

UNIVERSIDAD
NACIONAL
DE COLOMBIA

**COMPOSICIÓN EN NUTRIENTES Y BIOACTIVOS Y
PROPUESTA DE BIORREFINERÍA DE PAPA *Solanum
tuberosum* Grupo Phureja**

MARÍA ALEJANDRA BELTRÁN PENAGOS

Universidad Nacional de Colombia
Facultad de Ciencias
Departamento de Química
Bogotá D.C.
2020

COMPOSICIÓN EN NUTRIENTES Y BIOACTIVOS Y PROPUESTA DE BIORREFINERÍA DE PAPA *Solanum tuberosum* Grupo Phureja

MARÍA ALEJANDRA BELTRÁN PENAGOS

Trabajo de grado presentado como requisito parcial para optar al título de:

Magister en Ciencias - Química

Director

CARLOS EDUARDO NARVÁEZ CUENCA PhD

Grupo de investigación en Química de Alimentos
Línea de investigación: Biodiversidad de frutas y tubérculos

Universidad Nacional de Colombia

Facultad de Ciencias

Departamento de Química

Bogotá D.C.

2020

A mis padres: Alba Rocío y Jorge Eliecer

Agradecimientos

A Dios por permitirme buscar mi camino en la vida desde diferentes realidades, desde el aprendizaje y el compartir con personas que me han hecho crecer de diversas maneras. Por permitirme vivir la experiencia de universidad, que siempre he interpretado como luz de la penumbra y un espacio-tiempo para aquellos que se animan a creer que pueden ser mejores y transformar el mundo. A mis padres, que me han apoyado en este propósito completamente. A los profesores Carlos Eduardo Narváez Cuenca, por su orientación, compromiso, confianza y ejemplo, y Andrea del Pilar Sánchez Camargo por su amabilidad y disposición para el ejercicio de escritura compartida. A mis maestros, de quienes reconozco su esfuerzo continuo por mejorar los procesos de enseñanza-aprendizaje, incluso en épocas difíciles; y a aquellos compañeros, que han hecho que ser estudiante sea siempre un ejercicio divertido y solidario.

Resumen

Las papas del Grupo Phureja tienen una gran relevancia en términos de propiedades y aceptación del consumidor en los países andinos de América del Sur. Este trabajo tiene como objetivo realizar una propuesta de biorrefinería para la valorización de residuos de esta biomasa, proporcionando una visión general sobre sus características, a partir de la revisión de trabajos de investigación publicados entre 1993 y 2019.

Se comparan los macro y micronutrientes en las papas crudas del Grupo Phureja con las del Grupo Tuberosum. Para el primer Grupo, la humedad se reporta entre 72,1 y 80,8 g/100 g en base húmeda (BH), el contenido de almidón está en un rango de 8,7 a 22,7 g/100 g BH, las proteínas están entre 1,7 y 2,8 g/100 g BH y la fibra cruda está entre 1,6 y 2,2 g/100 g BH. El contenido del sodio y el potasio es 18 y 563 mg/100 g BH respectivamente. Dentro del contenido de vitaminas, se informan valores de 12,8 a 32,0 mg/100 g BH para ácido ascórbico y de 2,4 a 2,5 mg/100 g BH para niacina.

El contenido fenólico total está entre 161,6 y 442,7 mg de equivalentes de ácido gálico/100 g en base seca (BS). Los compuestos fenólicos más representativos son el ácido clorogénico, seguido por el ácido *cripto*-clorogénico, el ácido cafeico, el ácido *neo*-clorogénico y la cafeoil putrescina. Los carotenoides varían de 15,5 a 133,0 µg/g BS; siendo los más abundantes la violaxantina, la zeaxantina, la anteraxantina, la luteína y el β-caroteno. Los glicoalcaloides más importantes son la α-solanina y la α-chaconina.

Los desechos de este grupo de papa pueden provenir de tubérculos que no cumplen con los parámetros de calidad o a partir del procesamiento de productos. En el documento se describe la posibilidad de obtener compuestos útiles para las industrias de alimentos, piensos, materiales, energía y química, mediante una estrategia de biorrefinería en tres rutas. La primera centrada en la valorización de una fracción sólida; la segunda en la producción de almidón; y la tercera en la producción de proteínas. Finalmente, se describen algunas perspectivas, tanto de la cadena productiva de la papa Grupo Phureja, como del enfoque de biorrefinería.

Palabras clave: almidón de papa, biorrefinería, compuestos bioactivos, composición proximal, Grupo Phureja, papa.

Abstract

Potato tubers Group Phureja are important in terms of properties and consumer acceptance in the Andean countries of South America. This work aims to make a biorefinery proposal for the valorization of waste from this biomass, providing an overview of its characteristics, from a review of research papers published between 1993 and 2019.

Macro- and micro-nutrients in raw potatoes of the Group Phureja are compared with those of the Group Tuberosum. For the first Group, the moisture content is reported between 72.1 and 80.8 g/100 g on a fresh weight (FW), the starch content is in a range of 8.7 to 22.7 g/100 g FW, the proteins are between 1.7 and 2.8 g/100 g FW, and the crude fiber is between 1.6 and 2.2 g/100 g FW. The sodium and potassium content are 18 and 563 mg/100 g FW respectively. Within the vitamin content, values of 12.8 to 32.0 mg/100 g FW are reported for ascorbic acid and 2.4 to 2.5 mg/100 g FW for niacin.

The total phenolic content is between 161.6 and 442.7 mg of gallic acid equivalents/100 g on a dry weight (DW) basis. The most representative phenolic compounds are chlorogenic acid, followed by *crypto*-chlorogenic acid, caffeic acid, *neo*-chlorogenic acid, and caffeoyl putrescine. Carotenoids vary from 15.5 to 133.0 µg/g DW, the most abundant are violaxanthin, zeaxanthin, antheraxanthin, lutein, and β-carotene. The most important glycoalkaloids are α-solanine and α-chaconin.

The waste from this group of potatoes may come from tubers that do not meet the quality parameters or from product processing. The document describes the possibility of obtaining useful compounds for the food, feed, materials, energy, and chemical industries, through a three-route biorefinery strategy. The first one focused on the recovery of a solid fraction; the second one in the production of starch; and the third one in protein production. Finally, some perspectives are described, both on the Group Phureja potato production chain and on the biorefinery approach.

Key-words: Biorefinery, bioactive compounds, Group Phureja, potato, potato starch, proximal composition.

CONTENIDO

Lista de figuras.....	7
Lista de tablas.....	8
Introducción	9
CAPÍTULO 1. CARACTERÍSTICAS DE LA PAPA <i>Solanum tuberosum</i> Grupo Phureja.....	13
CAPÍTULO 2. COMPOSICIÓN NUTRICIONAL DE LA PAPA Grupo Phureja	19
CAPÍTULO 3. COMPOSICIÓN DE COMPUESTOS BIOACTIVOS DE LA PAPA Grupo Phureja	23
3.1 Compuestos fenólicos	23
3.2 Carotenoides	28
3.3 Glicoalcaloides y calisteginas	32
CAPÍTULO 4. BIORREFINERÍA PARA EL APROVECHAMIENTO DE RESIDUOS DE PAPA Grupo Phureja.....	35
4.1. Propuesta de biorrefinería para valorización de residuos del Grupo Phureja	38
4.1.1 Almidón y proteína como coproductos	40
4.2 Aspectos relacionados con la cadena productiva de la papa Grupo Phureja	47
4.3 Aspectos relacionados con la biorrefinería	50
Conclusiones	54
Anexo	56
Bibliografía.....	57

Lista de figuras

Figura 1. Mapa coroplético de producción (t) de papa Grupo Phureja en los departamentos de Colombia en el año 2017 según cifras de Agronet (2019).....	13
Figura 2. Diferentes variedades de papa <i>Solanum tuberosum</i> Grupo Phureja. Tomada de Burlingame et al. (2009).....	15
Figura 3. Preparaciones a partir de papa Grupo Phureja. Izquierda arriba: papas congeladas. Derecha arriba: papas fritas (Frugy, s.f.). Izquierda abajo: empanadas (Empanadas de la Cima, s.f.). Derecha abajo: sopa de Ajiaco (“Ajiaco,” s.f.).....	17
Figura 4. Costos de producción de papa Grupo Phureja en el Departamento de Cundinamarca. Tomadas de Fedepapa (2018).....	18
Figura 5. Estructuras químicas de los compuestos fenólicos de mayor contenido en tubérculos del Grupo Phureja.....	24
Figura 6. Estructuras químicas de los carotenoides de mayor contenido en tubérculos del Grupo Phureja.....	31
Figura 7. Estructuras químicas de los glicoalcaloides y calisteginas en tubérculos del Grupo Phureja.....	34
Figura 8. América Latina y el Caribe: composición de las exportaciones (2010-2015) por tipo de economía y países. Tomada de Rodríguez et al. (2018).	36
Figura 9. Estrategia de biorrefinería - Ruta 1.....	41
Figura 10. Estrategia de biorrefinería - Ruta 2.....	42
Figura 11. Proceso de extracción de almidón, adaptado de Zárate-Polanco et al. (2014).	43
Figura 12. Estrategia de biorrefinería - Ruta 3.....	46
Figura 13. “Principales empresas transformadoras de papa criolla en Colombia”. Tomada de Bonilla y Pérez (2010).....	48

Lista de tablas

Tabla 1 Contenido nutricional de tubérculos de papa cruda Grupo Tuberosum y Grupo Phureja	20
Tabla 2. Contenido de los principales compuestos fenólicos identificados en tubérculos de papa cruda del Grupo Phureja (mg/100 g BS).	25
Tabla 3. Concentraciones de antocianinas ($\mu\text{g/g}$ BS) en papas crudas del Grupo Phureja reportadas por Pillai et al. (2013).	27
Tabla 4. Contenido de los principales carotenoides identificados en tubérculos de papa cruda del Grupo Phureja.	29
Tabla 5. Parámetros según producto. Adaptada de Piñeros-Niño (2009).	39

Introducción

Los tubérculos de papa (*Solanum tuberosum*) son el quinto alimento principal que se consume en todo el mundo (FAO, 2019). De este se cultivan varias subespecies, siendo la del grupo taxonómico Tuberosum la más distribuida; otros grupos incluyen el Stenotomum, el Andigena y el Phureja.

La papa tiene un gran valor nutricional, ya que aporta vitaminas A, B y C, proteínas y minerales como el potasio, el sodio, el calcio, el hierro, el magnesio y el fósforo (FAO, 2008) y es una buena fuente de energía, al contener un alto porcentaje de carbohidratos digeribles (ICBF, 2015). También contiene compuestos bioactivos como (i) los carotenoides luteína y zeaxantina, importantes por sus bondades para la prevención de la degeneración macular y el β -caroteno como provitamina A, (ii) los compuestos fenólicos, de los que se resalta la presencia del ácido clorogénico (y sus isómeros *neo-* y *cripto-*), así como del ácido cafeico que tiene propiedades antioxidantes y (iii) la fibra dietaria que se encuentra principalmente en la cáscara (Camire, Kubow, y Donnelly, 2009).

Según las estadísticas de la FAO (2019), se informó una producción mundial de 388,2 millones de toneladas (t) de tubérculos de papa (que incluye todos los grupos cultivables) en 2017. Los países con la mayor producción fueron China, India, Rusia, Ucrania y Estados Unidos. Perú ocupó el puesto 15 con 4,8 millones de t y Colombia el 24 con 2,8 millones de t, datos que contrastan con los 3,8 millones de t reportados por las estadísticas agrícolas colombianas para ese año (Agronet, 2019). La cantidad de importación de papas congeladas y harina de papa (sin discriminar el grupo taxonómico) a nivel internacional representó 7,2 y 0,5 millones de t, respectivamente (FAO, 2019).

Las papas *S. tuberosum* Grupo Phureja, de ahora en adelante llamadas Grupo Phureja, se conocen como “papas amarillas” en países de habla inglesa y “criolla” o “chaucha” en países latinoamericanos (Rojas y Seminario, 2014) y son de especial importancia en los países andinos, incluidos Colombia y Perú (Ghislain, Zhang, Fajardo, Huamán, y Hijmans, 1999). Por un lado, Colombia informa sobre la investigación de 108 genotipos de este grupo, de la Colección Central Colombiana, sumado a 13 variedades nativas,

cuatro genotipos comerciales y siete clones de reproducción avanzada (Duarte-Delgado et al., 2016; Narváez-Cuenca, Peña, Restrepo-Sánchez, Kushalappa, y Mosquera, 2018; Peña et al., 2015; Piñeros-Niño, Narváez-Cuenca, Kushalappa, y Mosquera, 2017). Por otro lado, la colección de Perú tiene 170 genotipos de este grupo, incluidos algunos que se comercializan; y parte de la colección se ha caracterizado en sus contenidos nutricionales y de compuestos bioactivos (Andre, Ghislain, et al., 2007; Andre, Oufir, et al., 2007; Burgos, Amoros, Morote, Stangoulis, y Bonierbale, 2007; Burgos et al., 2009).

Las papas del Grupo Phureja son nativas de las montañas andinas en América del Sur (Bonilla y Pérez, 2010). Esta especie incluye tubérculos con características heterogéneas en términos de su color, que puede ser amarillo, negro o morado; su forma, que tiende a ser redonda u ovoidea; y su tamaño, que es en su mayoría pequeño (el requerido para la industria alimentaria está entre 2,5 y 3,5 cm; Rojas y Seminario, 2014). Los genotipos de este grupo tienen rasgos importantes como resistencia al tizón tardío (Cañizares y Forbes, 1995), marchitez bacteriana y nematodos, así como buenas propiedades culinarias (De Maine, Carroll, Stewart, Solomon, y Wastie, 1993), por ello su germoplasma ha recibido especial atención como recurso en programas de mejoramiento de papa (Juyó et al., 2015).

