-3-ramnoglucósido de pelargonidina, cianidina, peonidina, delfinidina, petunidina y malvidina (Lachman et al., 2009). Las principales antocianinas en papas rojas contienen predominantemente glucósidos acilados de pelargonidina, mientras que las papas púrpuras contienen predominantemente glucósidos acilados de petunidina y pelargonidina (Brown, C; Wrolstad, R;Yang , C Yy Clevidence, 2003). Además, en estos últimos tubérculos se agregan en cantidades bajas delfidina y malvidina (Brown, 2005). Los pigmen-

tos acilados constituyen más del 98% de las antocianinas totales, tanto en tubérculos como en brotes (Fossen, Olav, Slimestad, & Andersen, 2003).

Los compuestos fenólicos como antioxidantes

La presencia de fenoles en la papa ocasiona el ennegrecimiento de esta y puede causar un deterioro durante el almacenamiento o procesamiento (Perla, Holm, & Jayanty, 2012)(Pourcel, Routaboul, Cheynier, Lepiniec, & Debeaujon, 2007). Sin embargo, los fenoles presentes en la papa pueden llegar a tener efectos benéficos sobre la salud; muestran una fuerte actividad antioxidante, especialmente los que se encuentran en la cáscara.

Hay una creciente evidencia de que los polifenoles pueden actuar como antioxidantes en condiciones fisiológicas y, por lo tanto, proteger a las plantas contra el estrés oxidativo. Las plantas producen especies reactivas de oxígeno (EROS) durante el metabolismo normal y aumentan durante períodos de estrés. Numerosos estudios epidemiológicos han sugerido un papel protector de los polifenoles de los alimentos en la salud humana (Dimitrios, 2006)(Quiros, Ana, Palafox, 2011).

En los seres humanos, los polifenoles vegetales consumidos a través de la dieta se consideran cada vez más como agentes eficaces de protección contra los EROS, que son conocidos por estar involucrados en la patogénesis del envejecimiento y muchas enfermedades degenerativas, tales como enfermedades cardiovasculares y cánceres (R. a. Dixon & Paiva, 1995)(Ignat, Volf, & Popa, 2011)(Singh & Rajini, 2008). Las condiciones ambientales afectaron significativamente el contenido de fenólicos totales de una manera dependiente del cultivar (Peñarrieta, Salluca, Tejeda, Alvarado, & Bergenstahl, 2011)(André, Schafleitner, et al., 2009). Sin embargo el genotipo de la papa es uno de factores más determinantes de las variaciones observadas en la concentración de los compuestos fenólicos y el consumo de estos dependerá de estas variaciones y por ende, su efecto antioxidante (André, Oufir, et al., 2009). Las papas nativas con coloraciones moradas y rojas en la pulpa y la piel pueden ser utilizados como fuentes de nuevos colorantes naturales y antioxidantes con valor agregado para la industria alimentaria y la salud humana (Reyes & Cisneros-Zevallos, 2007).

El ácido clorogénico ha sido reportado como una sustancia que inhibe algunos procesos relacionados con la iniciación de cáncer. Los fenoles de la papa, legumbres y cereales reducen los niveles de glucosa presentes en la sangre (Sancho & Pastore, 2012). Pruebas de laboratorio han mostrado que el ácido clorogénico y otros fenoles tienen una fuerte actividad antioxidante sobre las lipoproteínas que se relacionan directamente con enfermedades cardíacas (Monti M, 1996).