Además de algunas publicaciones enfocadas al manejo del cultivo, no se encuentran publicaciones que compilen investigaciones sobre las características de este grupo de papa cruda en términos de composición y compuestos bioactivos. Comercialmente, la papa del Grupo Phureja parece tener numerosos puntos de venta con posibles usos a considerar tanto a nivel industrial como no industrial, pues tiene propiedades de alto interés para la industria de alimentos por presentar un alto valor nutricional que proporciona bondades para la salud (Bonilla y Pérez, 2010). Al comparar la composición de compuestos bioactivos de los genotipos del Grupo Phureja con otros grupos, la fibra dietaria total, soluble e insoluble (FAO, 2017; Narváez-Cuenca et al., 2018), los compuestos fenólicos (Narváez-Cuenca, Vincken, Zheng, y Gruppen, 2013), así como los contenidos de carotenoides (Andre, Oufir, et al., 2007; Fernandez-Orozco, Gallardo-Guerrero, y Hornero-Méndez, 2013; Hejtmánková et al., 2013) se encuentran entre los más altos.

Cada año se producen entre 70.000 y 140.000 t de cáscara de papa en todo el mundo (Fritsch et al., 2017) y la oferta de alimentos tiende cada vez más a la fabricación de alimentos procesados en la que se generan residuos. Este tema ha llamado la atención y se han desarrollado algunas alternativas para el uso sostenible y la valorización de esos residuos; entre las que se encuentra la biorrefinería, en la que se considera el uso de desechos como fuente de compuestos para las industrias alimentaria y farmacéutica y su utilización para la producción de energía y la alimentación animal (Galhano dos Santos, Ventura, Bordado, y Mateus, 2016; Gebrechristos y Chen, 2018; Pathak, Mandavgane, Puranik, Jambhulkar, y Kulkarni, 2018).

Los investigadores han demostrado que los desechos de procesamiento de papa pueden ser una fuente importante de compuestos como proteínas, almidón, glicoalcaloides (Gebrechristos y Chen, 2018; Priedniece, Spalvins, Ivanovs, Pubule, y Blumberga, 2017), fibra dietaria (Scharf et al., 2018; Schieber y Saldaña, 2009), y compuestos fenólicos (Akyol, Riciputi, Capanoglu, Caboni, y Verardo, 2016; Kumari, Tiwari, Hossain, Rai, y Brunton, 2017; Singh et al., 2011; Singh y Saldaña, 2011; Wijngaard, Ballay, y Brunton, 2012). Debido a su valiosa composición, se han propuesto enfoques de biorrefinería utilizando la cáscara de papa como biomasa para convertirla en una variedad de productos mediante diferentes vías y métodos de procesamiento (Ahokas et al., 2014; Fritsch et al., 2017; Pathak et al., 2018). Sin embargo, hasta donde se sabe, esos estudios se han desarrollado en especies de papa diferentes al Grupo Phureja.

Los desechos de los tubérculos del Grupo Phureja pueden provenir de dos fuentes: i) aquellos generados durante la comercialización porque los tubérculos no cumplen con los estándares de calidad, en varios casos relacionada con la aparición de brotes (Rodríguez y Moreno, 2010) y ii) los derivados del procesamiento de la papa en la industria alimentaria (Bonilla y Pérez, 2010; Piñeros-Niño, 2009). En ambos escenarios, existe una oportunidad interesante para recopilar información sobre la composición química de los tubérculos, hacia el planteamiento de el(los) procesamiento(s) más adecuado(s) para proporcionar los posibles productos deseados (Carmona-Cabello, Garcia, Leiva-Candia, y Dorado, 2018). Así pues, este trabajo se plantea desde el abordaje de la pregunta: ¿Qué estrategia de biorrefinería se puede dar a los residuos de

papa Grupo Phureja a partir del análisis de la información científica sobre su composición?

Con el objetivo final de proponer una estrategia de biorrefinería para obtener fracciones con un alto valor agregado a partir de los residuos, se desarrollan cuatro capítulos. En el **capítulo 1** se describen las características de los tubérculos de papa del Grupo Phureja; en el **capítulo 2** se realiza un análisis sobre la composición proximal de los tubérculos, incluyendo macro y micronutrientes; en el **capítulo 3** se analizan los contenidos de compuestos bioactivos; y en el **capítulo 4** se propone una estrategia de biorrefinería para valorizar los desechos de estos tubérculos.

Inicialmente se realizó una búsqueda bibliográfica desde el uso de palabras clave y descriptores tanto en español como en inglés, en diferentes bases de datos (Google Scholar, Scopus, ScienceDirect) y libros, para posteriormente consolidar la revisión y el análisis con literatura entre los años 1993 y 2019. A partir de esta información, para los capítulos 2 y 3 se realizó la construcción de tablas de datos indicando las referencias, variedades y características de los cultivares, y posteriormente se transformaron algunas bases de expresión, entre base húmeda y base seca, en los casos en que se encontró la información suficiente para hacerlo, para facilitar las comparaciones entre los valores reportados en distintas investigaciones. Para el capítulo 4, además de la información sobre biorrefinería reportada principalmente en artículos, se exploraron los contenidos de los cursos masivos abiertos y en línea: “*Biorefinery: From Biomass to Building Blocks of Biobased Products*” y “*From Fossil Resources to Biomass: A Business and Economics Perspective*” ([Wageningen University & Research, 2019a](#), [2019b](#)), ofrecidos en la plataforma edX.org por la Universidad Wageningen de Holanda. Estas ideas se pusieron en diálogo con información sobre la cadena productiva de la papa Grupo Phureja, disponible en artículos y en libros.

Por último, se presentan las conclusiones de la revisión, y se anexa la evidencia de un artículo publicado en *International Journal of Food Science and Technology* ([Beltrán-Penagos, Sánchez-Camargo, y Narváez-Cuenca, 2020](#)) como resultado de este trabajo de grado.

CAPÍTULO 1. CARACTERÍSTICAS DE LA PAPA *Solanum tuberosum* Grupo Phureja

En Colombia, la papa es uno de los principales cultivos transitorios; siendo el segundo alimento más importante del país y el principal cultivo de tierra fría (Fedepapa, 2018). Según la base de estadísticas Agronet (2019), para la papa Grupo Phureja en el año 2017 habían 14.151,4 ha cultivadas y una producción de 212.770,5 t; esto representa un 5,7% de la producción total de papa de ese año. Los departamentos que más producen papa del Grupo Phureja (Figura 1) son Cundinamarca (98.280,5 t y un rendimiento de 17.31 t/ha), Boyacá (49.294,5 t y 14,12 t/ha), Nariño (29.188,5 t y 12,69 t/ha), Norte de Santander (16.939 t y 21,47 t/ha), Antioquia (11851 t y 11,77 t/ha), Tolima (4020 t y 6 t/ha) y Santander (3.197 t y 14,73 t/ha).

Para el año 2017, a nivel mundial se reportó una producción de 388'190.675 t de papa (*Solanum tuberosum*, que incluye todos los grupos cultivables). Según la FAO (2019), los países de mayor producción fueron China (99'147.000 t), India (48'605.000 t), Rusia (29'589.976), Ucrania (22'208.220) y Estados Unidos (20'017.350). Colombia ocupó el puesto 25 con 2'819.026 t; cifra que contrasta con las 3'760.197,22 t reportadas por las estadísticas nacionales (Agronet, 2019).

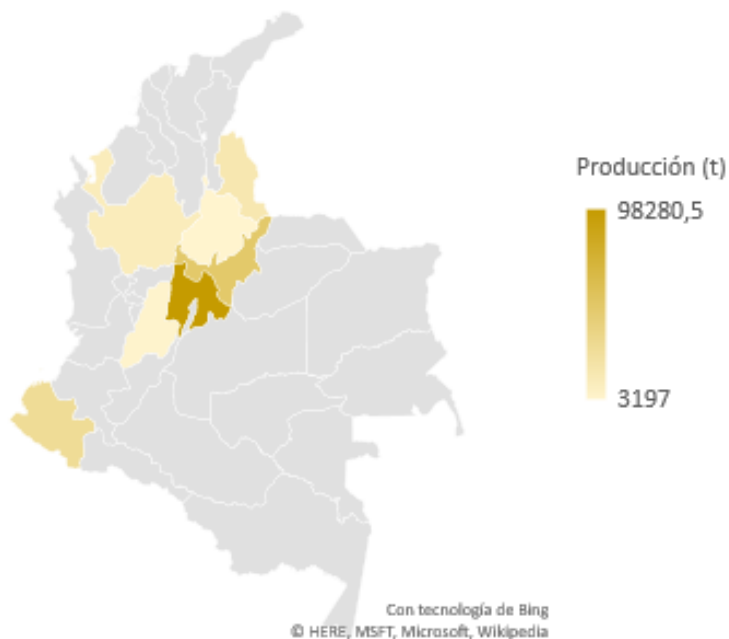


Figura 1. Mapa coroplético de producción (t) de papa Grupo Phureja en los departamentos de Colombia en el año 2017 según cifras de Agronet (2019).

La especie de papa Grupo Phureja es originaria de los Andes suramericanos (Bonilla y Pérez, 2010). Es una planta herbácea de clima frío, que presenta crecimiento ascendente. Bonilla y Pérez (2010), Porras y Herrera (2015) y Navas y Díaz, (2012) recopilan su descripción botánica así como las condiciones ecofisiológicas, las plagas que la afectan y el manejo del cultivo.

Los tubérculos del Grupo Phureja son de características heterogéneas (Rojas y Seminario, 2014) en cuanto a su color, que puede ser en algunos casos amarillo, negro o morado; su forma, que tiende a ser redonda en las variedades comerciales (Bonilla y Pérez, 2010) u ovoide; y su tamaño, que en su mayoría es pequeño (**Figura 2**).

Según Bonilla y Pérez (2010), el rango de producción óptimo para este tipo de papa está entre 2.500 y 3.000 msnm; pues en altitudes entre 1.500 y 2.000 msnm las enfermedades ocasionadas por plagas, especialmente la *Phytophthora infestans*, requieren cuidado. En contraste, en altitudes mayores a 3.500 y 4.000 msnm las bajas temperaturas son la principal limitante (Bonilla y Pérez, 2010). El cultivo resiste temperaturas en un rango de 6 a 20 °C, requiriendo un promedio anual de lluvia igual o mayor a 900 mm. Asimismo, el suelo debe tener valores de pH que oscilen entre 4,0 y 6,2, con una textura franca, buen drenaje y alto contenido de materia orgánica (Bonilla y Pérez, 2010).

Los tubérculos del Grupo Phureja tienen una ausencia o latencia mínima (Zárate-Polanco et al., 2014), esta característica hace que presenten brotes rápidamente y, por lo tanto, pérdidas de calidad comercial, lo que dificulta su exportación como tubérculos frescos (Zárate-Polanco et al., 2014). Sin embargo, se han realizado esfuerzos para contrarrestar la falta de latencia mediante el uso de reguladores químicos (Toro, 2016) y condiciones de almacenamiento adecuadas (Valencia-Flórez, Trejo-Escobar, Latorre-Vásquez, Mejía-España, y Hurtado, 2019).



Figura 2. Diferentes variedades de papa *Solanum tuberosum* Grupo Phureja. Tomada de [Burlingame et al. \(2009\)](#).

Sobre el germoplasma que se mantiene en Colombia, se ha investigado sobre 108 genotipos de su colección, 13 variedades nativas, cuatro genotipos comerciales y siete clones de reproducción avanzada del Grupo Phureja (Duarte-Delgado et al., 2016; Narváez-Cuenca et al., 2018; Peña et al., 2015; Piñeros-Niño et al., 2017). Este germoplasma es importante para estudios genéticos y se utiliza como recurso genético en programas de mejoramiento de papa (Juyó et al., 2015).

Los tubérculos del Grupo Phureja se han descrito como una buena fuente de energía, debido a su alto porcentaje de carbohidratos digeribles, ya que son ricos en almidón. La fibra dietaria se cuenta como un componente bioactivo importante en tales tubérculos, cuya ingesta está asociada con la salud intestinal y el control glucémico, entre otras propiedades (Camire et al., 2009); contienen también compuestos fenólicos y carotenoides (Amado, Franco, Sánchez, Zapata, y Vázquez, 2014; Ji et al., 2016; Narváez-Cuenca et al., 2013). La variación de nutrientes y compuestos bioactivos en los tubérculos del Grupo Phureja se discutirá en detalle en los siguientes capítulos.

A diferencia del Grupo Tuberosum, tanto la producción como la industria de los tubérculos del Grupo Phureja son más pequeñas. En Perú, los tubérculos del Grupo Phureja se comercializan principalmente en los mercados locales para preparar platos como cremas y sopas (generalmente como espesante) (CIP, Asociación Pataz, e INIA, 2015). En la **Figura 3** se muestran algunas de las preparaciones más comunes en Colombia, pues se utilizan para la preparación del tradicional "Ajiaco santafereño" y de empanadas (Bonilla y Pérez, 2010; Piñeros-Niño, 2009); aunque también se consumen estos tubérculos enteros hervidos, fritos o fermentados ("hutes"; ICBF, 2015). En el campo del procesamiento industrial, los productos como la harina, los productos deshidratados, las papas fritas, las papas congeladas, las papas en escabeche, las papas preformadas y el almidón, generalmente se producen y exportan (Bonilla y Pérez, 2010).



Figura 3. Preparaciones a partir de papa Grupo Phureja. Izquierda arriba: papas congeladas. Derecha arriba: papas fritas (Frugy, s.f.). Izquierda abajo: empanadas (Empanadas de la Cima, s.f.). Derecha abajo: sopa de Ajiaco (“Ajiaco,” s.f.).

Ñústez (2011) realizó una descripción de las características morfológicas y de cultivo de 11 variedades de papa Grupo Phureja registradas en Colombia, tanto de cultivares mejorados (Betina, Esmeralda, ICA Nevada, Pastusa Suprema, Criolla Galeras, Criolla Guaneña, Criolla Latina, Criolla Paisa) como de nativos diploides (Criolla Colombia, Mambera, Tornilla). Según Bonilla y Pérez (2010) los principales usos de las variedades comerciales de papa Grupo Phureja se describen a continuación:

- Criolla Colombia: Aptitud para procesamiento como precocida congelada y en encurtido (lata). Excelente calidad culinaria tanto en la presentación congelada como en consumo fresco.
- Criolla Galeras: Aptitud para procesamiento como precocida congelada.
- Criolla Guaneña: Aptitud para procesamiento como precocida congelada y en encurtido (lata). Idónea para fritura en hojuelas y para consumo en fresco.
- Criolla Latina: Aptitud para procesamiento como precocida congelada y apta para encurtidos tanto en lata como en vidrio. No tiene aptitud para freído.

- Criolla Paisa: Aptitud principalmente para consumo en fresco y no para freído.

Como se muestra en la **Figura 4**, en Colombia el costo de producción y de insumos de las variedades del Grupo Phureja es más bajo que el de las del Grupo Tuberosum (Fedepapa, 2018). Este hecho está relacionado con la menor aplicación de productos para el manejo integrado de plagas y enfermedades (MIPE), ya que el ciclo de producción del Grupo Phureja es más rápido que el del Grupo Tuberosum.

COSTOS DE PRODUCCIÓN DE PAPA EN CUNDINAMARCA				
CATEGORIA	VARIEDAD			COSTO PROMEDIO DEL DPTO.
	CRIOLLA	DIACOL CAPIRO	PASTUSA SUPREMA	
EMPAQUES	\$ 293.149	\$ 539.083	\$ 629.566	\$ 487.298
INSUMOS	\$ 6.960.577	\$ 9.505.077	\$ 11.264.175	\$ 9.035.124
MANO DE OBRA	\$ 6.355.312	\$ 4.355.664	\$ 4.556.083	\$ 4.805.731
MAQUINARIA Y EQUIPO	\$ 774.315	\$ 893.503	\$ 1.379.276	\$ 903.760
TRANSPORTE	\$ 167.143	\$ 150.179	-	\$ 142.236
COSTOS INDIRECTOS	\$ 1.454.225	\$ 1.250.190	\$ 1.399.265	\$ 1.311.085
COSTO TOTAL POR VARIEDAD	\$ 16.004.720	\$ 16.693.696	\$ 19.228.363	\$ 16.685.233

COSTOS DE INSUMOS EN CUNDINAMARCA				
SUBCATEGORIA	VARIEDAD			COSTO PROMEDIO DEL DPTO.
	CRIOLLA	DIACOL CAPIRO	PASTUSA SUPREMA	
FERTILIZANTES EDÁFICOS	\$ 2.661.802	\$ 3.852.194	\$ 4.202.294	\$ 3.594.508
FERTILIZANTES FOLIARES	\$ 103.514	\$ 364.226	\$ 47.975	\$ 276.355
MIPE	\$ 2.080.574	\$ 2.525.065	\$ 3.575.312	\$ 2.502.407
SEMILLA	\$ 2.021.904	\$ 2.590.158	\$ 3.278.678	\$ 2.508.859
ENMIENDAS	-	\$ 173.434	\$ 159.916	\$ 130.728
ABONOS ORGÁNICOS	\$ 92.782	-	-	\$ 22.268
COSTO TOTAL POR VARIEDAD	\$ 6.960.577	\$ 9.505.077	\$ 11.264.175	\$ 9.035.124

Fuente: Proyecto "Núcleos progresivos para asistencia técnica en el subsector de la papa"-Cálculos Sistemas de Información FNFP-Fedepapa

Figura 4. Costos de producción de papa Grupo Phureja en el Departamento de Cundinamarca. Tomadas de Fedepapa (2018).

CAPÍTULO 2. COMPOSICIÓN NUTRICIONAL DE LA PAPA

Grupo Phureja

La papa es una importante fuente de carbohidratos, presenta alto contenido de agua y es virtualmente libre de grasa (FAO, 2008). El aporte de minerales y la calidad de su proteína la convierten en un producto ideal dentro de la dieta (Porrás y Herrera, 2015). La **Tabla 1** muestra los datos recopilados sobre el contenido de macro y micronutrientes en tubérculos crudos de papa del Grupo Phureja. Sin embargo, otros autores han reportado los contenidos al analizar papas de este grupo después de algún proceso de cocción (Narváez-Cuenca et al., 2018; Peña et al., 2015).

Debido a su producción limitada, hay poca información sobre la composición proximal del Grupo Phureja. Sin embargo, la mayoría de los datos recopilados aquí, se obtuvieron de la tabla de composición de alimentos colombianos del Instituto Colombiano de Bienestar Familiar (ICBF, 2018). Dicha tabla incluye 967 datos de alimentos con información sobre alimentos nativos y las preparaciones típicas más importantes en el país. Además, otros trabajos de investigación han explorado parte de la composición de este grupo en forma pelada o sin pelar, información que también se incluye en la **Tabla 1** (Bonilla y Pérez, 2010; Cerón-Lasso, Alzate-Arbeláez, Rojano, y Ñuztez-Lopez, 2018; Zárate-Polanco et al., 2014). Todos esos datos fueron contrastados con los reportados para tubérculos del Grupo Tuberosum en la base de datos FAO/INFOODS de biodiversidad sobre composición de alimentos (BioFoodComp4.0) (FAO, 2017).

El Grupo Phureja contiene cantidades de fibra cruda, sodio, potasio y niacina más altas que el Grupo Tuberosum, y el contenido de los otros nutrientes es bastante similar en ambos grupos. Sin embargo, es importante considerar que la composición de nutrientes y bioactivos puede tener variaciones muy significativas de acuerdo con cada genotipo en particular (Burlingame et al., 2009; Cerón-Lasso et al., 2018; Ritter, Barandalla, López, y De Galarreta, 2008). Mosquera Vásquez et al. (2017) realizaron una investigación transdisciplinaria sobre el desarrollo de tres variedades de papas del Grupo Phureja con un mayor contenido de hierro y zinc que los cultivares tradicionales, para impactar el sector rural y de salud en Colombia.

Tabla 1 Contenido nutricional de tubérculos de papa cruda Grupo Tuberosum y Grupo Phureja

Referencia ^a	Grupo Tuberosum		Grupo Phureja			
	FAO (2017)	ICBF (2018)	Bonilla y Pérez (2010)	Cerón-Lasso <i>et al.</i> (2018)	Zárate-Polanco <i>et al.</i> (2014) ^b	
Descripción	Base de datos con 814 entradas de 422 cultivares diferentes	Sin especificar número de muestras o nombre del cultivar ^{up}	Variedad Criolla Colombia	21 cultivares del banco de germoplasma Corpoica ^{up}	17 clones del Programa de mejoramiento de Corpoica ^c en zona 1 ^{up}	17 clones del Programa de mejoramiento de Corpoica en zona 2 ^{up}
Humedad^d	73,1 - 88,8	75,4	75,5	72,1 - 77,2	(74,4 - 80,8) ± 1,6	(72,4 - 79,7) ± 2,4
Lípidos^d	0,06 ± 0,01	0,1	0,1	-	-	-
Fibra cruda^d	0,3 - (0,5 ± 0,08)	0,6	2,2	-	-	-
Cenizas^d	0,6 - (1,2 ± 0,08)	1,2	1	1,0 ± 0,0 - 2,6 ± 0,0	-	-
Almidón^d	9,1 - 19,5	-	-	14,4 ± 1,4 - 22,4 ± 1,0*	(8,7 - 19,3) ± 2,8*	(16,8 - 22,7) ± 1,7*
Azúcares reductores^d	0,2 - 1,3	1,4	-	0,9 ± 0,3 - 3,8 ± 0,0	(1,5 - 6,4) ± 1,6	(0,7 - 3,0) ± 0,6
Proteína^d	1,7 - 4,2	2,2	2,5	1,7 ± 0,2 - 2,8 ± 1,2	-	-
Hierro^e	0,3 - (3,8 ± 0,4)	1,0	0,6	-	-	-
Calcio^e	0,87 - 17,0	11,0	7,0	-	-	-
Potasio^e	5,3 - (651,9 ± 91,9)	-	-	-	-	-
Sodio^e	0,1 - (6,7 ± 3,2)	18,0	-	-	-	-
Fósforo^e	46 - (60,7 ± 4,8)	36,0	54,0	-	-	-
Ácido ascórbico (VIT C)^e	2,8 - (42,0 ± 1,8)	32,0	15,0	12,8 - 17,6	-	-
Niacina (VIT B3)^e	1,2 - 1,7	2,4	2,5	-	-	-
Tiamina (VIT B1)^e	0,08 - 0,11	0,1	0,08	-	-	-
Riboflavina (VIT B2)^e	0,03 - 0,04	0,03	0,06	-	-	-

^a En algunos casos los autores no reportan la desviación.

^b Los autores reportan la desviación de todo el intervalo. Las zonas se refieren a dos municipios diferentes en Colombia.

^c El Programa de mejoramiento de Corpoica (ahora Agrosavia) se enfoca en obtener variedades con alta producción de tubérculos, excelente calidad para procesamiento industrial y culinario, así como con resistencia genética al *Phytophthora infestans*.

^d g/100 g Base húmeda (BH).

^e mg/100 g BH.

* Determinado por diferencia entre azúcar total y azúcares reductores.

^{up}: sin pelar.

El contenido de humedad es, con mucho, el componente más abundante en los tubérculos de papa, con valores que varían en un intervalo ligeramente menor en el Grupo Phureja (72,1 - 80,8 g/100 g base húmeda, BH) en comparación con los del Grupo Tuberosum (73,1 - 88,8 g/100 g BH). Los tubérculos de papa del Grupo Phureja contienen hasta 6,5 veces más fibra cruda (0,6 - 2,2 g/100 g BH) que los tubérculos de papa del Grupo Tuberosum (0,3 - 0,5 g/100 g BH), y aunque no se reporta información de fibra dietaria para tubérculos crudos, en muestras hervidas enteras del Grupo Phureja se reportan contenidos de fibra dietaria total (9,1 - 27,1 g/100 g BH; [Narváez-Cuenca et al., 2018](#)), de fibra dietaria soluble (1,0 - 6,6 g/100 g BH) y de fibra dietaria insoluble (6,3 - 20,9 g/100 g BH; [Narváez-Cuenca et al., 2018](#); [Peña et al., 2015](#)).

Como se discutió anteriormente, los tubérculos de papa del Grupo Phureja se consideran una buena fuente de energía debido a su alto porcentaje de carbohidratos digeribles ([Bonilla y Pérez, 2010](#); [ICBF, 2018](#); [Piñeros-Niño et al., 2017](#)). El almidón, el principal representante de los carbohidratos digeribles, está presente en un rango ligeramente mayor en los tubérculos de papa del Grupo Phureja (8,7 - 22,7 g/100 g BH) que en el Grupo Tuberosum (9,1 - 19,5 g/100 g BH). Se han realizado varias investigaciones en las que se evalúan las propiedades funcionales del almidón de papa Grupo Phureja con potenciales aplicaciones tanto para la industria alimentaria como para la no alimentaria ([Cáceres et al., 2012](#); [Martínez, Málaga, Betalleluz, Ibarz, y Velezmoro, 2015](#); [Velásquez-Herrera, Lucas-Aguirre, y Quintero-Castaño, 2017](#); [Zárate-Polanco et al., 2014](#)). De acuerdo a los autores antes citados, hay amplias diferencias entre el almidón de este Grupo respecto al del Grupo Tuberosum ([Cáceres et al., 2012](#)) y a mayor contenido de materia seca, mayor contenido de almidón y mayor rendimiento en su extracción ([Zárate-Polanco et al., 2014](#)).

Los tubérculos del Grupo Phureja pueden contener cantidades menores de proteínas (1,7 - 2,8 g/100 g BH) que el Grupo Tuberosum (1,7 - 4,2 g/100 g BH), y que las encontradas en el grupo Andigena (hasta 4,2 g/100 g BH) ([Burlingame, Mouillé y Charrondièrre, 2009](#)). Sin embargo, [Peña et al. \(2015\)](#) informan que los clones del Grupo Phureja de variedades mejoradas tienen valores de proteína más altos en comparación con los cultivares comerciales cuando se analizan después de la ebullición. La

investigación muestra que la heredabilidad del contenido de proteínas en el grupo de papa Phureja es moderada, porque su expresión también se ve afectada por las condiciones agroclimáticas (Lu, Yu, Bai, Li, y Xu, 2012; Rodríguez, Núñez, Cotes, y Rodríguez, 2011). Esta condición, la convierte en un alimento importante para la seguridad alimentaria en Colombia (Porras y Herrera, 2015) y para el sector de procesamiento para extraer proteínas (Lu et al., 2012), pues los tubérculos ya se han usado en estudios exploratorios de nuevos germoplasmas para la reproducción de papas con alto contenido de las mismas (Lu et al., 2012).