CAROTENOIDES

Los carotenoides son pigmentos ampliamente distribuidos en la naturaleza, que se encuentran en tejidos fotosintéticos y no fotosintéticos como raíces, flores y frutos. Los humanos y animales no pueden sintetizarlos; sin embargo, son capaces de absorberlos con modificaciones en su estructura básica. Los carotenoides de vegetales y animales son usualmente encontrados en fracciones lipídicas, ligados a proteínas o esterificados con ácidos grasos (Jacobo, 2006). Dentro de una clasificación química, los carotenoides o tetraterpenoides son una clase de pigmentos terpenoides con 40 átomos de carbono derivados biosintéticamente a partir de dos unidades de geranyl-geranylpirofosfato; en su mayoría son solubles en solventes apolares y tienen coloraciones que oscilan entre el amarillo (β -caroteno) y el rojo (el licopeno). Los carotenoides se pueden clasificar en carotenos y xantofilas. Los carotenos solo contienen carbono e hidrógeno (por ejemplo el β -caroteno, el licopeno, etc.), mientras que las xantofilas contienen además oxígeno (la luteína) (Mart, 2003) (Rodríguez-Amaya, 2010).

Biosíntesis de los carotenoides

En las plantas, los carotenos son sintetizados y almacenados en los plastidios, existiendo evidencia sustancial de la participación de las membranas plastídicas en su biosíntesis (Fraser y Bramley, 2004). Como los carotenoides son terpenos, se debe partir de la síntesis de los isoprenos. Todos los isoprenoides se derivan de dos unidades básicas, el isopentenil difosfato (IPP) y su isómero dimetil-alil difosfato (DMAPP). En las plantas, estos precursores se sintetizan por dos vías que operan en diferentes compartimentos celulares. La vía mevalónica, presente en el citoplasma, y la vía del 2C-metil-D-eritrol 4-fosfato (MEP), de reciente descubrimiento, que está confinada a los plástidos.

La ruta biosintética que envuelve la formación de los carotenoides comienza con el isopropil difosfato (IPP) y su isomerización al isómero alélico dimetilalil difosfato (DMAPP) para luego, por intermedio de la enzima geranylgeranyl difosfato sintasa (GPSS), generar un compuesto de 20 carbonos derivado de cuatro unidades de isopreno (5 carbonos) denominado Geranylgeranyl pirofosfato (GGPP) (Breithaupt DE, 2002). El GGPP es el precursor intermediario de los carotenoides y se ubica en el estroma, pero de ahí en adelante la ruta continúa en la membrana plastídica, donde la primera reacción específica para la formación de un carotenoide es la condensación cabeza-cabeza de dos moléculas trans de GGPP para formar fitoeno. En adelante, todas las reacciones involucran la conversión de esta estructura básica (Jacobo, 2006)(Hannoufa & Hossain, 2012).

Carotenoides en la papa

Los dos de los más abundantes carotenoides en la papa son la luteína y la zeaxantina (Lu W, Haynes K, Wiley, 2001)(Burgos et al., 2012)(Gruszecki & Strzałka, 2005). La luteína y la zeaxantina, su estereoisómero, son miembros de la xantofila (Schäffer, Sinha Roy, Mukherjee, & Das, 2008).

En el estudio realizado por Burlingame (Burlingame, Mouillé, & Charrondiére, 2009) se especifican algunos valores para los carotenoides totales y para la concentración de algunos carotenoides individuales, como son: Viloxantina, anteroxantina, luteiana, zeaxantina y caroteno en algunas variedades de papa. Estos valores se indican en la tabla 1.

Según Burgos (Burgos et al., 2009), al evaluar la concentraciones de carotenoides totales e individuales en 23 accesiones de *Solanum phureja* por medio de espectrofotometría y HPLC, se detectaron luteína, zeaxantina, violaxanthin, anteraxantina y β -caroteno en todas las accesiones. Al realizar un análisis por conglomerados, se detectaron tres grupos, a saber: en el grupo 1 se presentó el mayor valor de concentraciones de carotenoides totales (1258-1840 $\mu\text{g}/100$ fresco), formado en gran parte por la presencia de zeaxantina (658-1290 $\mu\text{g}/100$ fresco) con muy baja presencia o ausencia de β -caroteno (por debajo de 5,4 $\mu\text{g}/100$ fresco). En el grupo 2 se presentaron moderadas concentraciones de carotenoides totales, siendo la violaxantina, anteraxantina, la luteína y la zeaxantina, los carotenoides importantes. El último grupo presentó concentraciones de carotenoides totales (97-262 $\mu\text{g}/100$ fresco) y muy baja o nula concentración de zeaxantina, luteína y violaxantina como los carotenoides predominantes y concentraciones relativamente altas

de β -caroteno (hasta 27 $\mu\text{g}/100$ FW). Esto señala que en las 23 accesiones de *S. phureja*, una correlación significativa en concentración total de carotenoides con anteraxantina y de zeaxantina; y una correlación negativa concentración de β -caroteno con concentración total de carotenoides.