Los micronutrientes como los minerales y las vitaminas, junto con los macronutrientes, son esenciales para el funcionamiento normal del metabolismo humano (crecimiento y desarrollo) y para la regulación de la función celular (Liu, 2013). El Grupo Phureja puede proporcionar un alto contenido de potasio [563 mg/100 g BH (Ritter et al., 2008)] y sodio (18 mg/100 g BH) en comparación con el Grupo Tuberosum (5,3 - 651,9 mg/100 g BH y 0,1 - 6,7 mg/100 g BH respectivamente). Por el contenido de otros minerales como el hierro, el calcio y el fósforo, las diferencias no son prominentes con respecto al contenido del Grupo Tuberosum. Al analizar las vitaminas presentes en los tubérculos de papa, la más abundante es el ácido ascórbico (VIT C) (12,8 - 32,0 mg/100 g BH en Phureja en comparación con 2,8 - 42,0 mg/100 g BH en Tuberosum).

Bártová et al. (2015) realizaron un estudio sobre la composición de aminoácidos libres de tubérculos enteros del Grupo Phureja. Los aminoácidos esenciales con el contenido más alto (valor medio g de aminoácido/16 g de N) fueron lisina (10,49), histidina (5,83), leucina (4,95) y valina (3,99). El valor nutricional (estimado como índice de aminoácidos esenciales, EAAI) de los aminoácidos libres del Grupo Phureja es más alto que el de otras especies como *Andigenum*, *Goniocalyx*, *Stenotomum* y *Tuberosum*. También caracterizaron los aminoácidos esenciales de la proteína presente en los tubérculos del Grupo Phureja, encontrando altas contribuciones de aquellos que juegan un papel importante en la calidad de las proteínas. Estos aminoácidos incluyeron lisina (10,91), seguida de leucina (6,65), histidina (6,30), valina (3,97), treonina (3,81), fenilalanina (3,65) y tirosina (3,25). Se encontró una fuente limitada de aminoácidos sulfurados como cisteína (1,62) y metionina (1,05).

CAPÍTULO 3. COMPOSICIÓN DE COMPUESTOS BIOACTIVOS DE LA PAPA Grupo Phureja

3.1 Compuestos fenólicos

Varios estudios muestran que estos compuestos tienen beneficios para la salud humana, generalmente atribuidos a su actividad antioxidante y sus acciones biológicas, como la antimicrobiana y antiproliferativa (Velderrain-Rodríguez et al., 2014). Aunque el contenido fenólico y la capacidad antioxidante de los tubérculos de papa son más bajos que los de algunas otras plantas, las altas tasas de consumo de papa podrían contribuir a una mayor ingesta diaria de tales compuestos (Akyol et al., 2016). La cantidad de compuestos fenólicos y su estabilidad dependen de varios factores, como el genotipo, los procesos agrotécnicos, las condiciones agroclimáticas, la madurez en la cosecha y las manipulaciones posteriores, como el almacenamiento, el procesamiento y los métodos de cocción (Akyol et al., 2016). Además del estudio realizado por Cuéllar-Cepeda et al. (2019), no existen estudios que analicen algunas de estas variables en genotipos del Grupo Phureja.

El contenido de los principales compuestos fenólicos identificados en los tubérculos crudos de papa del Grupo Phureja se muestra en la **Tabla 2**. El compuesto fenólico más abundante es el ácido clorogénico (ácido 5-*O*-cafeoil quínico; **Figura 5a**), con concentraciones que varían en un amplio intervalo (25,21 - 2.940 mg/100 g Base seca, BS) (Cuéllar-Cepeda et al., 2019; Narváez-Cuenca et al., 2013; Pillai, Navarre, y Bamberg, 2013). Se ha descrito que este compuesto tiene propiedades antidiabéticas (Ong, Hsu, y Tan, 2013) y anticancerígenas (Feng et al., 2005) cuando se evalúa en estudios con animales. El segundo más abundante es el ácido 4-*O*-cafeoilquínico (ácido *cripto*-clorogénico, **Figura 5b**; en un rango de 1,7 mg/100 g BS en todo el tubérculo a 167,9 mg/100 g BS solo en la cáscara), seguido del ácido cafeico (**Figura 5c**; encontrado desde trazas en todo el tubérculo hasta 112,1 mg/100 g BS en cáscara), ácido 3-*O*-cafeoilquínico (ácido *neo*-clorogénico, **Figura 5d**; desde 0,6 en pulpa y 19,2 mg/100 g BS en cáscara), y la poliamina conjugada cafeoil-putrescina (**Figura 5e**; 0,4 en pulpa - 25,5 en cáscara de mg/100 g BS).

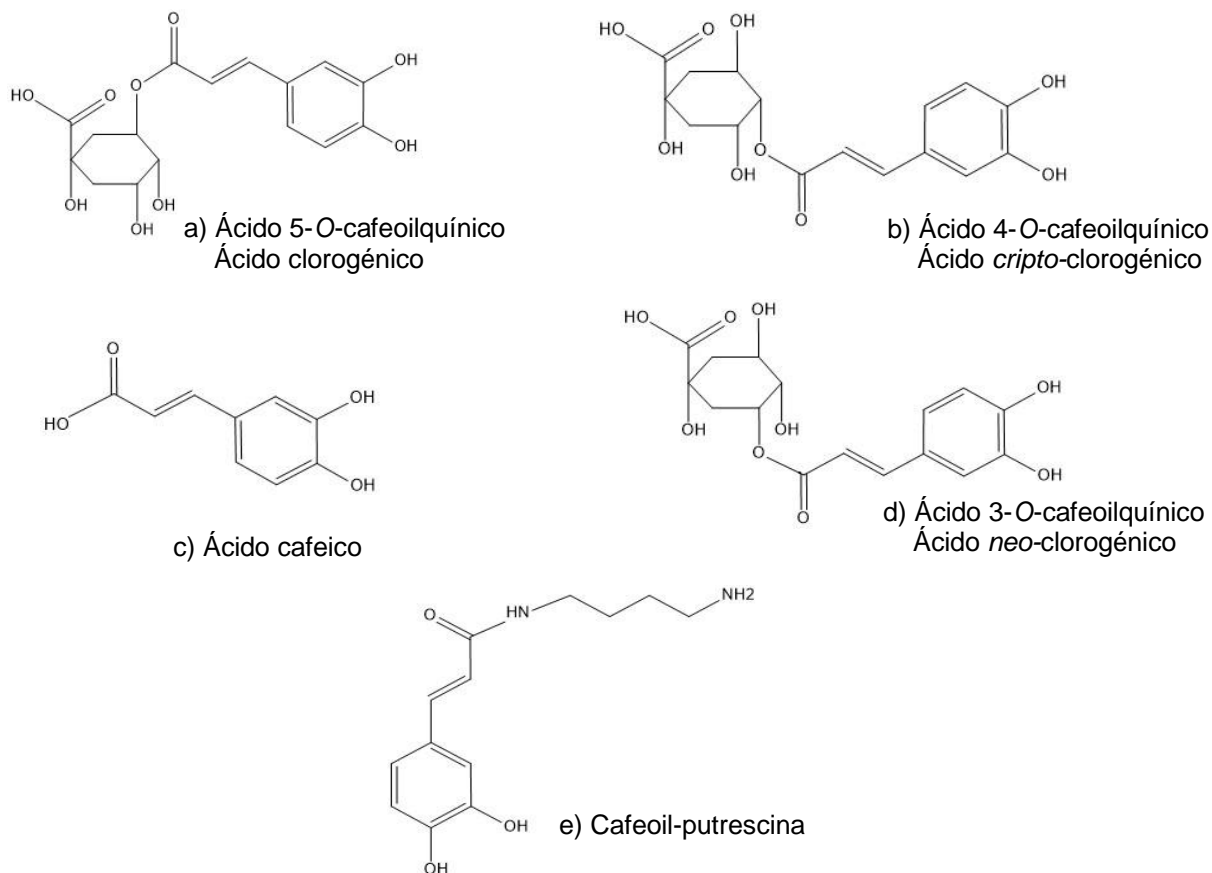


Figura 5. Estructuras químicas de los compuestos fenólicos de mayor contenido en tubérculos del Grupo Phureja.

Pillai et al. (2013) también encontraron flavonoides como la rutina (2,12 - 53,61 mg/100 g BS), el kaempferol-3-rutinosido (3,0 - 303,7 mg/100 g BS) y el diekaempferol dideoxihexosil-hexósido (1,60 - 65,48 mg/100 g BS). Por su parte, Narváez-Cuenca et al., (2013) realizaron un estudio comparando las cantidades de compuestos fenólicos en cuatro genotipos de papa del Grupo Phureja donde también identificaron y cuantificaron la presencia de varios conjugados de ácidos (dihidro) hidroxicinámicos (1,14 - 1,75 mg/100 g BS en pulpa y 25,34 - 59,00 mg/100 g BS en cáscara) como por ejemplo la *N*¹,*N*⁶-bis (dihidrocafeoil) espermidina (3,49 - 6,97 mg/100 g BS en pulpa y 58,58 - 83,20 mg/100 g BS en cáscara) y otros ácidos hidroxicinámicos como la sinapoil hexosa, el ácido 5-*O*-feruloilquínico, conjugado de cafeoil (en pulpa) y feruloil-octopamina (en cáscara). Además, los autores encontraron que el contenido de compuestos fenólicos era mayor en la cáscara que en la pulpa (**Tabla 2**).

Tabla 2. Contenido de los principales compuestos fenólicos identificados en tubérculos de papa cruda del Grupo Phureja (mg/100 g BS).

Cultivar	Color de cáscara /Color de pulpa	Ácido clorogénico	Ácido <i>cripto</i> -clorogénico	Ácido cafeico	Ácido <i>neo</i> -clorogénico	Cafeoil putrescina	Referencia
RN12.01 ^{us}	Morado / Amarillo con manchas moradas	540,0 ± 80,0	16,9 ± 5,3	10,5 ± 2,4	2,2 ± 0,2	1,8 ± 0,4	
RN12.02 ^{us}	Morado / Amarillo con manchas moradas	230,0 ± 10,0	13,2 ± 2,5	12,0 ± 1,8	2,8 ± 0,5	0,7 ± 0,1	
RN27.01 ^{us}	Morado - con sectores amarillos/ Morado-amarillo	2.940,0 ± 180,0	133,1 ± 40,0	Trazas	4,2 ± 0,2	5,0 ± 0,2	
RN31.01 ^{us}	Rojo / Amarillo-rojo	690,0 ± 70,0	6,2 ± 0,1	11,6 ± 1,3	2,0 ± 9,3	1,1 ± 0,5	Pillai <i>et al.</i> (2013)
RN35.01 ^{us}	Rojo / Amarillo con manchas rojas	510,0 ± 60,0	8,6 ± 1,7	6,8 ± 0,6	2,2 ± 0,4	0,6 ± 0,0	
RN39.05 ^{us}	Amarillo - morado claro / Amarillo	750,0 ± 20,0	165,5 ± 44,6	2,2 ± 3,8	8,8 ± 3,4	1,0 ± 0,1	
RN41.06 ^{us}	Rojo / Amarillo con manchas rojas	280,0 ± 220,0	16,9 ± 4,7	6,3 ± 0,9	6,1 ± 2,3	0,7 ± 0,1	
RN43.14 ^{us}	Rojo / Amarillo con manchas rojas	470,0 ± 80,0	19,1 ± 1,9	5,4 ± 0,3	4,7 ± 0,1	0,8 ± 0,1	
Criolla Colombia ^p	Amarillo / Amarillo	314,2 ± 30,1	43,9 ± 1,3	52,4 ± 6,2	5,4 ± 0,9	13,4 ± 1,1	
Criolla Colombia ^f		37,8 ± 3,0	4,2 ± 0,3	1,0 ± 0,0	0,6 ± 0,0	0,4 ± 0,1	
*Pastusa suprema ^p	Morado claro / Amarillo	471,1 ± 47,1	166,8 ± 6,6	112,1 ± 15,3	13,4 ± 1,7	19,2 ± 4,7	Narváez-Cuenca <i>et al.</i> (2013)
*Pastusa suprema ^f		53,9 ± 2,7	9,42 ± 0,10	1,4 ± 0,2	0,7 ± 0,0	0,6 ± 0,1	
*Betina ^p	Morado claro / Amarillo	180,3 ± 28,1	139,9 ± 22,1	82,3 ± 13,6	19,2 ± 0,9	9,2 ± 2,9	
*Betina ^f		34,9 ± 5,2	14,4 ± 0,8	2,4 ± 0,2	1,5 ± 0,1	0,8 ± 0,1	
*Esmeralda ^p	Rojo / Amarillo	264,9 ± 16,8	167,9 ± 11,5	111,4 ± 7,9	19,0 ± 1,1	25,5 ± 3,2	
*Esmeralda ^f		32,0 ± 3,6	11,4 ± 0,8	1,1 ± 0,2	1,5 ± 0,3	1,5 ± 0,1	
Criolla Ocarina ^{up}	Amarillo / Amarillo	48,4 ± 2,5 - 59,0 ± 0,9	3,8 ± 0,2 - 4,4 ± 0,1	2,7 ± 0,2 - 2,8 ± 0,1	2,2 ± 0,2 - 2,6 ± 0,0	-	
Criolla Dorada ^{up}	Amarillo / Amarillo	25,2 ± 0,1 - 47,4 ± 2,0	1,7 ± 0,0 - 2,9 ± 0,1	1,3 ± 0,0 - 2,2 ± 0,2	1,7 ± 0,1 - 4,0 ± 0,0	-	Cuéllar-Cepeda <i>et al.</i> (2019)
Criolla Sua Pa ^{up}	Amarillo / Amarillo	29,1 ± 1,6 - 59,6 ± 1,7	1,9 ± 0,1 - 3,2 ± 0,1	1,8 ± 0,1 - 2,4 ± 0,2	2,3 ± 0,1 - 5,2 ± 0,4	-	
Criolla Colombia ^{up}	Amarillo / Amarillo	58,4 ± 2,8 - 54,7 ± 1,4	3,7 ± 0,2 - 4,4 ± 0,0	1,6 ± 0,0 - 3,1 ± 0,1	3,6 ± 0,1 - 7,9 ± 0,5	-	

f: pulpa, p: pelada, up: sin pelar, us: sin especificar.

*Cultivares con diferentes parientes además del Grupo Phureja.

Por lo general, estas cáscaras se eliminan como residuos de productos de papa; por lo tanto, existe la oportunidad de aprovechar los compuestos fenólicos de dichos residuos en la industria alimentaria o farmacéutica debido a su potencial capacidad antioxidante y funcionalidad para la salud humana (Singh, Singh, Singh, Kaur, y Singh, 2019).

Cerón-Lasso et al. (2018) encontraron que el contenido fenólico total, según lo evaluado por el reactivo Folin-Ciocalteu, estaba entre $161,6 \pm 14,2$ y $442,7 \pm 37,5$ mg equivalentes de ácido gálico/100 g BS para 21 genotipos del Grupo Phureja, destacando que los genotipos de cáscara y pulpa de color rojo contenían los valores más altos, en comparación con los de la cáscara y la pulpa amarillas. Debido a que los tubérculos de papa con pulpa blanca se comercializan más que aquellos con coloraciones (Akyol et al., 2016), se han sugerido propuestas de mejora para el contenido fenólico de los cultivares más consumidos, seleccionando genotipos que tengan mejores características funcionales (Cerón-Lasso et al., 2018).

Las antocianinas (**Tabla 3**) son una subclase de flavonoides pigmentados que se encuentran en las papas rojas y moradas (Akyol et al., 2016). Las antocianidinas (formas deglicosiladas de antocianinas) más comunes que se encuentran después de la hidrólisis de papas sin pelar del Grupo Phureja son malvidina, petunidina, delphinidina y peonidina en tubérculos morados y pelargonidina en rojos (Akyol et al., 2016; Hejtmánková et al., 2013). Las antocianinas petunidina-3-O-coumaroil-rutinósido-5-O-glucósido y pelargonidina-3-O-coumaroil-rutinósido-5-O-glucósido se encontraron como las más abundantes en los tubérculos de papa cruda del Grupo Phureja (Pillai et al., 2013).

Entre todos los factores que afectan la cantidad de compuestos fenólicos y su estabilidad se han estudiado el genotipo, los procesos agrotécnicos, las condiciones agro-climáticas, la madurez durante la cosecha y las manipulaciones posteriores (como el almacenamiento), los métodos de procesamiento y los de cocción (Akyol et al., 2016). Respecto al último factor, Ji et al. (2016); Parra-Galindo et al. (2019) y Piñeros-Niño et al. (2017), analizan el contenido de compuestos fenólicos en genotipos del Grupo Phureja previamente cocinados aunque no estudian el efecto de la cocción.

Tabla 3. Concentraciones de antocianinas ($\mu\text{g/g}$ BS) en papas crudas del Grupo Phureja reportadas por Pillai et al. (2013).

Cultivar	Color de cáscara /Color de pulpa	Pet-3-coum-rut-5-glu	Pel-3-coum-rut-5-glu	Mal-3-coum-rut-5-glu	Peo-3-coum-rut-5-glu	Cyan-3-coum-rut-5-glu	Pet-3-rut	Cyan-3-rut	Pet-3-coum-rut	Del-3-coum-rut-5-glu	Pel-3-caf-rut-5-glu	Del-3-rut
RN12.01	Morado / Amarillo con manchas moradas	2870 \pm 170	286 \pm 18	275 \pm 13	579 \pm 37	199 \pm 12	102 \pm 9	98 \pm 7	135 \pm 7	129 \pm 8	Trazas	101 \pm 9
RN12.02	Morado / Amarillo con manchas moradas	2508 \pm 934	210 \pm 15	226 \pm 58	84 \pm 28	101 \pm 27	97 \pm 28	83 \pm 30	86 \pm 29	106 \pm 28	Trazas	97 \pm 28
RN27.01	Morado - con sectores amarillos/ Morado-amarillo	326 \pm 17	12895 \pm 2308	1012 \pm 34	603 \pm 145	404 \pm 46	2142 \pm 189	309 \pm 29	404 \pm 25	-	893 \pm 257	-
RN31.01	Rojo / Amarillo-rojo	73 \pm 1	3172 \pm 313	256 \pm 23	122 \pm 35	87 \pm 3	414 \pm 21	72 \pm 1	96 \pm 5	76 \pm 0.8	187 \pm 20	-
RN35.01	Rojo / Amarillo con manchas rojas	192 \pm 8	243 \pm 17	106 \pm 9	159 \pm 6	2878 \pm 206	74 \pm 10	100 \pm 6	-	75 \pm 10	156 \pm 11	-
RN39.05	Amarillo - morado claro / Amarillo	143 \pm 62	1207 \pm 71	423 \pm 16	279 \pm 8	157 \pm 21	150 \pm 20	136 \pm 20	186 \pm 19	-	138 \pm 24	-
RN41.06	Rojo / Amarillo con manchas rojas	74 \pm 18	1541 \pm 320	181 \pm 32	168 \pm 35	110 \pm 25	125 \pm 26	72 \pm 19	110 \pm 24	72 \pm 17	128 \pm 24	-
RN43.14	Rojo / Amarillo con manchas rojas	101 \pm 14	1245 \pm 468	157 \pm 8	144 \pm 12	113 \pm 11	252 \pm 117	101 \pm 13	113 \pm 10	-	149 \pm 9	-

Del: delfinidina; cyan: cianadina; pet: petunidina; pel: pelargonidina; peo: peonidina; mal: malvidina; caf: cafeoil coum: cumaroilo; glu: glucósido; rut: rutinósido.

3.2 Carotenoides

Los carotenoides son polienos isoprenoides, existen más de 700 y su amplia bioproducción hace que sean uno de los grupos de pigmentos más grandes de la naturaleza. Los carotenoides oxigenados se denominan xantofilas y los no oxigenados son los carotenos (Lachman, Hamouz, Orsák, y Kotíková, 2016; Lerfall, 2016). Dado que los seres humanos no sintetizan este tipo de compuestos, es necesario ingerirlos en la dieta (Fernandez-Orozco et al., 2013). La cantidad de carotenoides totales medidos por HPLC y sumados juntos, es mayor en el Grupo Phureja (15,51 - 133,00 µg/g BS) que en el Grupo Tuberosum (0,54 - 9,35 µg/g BS; Fernandez-Orozco et al., 2013; Hejtmánková et al., 2013). En la **Tabla 4** se muestran datos de trabajos de investigación en los que se analizaron carotenoides en diferentes genotipos crudos del Grupo Phureja. Los carotenoides más comúnmente reportados en los genotipos de Phureja son violaxantina (<LOQ - 139,12 µg/g BS; **Figura 6a**), zeaxantina (no detectable - 87,39 µg/g BS; **Figura 6b**), anteraxantina (<LOQ - 64,84 µg/g BS; **Figura 6c**), luteína (<LOQ - 49,78 µg/g BS; **Figura 6d**) y β-caroteno (no detectable - 0,57 µg/g BS; **Figura 6e**).

Los carotenoides son relevantes como ingredientes alimenticios para reemplazar los pigmentos sintéticos con beneficios para la salud humana (Cooperstone y Schwartz, 2016). Por ejemplo, la luteína y la zeaxantina están presentes en el cuerpo humano y se consideran compuestos bioactivos, ya que pueden reducir el riesgo de degeneración macular (Akuffo et al., 2015; Stringham, Bovier, Wong, y Hammond, 2010). Además, se ha informado que la presencia de luteína mejora la función cognitiva en la población geriátrica (Mares, 2016). La violaxantina y la anteraxantina no son absorbidas por el cuerpo humano, pero se forman a partir de la zeaxantina, por lo que algunos investigadores han hecho esfuerzos para bloquear esta conversión y favorecer la presencia de este último en las papas (Bub, Möseneder, Wenzel, Rechkemmer, y Briviba, 2008; Römer et al., 2002). Otro carotenoide reportado es el β-caroteno, que se puede convertir en vitamina A (Lerfall, 2016), por lo que se han llevado a cabo varios programas de cultivo de papa para aumentar su contenido y el de otros carotenoides (Brown, 2008).

Tabla 4. Contenido de los principales carotenoides identificados en tubérculos de papa cruda del Grupo Phureja.

Cultivar	Color de cáscara /Color de pulpa	Violaxantina (a)	Zeaxanthin	Anteraxantina	Luteína	β-Caroteno	Referencia
Mayan Gold ^{up}	Amarillo / Amarillo	4,92 ± 0,21	-	7,43 ± 0,41	1,80 ± 0,32	0,53 ± 0,06	Kotíková <i>et al.</i> (2016)
Mayan Gold ^{up}	Amarillo / Amarillo	nd - 1,27 ± 0,05	1,29 ± 0,04 - 2,26 ± 0,17	-	3,56 ± 0,06 - 7,57 ± 0,20	nd - 0,57 ± 0,03	Hejtmánková <i>et al.</i> (2013)
Mayan Queen ^{up}	Amarillo con manchas rojas / Amarillo	1,78 ± 0,14	0,59 ± 0,04	-	8,58 ± 0,03	0,50 ± 0,02	
Mayan Gold ^{us}	- / Amarillo	5,39 ± 0,15 - 7,53 ± 0,30	2,10 ± 0,09 - 3,45 ± 0,18	8,02 ± 0,44 - 11,38 ± 0,27	3,32 ± 0,09 - 4,29 ± 0,16	nd	
Andean Sunside ^{us}	- / Naranja	0,07 ± 0,01 - 0,10 ± 0,01	13,01 ± 0,13 - 18,23 ± 1,62	0,84 ± 0,05 - 0,98 ± 0,07	0,98 ± 0,07 - 1,74 ± 0,14	nd	Sulli <i>et al.</i> (2017)
Papapura ^{us}	- / Naranja	0,10 ± 0,01 - 0,64 ± 0,02	20,28 ± 0,02 - 22,2 ± 1,74	1,11 ± 0,28 - 2,65 ± 0,16	2,18 ± 0,08 - 2,37 ± 0,14	nd	
Clone ISCI 105 / 07-8 ^{us}	- / Naranja	0,17 ± 0,02 - 0,27 ± 0,02	13,01 ± 0,06 - 13,02 ± 0,83	1,59 ± 0,16 - 2,06 ± 0,25	0,95 ± 0,13 - 1,47 ± 0,15	0,13 ± 0,00 - 0,36 ± 0,04	
RN12.01 ^{us}	Morado / Amarillo con manchas moradas	4,30 ± 0,42	21,04 ± 2,80	19,26 ± 0,39	8,52 ± 0,70	-	
RN12.02 ^{us}	Morado / Amarillo con manchas moradas	1,34 ± 0,25	37,32 ± 5,05	13,47 ± 0,76	7,64 ± 0,37	-	
RN27.01 ^{us}	Morado - con sectores amarillos/ Morado-amarillo	45,50 ± 5,30	1,54 ± 0,67	5,75 ± 0,24	18,31 ± 1,25	-	
RN31.01 ^{us}	Rojo / Amarillo-rojo	19,67 ± 2,74	5,38 ± 0,61	17,15 ± 1,08	7,56 ± 1,33	-	Pillai, Navarre y Bamberg (2013)
RN35.01 ^{us}	Rojo / Amarillo con manchas rojas	11,83 ± 1,36	0,57 ± 0,19	5,52 ± 0,52	9,84 ± 0,57	-	
RN39.05 ^{us}	Amarillo - morado claro / Amarillo	70,31 ± 9,97	3,30 ± 0,63	12,90 ± 2,14	49,78 ± 3,06	-	
RN41.06 ^{us}	Rojo / Amarillo con manchas rojas	1,59 ± 0,70	4,80 ± 0,91	2,57 ± 0,59	7,40 ± 0,87	-	
RN43.14 ^{us}	Rojo / Amarillo con manchas rojas	3,25 ± 3,71	7,62 ± 3,95	7,25 ± 6,37	7,31 ± 4,05	-	
Chaucha ^p	Café / Amarillo con manchas moradas	3,07 ± 0,18 (b)	-	0,40 ± 0,02	1,44 ± 0,09 (c)	0,09 ± 0,02	Fernandez-Orozco <i>et al.</i> (2013)

Continuación Tabla 4. Contenido de los principales carotenoides identificados en tubérculos de papa cruda del Grupo Phureja.

Mayan Gold ^P	Amarillo / Amarillo	-	0,35 ± 0,28	-	2,67 ± 0,75	-	Burmeister <i>et al.</i> (2011)
Mayan Twilight ^P	Rojo-amarillo / Amarillo	-	nd	-	2,09 ± 0,94	-	
Criolla Ocarina ^{up}	Amarillo / Amarillo	<LOQ - 2,53 ± 1,72	18,97 ± 0,55 - 87,39 ± 28,72	13,64 ± 1,15 - 64,84 ± 13,01	<LOQ - 4,89 ± 1,97	-	Cuéllar-Cepeda <i>et al.</i> (2019)
Criolla Dorada ^{up}	Amarillo / Amarillo	<LOQ - <LOQ	<LOQ - 40,33 ± 3,85	<LOQ - 16,05 ± 4,12	<LOQ - 1,64 ± 0,50	-	
Criolla Sua Pa ^{up}	Amarillo / Amarillo	<LOQ - 139,12 ± 16,88	<LOQ - 49,92 ± 9,12	6,74 ± 3,14 - 30,32 ± 2,78	<LOQ - 5,28 ± 0,41	-	
Criolla Colombia ^{up}	Amarillo / Amarillo	<LOQ - 0,73 ± 2,55	<LOQ - 76,29 ± 8,63	<LOQ - 40,89 ± 5,93	<LOQ - 2,89 ± 0,84	-	
Grupo 1 ^P (d)	- / Amarillo profundo	-	842 ± 256	276 ± 59	96 ± 33	2,7 ± 2,0	Burgos <i>et al.</i> (2009)
Grupo 2 ^P	- / Amarillo claro	-	82 ± 62	220 ± 102	163 ± 35	7,3 ± 3,2	
Grupo 3 ^P	- / amarillo claro crema y rojo	-	2,7 ± 3,4	13 ± 4	96 ± 31	20 ± 6,8	
705821 ^{up}	- / Amarillo claro	38 ± 5	nd	25 ± 3	81 ± 8	20 ± 2	Burgos <i>et al.</i> (2012)
705172 ^{up}	- / Amarillo claro	57 ± 5	nd	28 ± 2	123 ± 11	27 ± 4	
705799 ^{up}	- / Amarillo profundo	72 ± 10	588 ± 32	310 ± 17	105 ± 21	15 ± 2	
704218 ^{up}	- / Amarillo profundo	38 ± 8	1048 ± 61	190 ± 4	96 ± 6	nd	

(a) Resultados en términos de µg/g BS, excepto las últimas dos referencias que están en µg/100 g BH.