En cultivos fortificados de papa en África se ha reportado un amplio intervalo de carotenoides en 0,4 - 72,5 $\mu\text{g}/\text{g}$ en peso fresco y en un contenido en materia seca entre 26,8-39,4% (Tomlins, Owor, Bechoff, Meny, & Westby, 2012).

Funciones antioxidantes de los carotenoides

Los seres humanos y los animales son incapaces de realizar la biosíntesis de carotenoides y, por lo tanto, la presencia de este grupo de pigmentos en sus organismos depende totalmente de la dieta (Gruszecki & Strzałka, 2005). En la dieta, los carotenoides se pueden encontrar en altas concentraciones en las verduras de hoja verde, en frutas y verduras de coloraciones naranja y rojas (Rodríguez-Amaya, 2010). Los pigmentos carotenoides juegan un papel importante en la prevención de enfermedades degenerativas como arterioesclerosis, cáncer, envejecimiento, cataratas, degeneración macular relacionada con la edad, etc. El papel protector para las células humanas frente a la radiación ultravioleta de diversos antioxidantes como β -caroteno, α -tocoferol y ácido ascórbico ha sido evaluado, llegándose a la conclusión de que el primero es el más eficiente, probablemente debido a su localización en la membrana celular. La luteína y la zeaxantina son potentes antioxidantes que juegan un papel importante en la salud ocular y en la prevención de la enfermedad cardiovascular, accidente cerebrovascular y

TABLA 1

Valores de carotenoides en variedades de papa

	Rango	Promedio	Variedad con mayor valor	Grupo taxonómico
Carotenoides totales (n=541)	ND-2690 $\mu\text{g}/100\text{mg}$	328	Desconocida (USA)	Tbr
Violoxantina (n=72)	Tr-960 $\mu\text{g}/100\text{g}$	117	Amarilla del centro (Perú)	phu
Luteina (n=447)	8,2-875 $\mu\text{g}/100\text{g}$	228	<i>S.pinnatisectum</i> 275231TAX31	
Anteroxantina (n=97)	N.D-376 $\mu\text{g}/100\text{g}$	105	Chaucha amarilla Amarillo flesched (Perú)	phu
Zeaxantina (n=97)	Tr-1290 $\mu\text{g}/100\text{g}$	111	Desconocido CIP703566	phu
β-caroteno (n=408)	0,0-111 $\mu\text{g}/100\text{g}$	13.5	<i>S.gourlay</i> 500049 FFAO	<i>S.gourlayi</i>

cáncer de pulmón (Schäffer et al., 2008).

Hay estudios que relacionan la aparición de algunos tipos de cáncer con la carencia de ciertos carotenoides en la dieta, por lo que son considerados compuestos anticancerígenos. Varias investigaciones epidemiológicas han mostrado que el riesgo de padecer cáncer es inversamente proporcional al consumo de vegetales y frutas ricos en carotenoides. Si bien muchos de estos estudios se han centrado en el β -caroteno, otros carotenoides eficaces en la prevención de la enfermedad son β -criptoxantina, zeaxantina, astaxantina e incluso carotenoides no coloreados como el fitoeno (Jacobo, 2006).

Conclusiones

El contenido de compuestos fenólicos y carotenoides en tubérculos de papa presentan un amplio rango de variación dependiendo de genotipo, las condiciones de cultivo, el proceso de poscosecha y el almacenamiento.