(b) Suma de todos los isómeros *trans*-violaxantina, *cis*-violaxantina y luteoxantina.

(c) Suma de todos los isómeros *trans*-luteína y *cis*-luteína.

(d) Acciones agrupadas de acuerdo con las concentraciones totales de carotenoides. Grupo 1 (n=6) mostró las mayores, grupo 2 (n=8) moderado, y grupo 3 (n=9) las menores.

^P: pelada; ^{up}: sin pelar; ^{us}: sin especificar; nd: no detectable; LOQ: Límite de cuantificación.

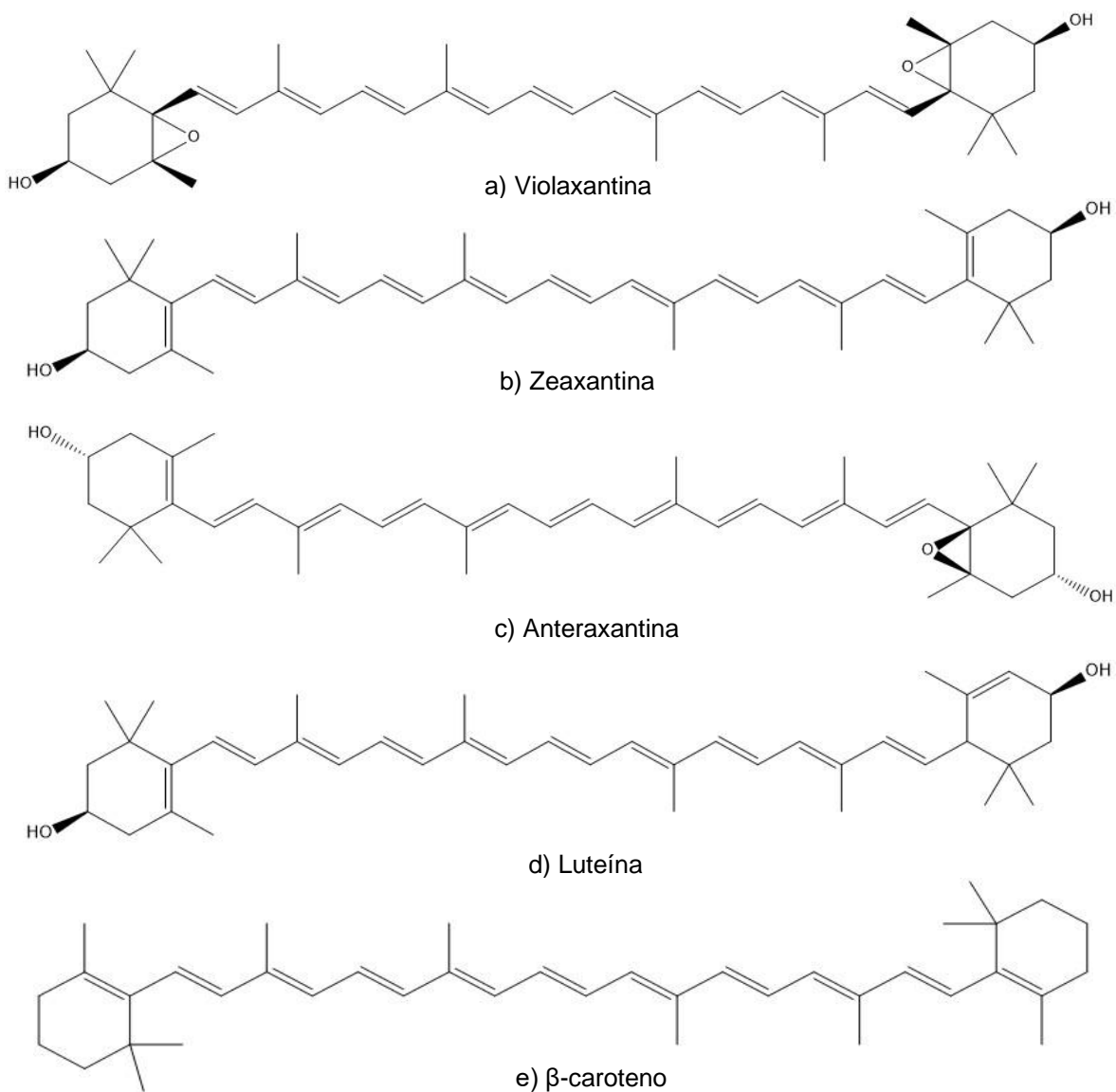


Figura 6. Estructuras químicas de los carotenoides de mayor contenido en tubérculos del Grupo Phureja.

Considerando la presencia de carotenoides en los tubérculos de papa del Grupo Phureja y su influencia positiva en la salud, se ha prestado especial atención a los factores que influyen en el contenido de estos compuestos. Uno de esos factores es la cocción, se ha encontrado que la ebullición reduce la concentración de violaxantina, antheraxantina y zeaxantina, mientras que las concentraciones de luteína no se ven afectadas o se vuelven ligeramente más altas que en los tubérculos crudos. Los cambios en la concentración dependen del genotipo evaluado, la condición agroclimática y el método de cocción (Narváez-Cuenca et al., 2018). También se ha estudiado la acumulación de

carotenoides en tubérculos de diferentes cultivares mediada por la esterificación de xantofilas, encontrando que el proceso de esterificación facilita la acumulación de estos compuestos lipofílicos dentro de los plástidos (Fernandez-Orozco et al., 2013).

Como se puede observar en la **Tabla 4** y confirmado por Kotíková et al. (2016), en comparación con los cultivares amarillos, los cultivares morados y rojos contienen un contenido más bajo de carotenoides. Hay niveles más altos de carotenoides totales en las muestras sin pelar que en las peladas (medidos por espectrofotometría; Burgos et al., 2012, 2009) y el contenido es diferente según el genotipo, aunque también puede ser diferente incluso cuando la comparación se realiza dentro del mismo, posiblemente por las condiciones agroclimáticas particulares de cada cultivo (Sulli et al., 2017). Por ejemplo, en el genotipo Mayan Gold, el contenido de luteína se informa como $1,80 \pm 0,32$ $\mu\text{g/g}$ BS (Kotíková et al., 2016), entre $3,56 \pm 0,06$ a $7,57 \pm 0,20$ $\mu\text{g/g}$ BS (Hejtmánková et al., 2013) y entre $3,32 \pm 0,09$ a $4,29 \pm 0,16$ $\mu\text{g/g}$ BS (Sulli et al., 2017).

Leyton, Abdo, Prieto, Poveda-Pisco, y Ceron-Lasso (2013) extrajeron carotenoides de 15 genotipos del Grupo Phureja, donde se identificaron luteína-5,6-epóxido y α -caroteno. Se eligieron tres de estos genotipos para la pigmentación de yogur natural debido a su mayor concentración de carotenoides y después de un análisis de pigmentos, los autores concluyeron que estos carotenoides se pueden usar como pigmentos amarillos naturales para variedad de productos además del yogur, como jabón, harina, queso, entre otros.

3.3 Glicoalcaloides y calisteginas

Los glicoalcaloides son compuestos naturales que pueden tener efectos tanto adversos como beneficiosos para los humanos (Friedman, 2006) dependiendo de las cantidades en que se consuman. Pueden llegar a causar náuseas o, en casos extremos, la muerte; aunque el interés en la extracción de estos compuestos bioactivos se debe al hecho de que poseen propiedades antialérgicas, antipiréticas, antiinflamatorias, antimicóticas y anticancerígenas, lo que hace que puedan ser utilizados en la industria farmacéutica (Eraso-Grisales, Mejía-España, y Hurtado-Benavides, 2019). Aunque la Organización Mundial de la Salud no ha establecido su toxicidad debido a datos insuficientes, las pautas informales limitan su concentración a un máximo de 20 mg/100 g BH (Friedman,

2006). La concentración total de estos compuestos en los tubérculos de papa del Grupo Phureja varía entre 1,2 y 5,8 mg/100 g BH (Griffiths y Dale, 2001), haciendo que su consumo sea adecuado porque está muy por debajo del valor máximo recomendado para el consumo humano (Friedman, 2006).

En sus análisis, Griffiths y Dale (2001) encontraron que antes de la exposición a la luz, el glicoalcaloide predominante de 11 genotipos del Grupo Phureja era la α -solanina (Figura 7a), seguido de la α -chaconina (Figura 7b); mientras la exposición a la luz resultó en un aumento del contenido total de glicoalcaloides y en la síntesis de α -solamarina (Figura 7c). Estos resultados contrastan con los reportados por Eraso-Grisales et al. (2019), quienes descubrieron que la concentración de α -chaconina es más alta que la de α -solanina en las cáscaras de papa del Grupo Phureja realizando extracción con líquidos presurizados (ELP) con agua como solvente, y establecieron que los glicoalcaloides aumentaron su concentración al disminuir la temperatura de extracción.

De forma similar a los glicoalcaloides, las calisteginas se acumulan a niveles más altos en los brotes y la cáscara del tubérculo de papa. Las calisteginas son alcaloides polihidroxilados del nortropano, de los cuales no se han informado datos de toxicidad humana (Friedman y Levin, 2016). Si bien el contenido de las calisteginas es más alto en el Grupo Phureja que en el Tuberosum, en promedio, las concentraciones en la cáscara de los cultivares Tuberosum son aproximadamente 13 veces más altas que las encontradas en la pulpa, y cuatro veces más altas en el caso de los cultivares del Grupo Phureja (Griffiths, Shepherd, y Stewart, 2008).

Para 13 cultivares del Grupo Phureja, se identificaron las calisteginas más abundantes como tipo A3 (grupo trihidroxinortropano; Figura 7d), que variaron entre 78,4 y 478,2 mg de equivalentes de tropina (TE)/kg BS y B2 (grupo tetrahidroxinortropano; Figura 7e) con valores entre 59,6 y 446,7 mg TE/kg BS. Al comparar cinco cultivares del Grupo Tuberosum, su concentración en tubérculos enteros fue de 236 mg TE/kg BS, que fue estadísticamente menor que el promedio de cuatro cultivares del Grupo Phureja con 388 mg TE/kg BS (Griffiths et al., 2008).

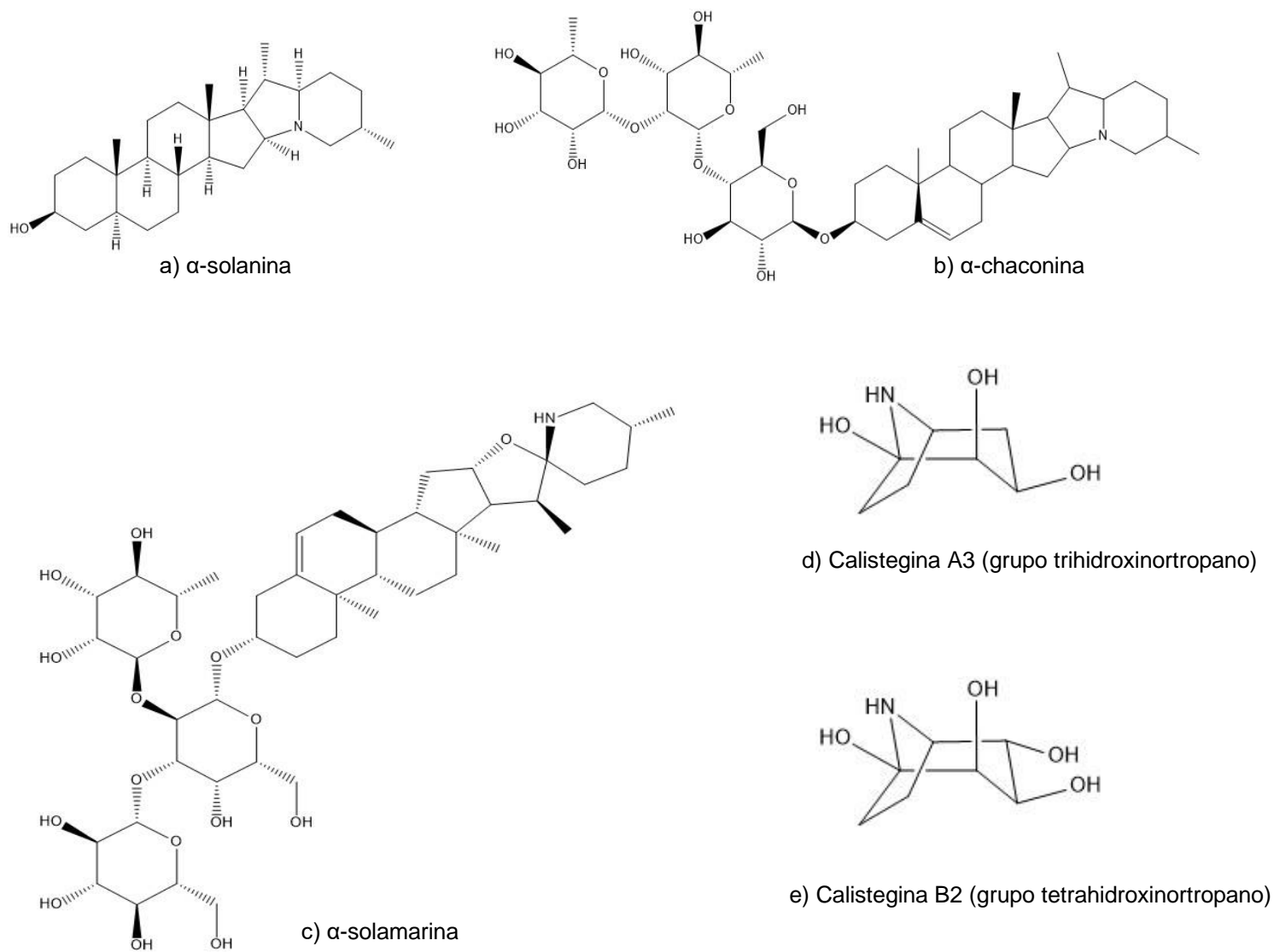


Figura 7. Estructuras químicas de los glicoalcaloides y calisteginas en tubérculos del Grupo Phureja.

CAPÍTULO 4. BIORREFINERÍA PARA EL APROVECHAMIENTO DE RESIDUOS DE PAPA Grupo Phureja

En el año 2015, la Organización de Naciones Unidas propuso 17 objetivos de desarrollo sostenible como derrotero en el marco de la Agenda Mundial 2030 para erradicar la pobreza y consolidar la paz ([UNESCO, 2017](#)). Dentro de estos objetivos, se encuentran los principales desafíos de desarrollo para la humanidad, incluyendo la producción y consumo responsables a la par de estrategias que fomenten el desarrollo económico. Al respecto, la bioeconomía o economía de base biológica, ha ganado importancia ante la necesidad de transitar hacia sistemas productivos que minimicen o eliminen la generación de desechos y el uso de recursos de origen fósil ([Rodríguez, Mondaini, y Hitschfeld, 2018](#)). Para lograrlo, se debe considerar la elección de la materia prima, de la(s) ruta(s) de conversión, del(los) producto(s) y los miramientos sobre la sostenibilidad y la cadena de valor ([Bitter, 2020](#)).

Algunas iniciativas en bioeconomía por parte de la Unión Europea, se encuentran en consorcio con universidades y alianzas público-privadas ([Agricultural University of Athens, s.f.](#); [Bio-based Industries Joint Undertaking, 2020](#)). En América Latina y el Caribe (ALC), se han desarrollado algunas políticas enfocadas a la bioeconomía, aunque los desechos en general siguen siendo vistos desde la óptica convencional como un problema de contaminación ([Rodríguez et al., 2018](#)). En la **Figura 8** se muestra el porcentaje de exportaciones por tipo de economía para 14 países, evidenciando que Colombia se encuentra dentro de aquellos con baja proporción de exportaciones de bioeconomía (menos que el promedio regional, 24,2%) y con mayor proporción de productos minerales o fósiles, que de manufacturas.

Sin embargo, recientemente en Colombia la bioeconomía es vista como un elemento central para la reconversión productiva en el marco de los Acuerdos de Paz, bajo la coordinación del Departamento Nacional de Planeación en el marco de la “Misión de crecimiento verde”. En el “Informe de Diagnóstico y definición de sectores estratégicos para Colombia” y el informe de “Análisis de la situación y recomendaciones de política de Bioeconomía” se encuentran las empresas que hacen parte de esta estrategia y los

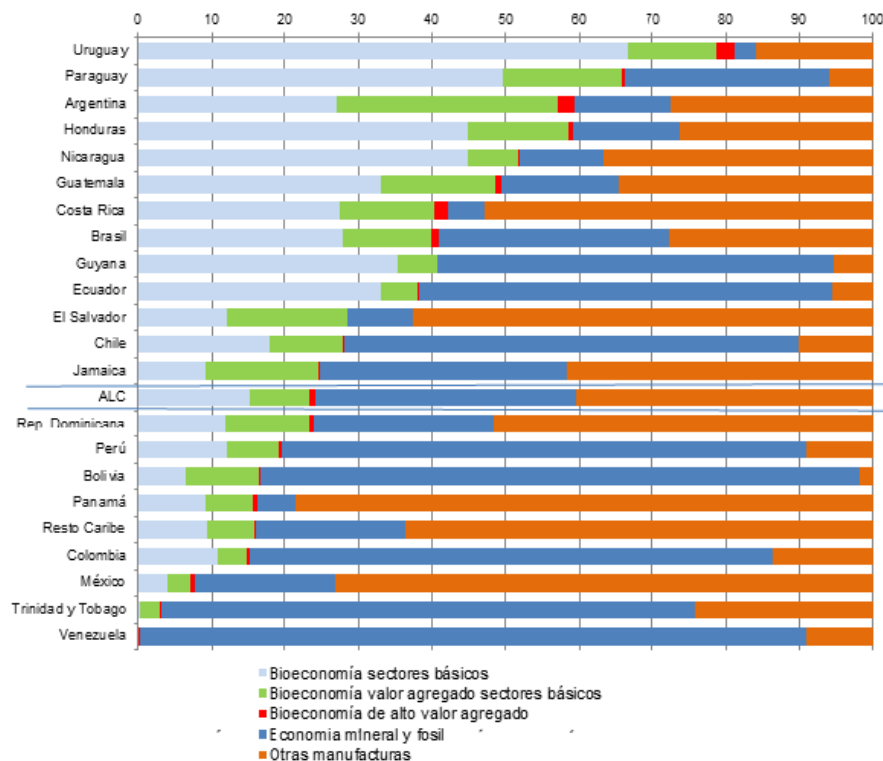


Figura 8. América Latina y el Caribe: composición de las exportaciones (2010-2015) por tipo de economía y países. Tomada de [Rodríguez et al. \(2018\)](#).

análisis para los sectores agrícola, de alimentos y bebidas, químico, cosmético, farmacéutico y de salud ([Departamento Nacional de Planeación, 2018](#)). Por su parte, el Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación (anterior Colciencias), está llevando a cabo el proyecto nacional “Colombia Bio” y cuenta con un portafolio de bioproductos desarrollados en el país ([Biointropic, 2019](#)).

Con respecto a la biomasa de atención en este trabajo, los residuos de papa generalmente se consideran desperdicios, y en la mayoría de los casos se descartan. Dependiendo del método de pelado utilizado, la cáscara de la papa oscila entre el 15 y el 40% de la masa inicial ([Sepelev y Galoburda, 2015](#)) y cada año se producen entre 70.000 y 140.000 t en todo el mundo, cuyo manejo se ha convertido en una preocupación para las entidades gubernamentales ([Fritsch et al., 2017](#)).

Como se mencionó anteriormente, varias investigaciones sugieren que la cáscara de papa es una fuente valiosa de compuestos bioactivos y nutrientes, incluidos

antioxidantes, fibra dietaria, pigmentos, vitaminas y minerales (Akyol et al., 2016; Fritsch et al., 2017; Pathak et al., 2018; Priedniece et al., 2017), que son susceptibles de ser aprovechados.

Recientemente, algunos enfoques han propuesto la valorización de estos desechos a través de rutas de fermentación que pueden proporcionar enzimas industriales y biocombustibles como una fuente prometedora de energía (Galhano dos Santos et al., 2016; Gebrechristos y Chen, 2018). Otros enfoques incluyen la producción y el uso de antocianinas y carotenoides en la industria de colorantes alimentarios y glicoalcaloides en pequeñas dosis para la industria farmacéutica. Los compuestos fenólicos también son adecuados para su uso en medicina debido a sus beneficios para la salud o como ingredientes antioxidantes naturales (Ji et al., 2012; Kaspar et al., 2011; Leo et al., 2008; Madiwale, Reddivari, Stone, Holm, y Vanamala, 2012; Singh y Rajini, 2008; Stushnoff et al., 2008). Además, la cáscara de papa y los extractos de la pulpa han demostrado ser mejores que los antioxidantes comerciales u otros extractos alimenticios para prevenir la oxidación de lípidos y proteínas de otros alimentos durante el almacenamiento (Albishi, John, Al-Khalifa, y Shahidi, 2013; Amado et al., 2014; Kanatt, Chander, Radhakrishna, y Sharma, 2005; Koduvayur Habeebullah, Nielsen, y Jacobsen, 2010; Mohdaly, Hassanien, Mahmoud, Sarhan, y Smetanska, 2013). Otra opción se centra en el uso de jugo de papa producto de la extracción de almidón, como fuente de proteínas; estos dos componentes se pueden usar para producir alimentos, piensos o materiales, o usarse como plataforma para la síntesis de compuestos químicos (Priedniece et al., 2017).

Algunos de los enfoques mencionados anteriormente, abordan el concepto de biorrefinería, que se centra en el uso de diferentes fuentes de biomasa como materia prima para obtener productos de valor agregado comercializables (alimentos, piensos, combustible, productos químicos y materiales; Jin, Yang, Poe, y Huang, 2018). De acuerdo con su relación con la producción de alimentos, si la biomasa son cultivos alimentarios, se dice que es de primera generación (compite con la soberanía alimentaria); si son residuos, se refiere a segunda generación; una tercera, se refiere a algas y una cuarta, al uso de cultivos no alimenticios (Moncada, Aristizábal, y Cardona, 2016). Por lo tanto, los subproductos del procesamiento de alimentos son una materia

prima importante, que no compite con la necesidad básica de alimentación humana, y de bajo costo para la extracción de compuestos funcionales y naturales que pueden reemplazar a los compuestos sintéticos (Akyol et al., 2016).

Cada vez se prueban enfoques más ecológicos y sostenibles para producir compuestos para la industria de alimentos, piensos, cosméticos y productos farmacéuticos (Khoo et al., 2019). La biorrefinería es considerada una opción prometedora para mejorar los beneficios de la biomasa agroalimentaria junto con una reducción del impacto ambiental (Contreras et al., 2019), ya que permite la recuperación de desperdicios, al tiempo que mejora los procesos industriales bajo una orientación respetuosa con el medio ambiente (Carmona-Cabello et al., 2018). Golden y Handfield (2014) mencionan que el Departamento de Agricultura de los Estados Unidos informó sobre el potencial de los productos biológicos con una penetración del 10% en el mercado químico para 2015, con 50,000 productos; contemplando el surgimiento de biorrefinerías, tanto independientes como en conjunto con las refinerías petroleras tradicionales. Płaza y Wandzich (2018) realizaron una recopilación de las biorrefinerías comerciales que se encuentran en países europeos, y aún no se encuentra registro de biorrefinerías comerciales en América Latina.

Dependiendo el tipo de procesamiento que se quiere lograr, las técnicas a utilizar y la disponibilidad logística, la biorrefinería se puede aplicar en escenarios de pequeña, mediana y gran escala (Krushinsky, 2020). Priedniece et al. (2017) mencionan que las tecnologías de extracción emergentes tales como líquidos presurizados, agua subcrítica, CO₂ supercrítico, ultrasonido asistido, extracción acelerada con disolventes y extracción asistida por microondas se han utilizado para obtener compuestos valiosos a partir de los desechos de la cáscara de papa. Estos métodos tienen una alta eficiencia y pueden reducir el uso de solventes orgánicos que causan efectos negativos en el medio ambiente (Fritsch et al., 2017; Priedniece et al., 2017).

4.1. Propuesta de biorrefinería para valorización de residuos del Grupo Phureja

Los tubérculos del Grupo Phureja que no cumplen con los requisitos de calidad y los desechos generados en el procesamiento, a menudo se utilizan para la alimentación animal. Por lo tanto, se analizarán algunas estrategias que podrían permitir aprovechar

su uso industrial. Según [Bonilla y Pérez \(2010\)](#), existen dos fuentes de desechos del Grupo Phureja: i) los tubérculos de papa rechazados debido al incumplimiento de los parámetros de calidad, lo que representa entre el 5 y 20% de la producción total; y ii) los desechos generados por el procesamiento de productos de papa, que representan una proporción menor. Adicionalmente, este margen de rechazo tiende a aumentar, considerando que en los denominados “Fruver” o comercios minoristas es cada vez más frecuente encontrar papa criolla acondicionada, lavada y empacada.

En el caso de las papas rechazadas, estas se descartan debido a que no cumplen con los parámetros de calidad tales como forma, tamaño, diámetro, brillo, textura, profundidad de los ojos, corazón hueco, daños causados por enfermedades o plagas y ausencia de brotes, manchas y grietas. Según el tipo de producto procesado que se fabricará, los requisitos de calidad son diferentes, como se muestra en la **Tabla 5** ([Piñeros-Niño, 2009](#)).

Tabla 5. Parámetros según producto. Adaptada de [Piñeros-Niño \(2009\)](#).