Los compuestos fenólicos que han sido reportados en mayor porcentaje en la papa son el ácido clorogénico entre el 45% y 90% del total del contenido de polifenoles. La presencia de antocianinas en papas con tonalidades rojas contienen predominantemente glucósidos acilados de pelargonidina, mientras que las papas púrpuras contienen predominantemente glucósidos acilados de petunidina y pelargonidina.

Los más abundantes carotenoides en papa son la luteína y la zeaxantina. El papel de la luteína y zeaxantina como antioxidantes se enfoca en la degeneración macular.

BIBLIOGRAFÍA

Ah-hen, K., Fuenzalida, C., Hess, S., Contreras, A., & Vega-gálvez, A. (2012). Antioxidant capacity and total phenolic compounds of twelve selected potato landrace clones grown in southern Chile. *Chilean journal of agricultural research*, 72, 3–9.

Al-Weshahy, A., El-Nokety, M., Bakhete, M., & Rao, V. (2010). Effect of storage on antioxidant activity of freeze-dried potato peels. *Food Research International*, 10–15. doi:10.1016/j.foodres.2010.12.014

Andre, C. M., Ghislain, M., Bertin, P., Oufir, M., Herrera, M. D. R., Hoffmann, L., Hausman, J.-F., et al. (2007). Andean potato cultivars (*Solanum tuberosum* L.) as a source of antioxidant and mineral micronutrients. *Journal of agricultural and food chemistry*, 55(2), 366–78.

André, C. M., Oufir, M., Hoffmann, L., Hausman, J.-F., Rogez, H., Larondelle, Y., & Evers, D. (2009). Influence of environment and genotype on polyphenol compounds and in vitro antioxidant capacity of native Andean potatoes (*Solanum tuberosum* L.). *Journal of Food Composition and Analysis*, 22(6), 517–524.

André, C. M., Schafleitner, R., Legay, S., Lefèvre, I., Aliaga, C. A., Nomberto, G., Hoffmann, L., et al. (2009). Gene expression changes related to the production of phenolic compounds in potato tubers grown under drought stress. *Phytochemistry*, 70(9), 1107–16.

Breithaupt DE, B. A. (2002). Carotenoids and carotenoid esters in potatoes (*Solanum tuberosum* L.): New insights into an ancient vegetable. *J. Agr. and Food Chem*, 50, 7175–7181.

Brown, C. (2005). Antioxidants un potato. *American Journal of potato research*, 82, 163–172.

Brown, C; Wrolstad, R; Yang, C Yy Clevidence, B. (2003). Breeding studies in potatoes containing high concentration of anthocyanins. *American Journal of potato research*, 80, 241–250.

Burgos, G., Amoros, W., Salas, E., Muñoa, L., Sosa, P., Díaz, C., & Bonierbale, M. (2012). Carotenoid concentrations of native Andean potatoes as affected by cooking. *Food Chemistry*, 133(4), 1131–1137.

Burgos, G., Salas, E., Amoros, W., Auqui, M., Muñoa, L., Kimura, M., & Bonierbale, M. (2009). Total and individual carotenoid profiles in *Solanum phureja* of cultivated potatoes: I. Concentrations and relationships as determined by spectrophotometry and HPLC. *Journal of Food Composition and Analysis*, 22(6), 503–508.

Burlingame, B., Mouillé, B., & Charrondière, R. (2009). Nutrients, bioactive non-nutrients and anti-nutrients in potatoes. *Journal of Food Composition and Analysis*, 22(6), 494–502.

Damage, D. N. A., & Vitamin, I. N. (2001). Original Contribution Anthocyanin-rich extract decreases indices of lipid peroxidation and dna damage in vitamin e-depleted rats, 31(9), 1033–1037.

Dimitrios, B. (2006). Sources of natural phenolic antioxidants. *Trends in Food Science & Technology*, 17(9), 505–512.

Dixon, R. a., & Paiva, N. L. (1995). Stress-Induced Phenylpropanoid Metabolism. *The Plant cell*, 7(7), 1085–1097.

Dixon, R. A., & Steele, C. L. (1999). a gold mine for metabolic engineering, 1385(1997).

- Elisa, M., Serrano, D., & Biológicos, D. S. (2007). Flavonoides recombinantes de relevancia farmacéutica Recombinant flavonoids of pharmaceutical relevance, 42–47.
- Ezekiel, R., Singh, N., Sharma, S., & Kaur, A. (2011). Beneficial phytochemicals in potato — a review. *Food Research International*, 1–10.
- Fossen, T., Olav, D., Slimestad, R., & Andersen, Ø. M. (2003). Anthocyanins from a Norwegian potato cultivar, 81(September 2000), 433–437.
- Friedman, M. (2004). Analysis of biologically active compounds in potatoes (*Solanum tuberosum*), tomatoes (*Lycopersicon esculentum*), and jimson weed (*Datura stramonium*) seeds. *Journal of Chromatography A*, 1054(1-2), 143–155.
- Garzón, G. A. (2008). Las antocianinas como colorantes naturales y compuestos bioactivos: Revisión. *Acta Biologica colombiana*, 13(3), 27–36.
- Gruszecki, W. I., & Strzałka, K. (2005). Carotenoids as modulators of lipid membrane physical properties. *Biochimica et biophysica acta*, 1740(2), 108–15.
- Hannoufa, A., & Hossain, Z. (2012). Regulation of carotenoid accumulation in plants. *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology*, 1(3), 198–202.
- Hawkes, J. G. (1990). The potato- evolution, biodiversity and genetic resources. Oxford: Belhaven Press.
- Hijmans, R. J. (2003). The effect of climate change on global potato production. *American Journal of potato research.*, 80, 271–280.
- Ignat, I., Volf, I., & Popa, V. I. (2011). A critical review of methods for characterisation of polyphenolic compounds in fruits and vegetables. *Food Chemistry*, 126(4), 1821–1835.
- Jacobo, A. M. (2006). Análisis De Expresión De Los Genes De La Ruta Biosintética De Carotenos, Y Cuantificación De Carotenos En Hojas Y Raíces De Plantas De Yuca A Diferentes Edades. Universidad Nacional de Colombia.
- Jansky, S. (2009). Breeding, Genetics, and Cultivar Development. *Advances in Potato Chemistry and Technology* (First Edit.). Elsevier Ltd.
- Jaromír Lachman, K. H. (2008). The influence of flesh colour and growing locality on polyphenolic.pdf. *Scientia Horticulturae*, 109–114.
- Kong, J. (2003). Analysis and biological activities of anthocyanins. *Phytochemistry*, 64(5), 923–933. doi:10.1016/S0031-9422(03)00438-2
- Lachman, J., Hamouz, K., Šulc, M., Orsák, M., Pivec, V., Hejtmánková, A., Dvořák, P., et al. (2009). Cultivar differences of total anthocyanins and anthocyanidins in red and purple-fleshed potatoes and their relation to antioxidant activity. *Food Chemistry*, 114(3), 836–843. doi:10.1016/j.foodchem.2008.10.029
- Lewis, C., Walker, J., et. al. (1998). Changes in anthocyanin, flavonoid and phenolic acid in potatoes. I. Coloured cultivars of *Solanum tuberosum* L. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 77, 45–57.
- Lisinska, G y Leszczynski, W. (1989). No Title Potato science and technology. Elsevier Science pu (p. 391). Irlanda.: Elsevier Ltd.
- Lu W, Haynes K, Wiley, E. and C. B. (2001). Carotenoid content and color in diploid potatoes. *J. Am. Soc. Hort. Sci*, 126, 722–726.
- Monro, J., & Mishra, S. (2009). Nutritional Value of Potatoes : Digestibility , Glycemic Index , and Glycemic Impact. *Advances in Potato Chemistry and Technology* (First Edit., pp. 371–394). Elsevier Ltd.
- Monti M. (1996). Variedades de papa para uso diferenciado. Argentina: Documento oficial 10.
- Nassar, A. M. K., Sabally, K., Kubow, S., Leclerc, Y. N., & Donnelly, D. J. (2012). Some Canadian-grown potato cultivars contribute to a substantial content of essential dietary minerals. *Journal of agricultural and food chemistry*, 60(18), 4688–96. doi:10.1021/jf204940t
- Navarre, D. A. (2009). Nutritional Value of Potatoes : Vitamin , Phytonutrient , and Mineral Content. *Advances in Potato Chemistry and Technology* (First Edit.). Elsevier Ltd. doi:10.1016/B978-0-12-374349-7.00014-3
- Perla, V., Holm, D. G., & Jayanty, S. S. (2012). Effects of cooking methods on polyphenols, pigments and antioxidant activity in potato tubers. *LWT - Food Science and Technology*, 45(2), 161–171. doi:10.1016/j.lwt.2011.08.005
- Peñarrieta, J. M., Salluca, T., Tejada, L., Alvarado, J. A., & Bergenstahl, B. (2011). Changes in phenolic antioxidants during chuño production (traditional Andean freeze and sun-dried potato). *Journal of Food Composition and Analysis*, 24(4-5), 580–587. doi:10.1016/j.jfca.2010.10.006
- Pourcel, L., Routaboul, J.-M., Cheynier, V., Lepiniec, L., & Debeaujon, I. (2007). Flavonoid oxidation in plants: from biochemical properties to physiological functions. *Trends in plant science*, 12(1), 29–36. doi:10.1016/j.tplants.2006.11.006
- Quiros, Ana, Palafox, H. (2011). Interacción de compuestos fenólicos y fibra dietaria: capacidad antioxidante y biodisponibilidad. *Revista Biotecnica*, 13(3), 3–11.
- Reyes, L. F., & Cisneros-Zevallos, L. (2007). Degradation kinetics and colour of anthocyanins in aqueous extracts of purple- and red-flesh potatoes (*Solanum tuberosum* L.). *Food Chemistry*, 100(3), 885–894. doi:10.1016/j.foodchem.2005.11.002

Reyes, L; Miller, J y Cisneros -Zevallos, L. (2005). Antioxidant capacity, anthocyanins and total phenolics in purple- and red fleshed potato (*Solanum tuberosum* L) genotypes. *American journal potato Research*, 82, 271–277.

Rodriguez-Amaya, D. B. (2010). Quantitative analysis, in vitro assessment of bioavailability and antioxidant activity of food carotenoids—A review. *Journal of Food Composition and Analysis*, 23(7), 726–740. doi:10.1016/j.jfca.2010.03.008

S, I. C., V, J. C. H., & A, C. C. (2011). Capacidad antioxidante y contenido fenólico total de tres frutas cultivadas en la región andina, 5(2010), 7–16.

Sancho, R. a. S., & Pastore, G. M. (2012). Evaluation of the effects of anthocyanins in type 2 diabetes. *Food Research International*, 46(1), 378–386. doi:10.1016/j.foodres.2011.11.021

Schäffer, M. W., Sinha Roy, S., Mukherjee, S., & Das, S. K. (2008). Identification of lutein, a dietary antioxidant carotenoid in guinea pig tissues. *Biochemical and biophysical research communications*, 374(2), 378–81. doi:10.1016/j.bbrc.2008.07.030

Singh, N., & Rajini, P. S. (2008). Antioxidant-mediated protective effect of potato peel extract in erythrocytes against oxidative damage. *Chemico-biological interactions*, 173(2), 97–104. doi:10.1016/j.cbi.2008.03.008

Teow, C. C., Truong, V.-D., McFeeters, R. F., Thompson, R. L., Pecota, K. V., & Yencho, G. C. (2007). Antioxidant activities, phenolic and β -carotene contents of sweet potato genotypes with varying flesh colours. *Food Chemistry*, 103(3), 829–838. doi:10.1016/j.foodchem.2006.09.033

Tomlins, K., Owori, C., Bechoff, A., Menya, G., & Westby, A. (2012). Relationship among the carotenoid content, dry matter content and sensory attributes of sweet potato. *Food Chemistry*, 131(1), 14–21. doi:10.1016/j.foodchem.2011.07.072