Parámetro	Encurtidos		Precocido		Frito		Deshidratada
	Salmuera	Vinagre	Enlatado	Congelado	Hojuela	Francesa	
Forma y diámetro	Redondo y/o comprimido 2,5 cm				Redondo y/o comprimido 4,0 - 6,5 cm	Comprimido y/o alargado 5,0 cm o más	Redonda 3,0 cm – 4,5 cm
Profundidad de ojos	Sobresalientes y/o superficiales						
Color	Amarillo intenso				Escala internacional: máximo 2,7. Escala de colores: mínimo 5,0	Escala internacional: máximo 3,0	Amarillo intenso
Materia seca (%)	16 a 19		18,5 – 20,5		Niveles superiores a 23		21 – 25
Gravedad específica	1,075 – 1,070		1,068 – 1,070		1,089		1,080 – 1,100
Almidón (%)	9,85 – 12,70		12 - 14		Niveles superiores a 16,61		14,5 – 18,5
Quemado (%)	No aplica				Máximo en línea: 15%	Máximo en línea 30%	No aplica
Características de rechazo	Suma de defectos: Daño por plagas: máximo 8% (Tecia, chiza, tiroteador, gusano blanco, babosa, trozador). Daños por microorganismos: máximo 3% (Alteraciones por bacterias, hongos, etc). Daño físico: máximo 10% (Asoleada, magullada, cortada, pardeada, papa hueca).				Suma de defectos internos y externos: 3% Daño interno: pulpa color diferente o papa hueca. Daño externo: microorganismos, plagas, asoleada, tallada, magullada.		Sin reporte

Para el procesamiento de deshidratación, donde la apariencia de la papa se transforma sustancialmente, los niveles de aceptación de imperfecciones externas tienden a aumentar, permitiendo condiciones de apariencia que no serían admitidas en presentaciones de papas procesadas frescas o enteras (Piñeros-Niño, 2009). De ahí la importancia de desarrollar Buenas Prácticas Agrícolas y de seleccionar variedades adecuadas o mejoradas que cumplan con las habilidades de procesamiento y reduzcan los problemas que causan pérdidas (Rivera, Herrera, y Rodríguez, 2006, 2011).

La mayor parte de la producción de tubérculos de papa del Grupo Phureja se usa para preparaciones culinarias nacionales, que incluyen sopas, y consumo en las comidas diarias de forma hervida o frita. En Colombia, la industria de procesamiento de la papa del Grupo Phureja es mucho más pequeña en comparación con la del Grupo Tuberosum, y los productos que son procesados, generalmente se exportan. La exportación de las papas frescas del Grupo Phureja es poco probable debido a su condición perecedera (presenta brotes rápidamente), que impide su almacenamiento durante largos períodos de tiempo y conduce a un menor valor económico y nutricional (Bonilla y Pérez, 2010).

Sin embargo, considerando los cambios en los hábitos de consumo, influenciados por el crecimiento de la población urbana que demanda cada vez más comidas listas para consumir y alimentos procesados, las fuentes de desechos del Grupo Phureja tienden a aumentar (Ligarreto y Suárez, 2003). Por lo cual, es necesario explorar una alternativa de uso o valorización de esos subproductos considerando que los macro, micronutrientes y compuestos bioactivos (capítulos 2 y 3) representan una gran diversidad molecular que puede recuperarse como coproductos siguiendo una estrategia de biorrefinería. Con este objetivo, a continuación, se propone un proceso de rutas secuenciales, enfatizando la discusión sobre la recuperación de almidón y proteína.

4.1.1 Almidón y proteína como coproductos

El primer paso involucrado en el enfoque de biorrefinería es un pretratamiento mecánico de molienda en el que se rompen las células de la matriz de residuos de papa del Grupo Phureja, obteniendo como resultado tanto una fracción líquida como una fracción sólida. La fracción sólida (Ruta 1, descrita en la **Figura 9**) se puede prensar y secar para la

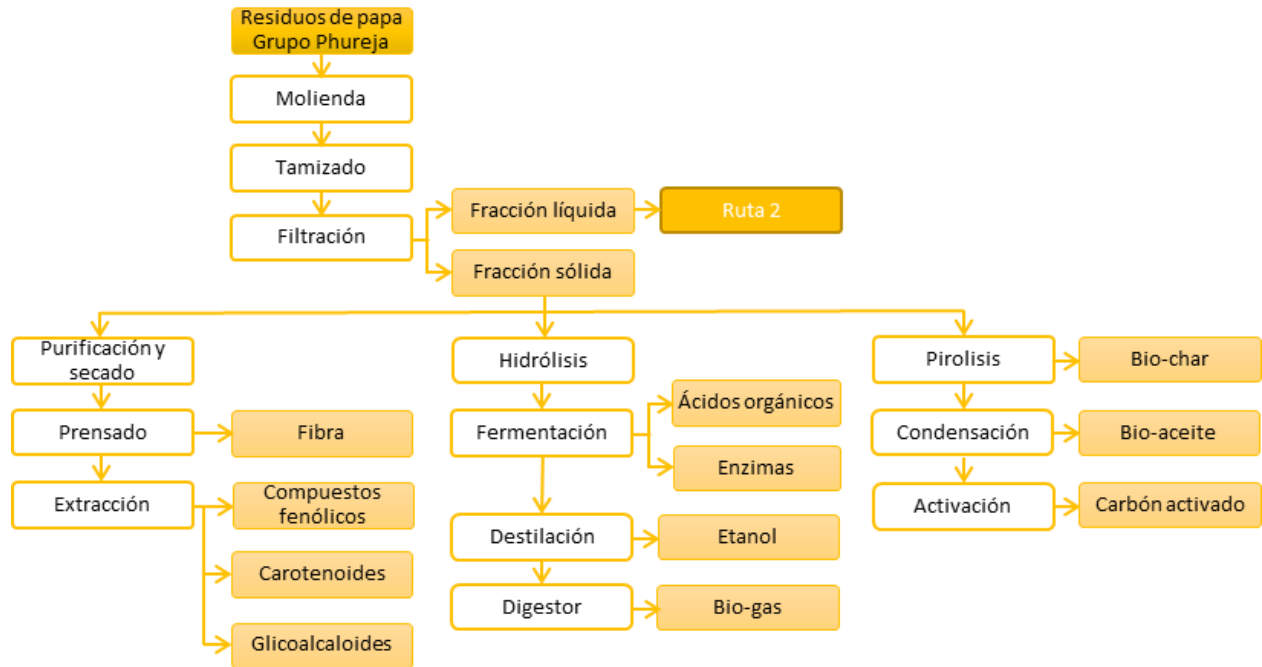


Figura 9. Estrategia de biorrefinería - Ruta 1.

producción de fibra (Fahrngruber et al., 2019), y también se pueden extraer algunos compuestos bioactivos que tienen baja solubilidad en agua y se encuentran en mayores cantidades en las cáscaras (Narváez-Cuenca, Kuijpers, Vincken, de Waard, y Gruppen, 2011), como son los compuestos fenólicos libres, unidos y menos solubles, los carotenoides y los glicoalcaloides; los cuales, posteriormente se pueden purificar y secar para su uso en la industria alimentaria y farmacéutica.

Los métodos de extracción pueden ser aquellos convencionales que implican el uso de grandes cantidades de solventes o los emergentes, que permiten el aislamiento selectivo al alterar algunas estructuras móviles (incluyendo ultrasonido o extracción asistida por microondas, líquidos presurizados y fluidos supercríticos) (Priedniece et al., 2017; Singh et al., 2019). Estos nuevos métodos tienen una alta eficiencia y pueden reducir el uso de solventes orgánicos que causan efectos negativos en el medio ambiente (Fritsch et al., 2017; Priedniece et al., 2017). Singh et al. (2019) han publicado recientemente una revisión detallada de los parámetros que afectan la extracción de compuestos fenólicos a partir de residuos de la cáscara de papa; algunos de ellos son el tipo de solvente, la temperatura o el tiempo de procesamiento.

La fracción sólida también puede someterse a un proceso de hidrólisis y fermentación ácida o enzimática para la producción de compuestos para la industria energética como el etanol y el biogás (**Figura 9**) (Fritsch et al., 2017; Pathak et al., 2018). La fermentación también permite la conversión de desechos en productos bioquímicos de valor agregado, como ácidos orgánicos (láctico y acético) y enzimas (mananasa, amilasas o proteasas) (Pathak et al., 2018).

Otra alternativa para el uso de residuos sólidos involucra procesos de pirólisis (**Figura 9**) con los que se puede producir biocarbón, y después de la condensación de los vapores es posible obtener bio-aceite (Liang, Han, Wei, y McDonald, 2015); también, se puede realizar la activación, el lavado y el secado para obtener carbón activado (Zhang et al., 2015). No obstante, se enfatizará en el aprovechamiento de la fracción líquida que se puede decantar para obtener almidón (**Figura 10**) y del líquido restante (**Figura 11**), obtener fracciones de proteínas (Mulder, van der Peet-Schwering, Hua, y van Ree, 2016; **Figura 12**). El almidón forma partículas granulares semicristalinas que pueden tener una densidad más alta que el agua, a bajas temperaturas. Por lo tanto, puede aislarse por sedimentación o centrifugación y luego secarse y distribuirse como un producto para la industria de alimentos, piensos o materiales (**Figura 10**).

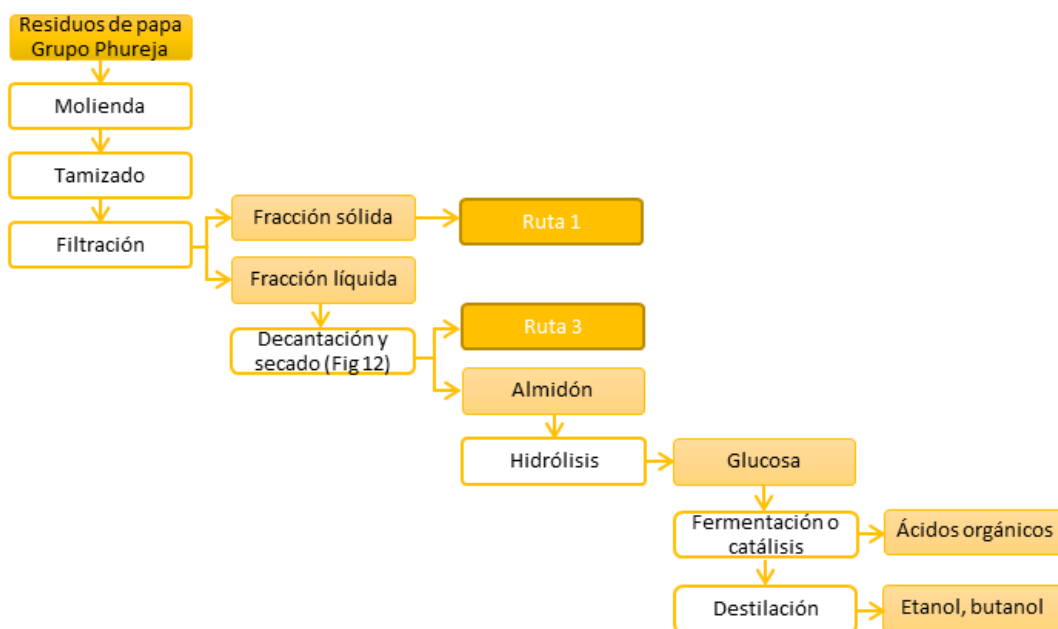


Figura 10. Estrategia de biorrefinería - Ruta 2.

La producción de bioplásticos en 2011 fue de aproximadamente 1,2 millones de t, mientras que la producción de plástico en todo el mundo fue de 250 millones de t. El bioplástico a base de almidón puede servir como material de reemplazo para los plásticos existentes, sin dejar efectos negativos en el medio ambiente (Priedniece et al., 2017). Un diagrama de flujo del proceso de extracción de almidón se muestra en la **Figura 11**, esta información se basa en una investigación realizada en tubérculos enteros (Zárate-Polanco et al., 2014), por lo que estos datos se aplican a aquellos que se descartan por no cumplir algunos de los parámetros de calidad. Las pérdidas más altas ocurren en el proceso de filtrado y secado (15,88% *p/p* y 60,73% *p/p* respectivamente). El rendimiento de la extracción depende de la materia seca y el contenido de almidón del tubérculo; aunque la madurez del tubérculo también debe considerarse en el momento de la extracción, ya que el almidón comienza a hidrolizarse después de la cosecha (Zárate-Polanco et al., 2014).

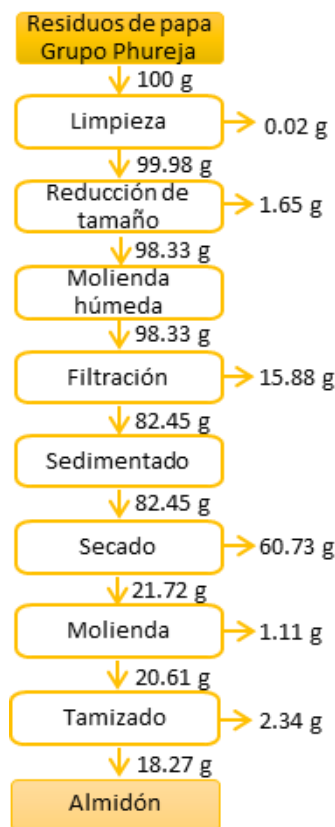


Figura 11. Proceso de extracción de almidón, adaptado de Zárate-Polanco et al. (2014).

Los usos del almidón podrían ser para la industria cárnica, salsas, productos de panadería, entre otros, en el sector alimentario o también puede tener aplicaciones en la industria de piensos, materiales y productos químicos (Läufer, 2019). Como se muestra en la **Tabla 1**, los tubérculos de papa del Grupo Phureja contienen entre 8,7 y 22,7 g/100 g BH de almidón; el cual se ha caracterizado por varios autores mediante análisis termogravimétrico (TGA), análisis morfológico mediante microscopía electrónica de barrido (SEM), análisis de viscoamilografía rápida (RVA), análisis de difracción de rayos X (DRX), análisis de calorimetría diferencial de barrido (DSC) y análisis proximal (Cáceres et al., 2012; Martínez et al., 2015; Velásquez-Herrera et al., 2017; Zárate-Polanco et al., 2014).

Las características y aplicaciones del almidón del Grupo Phureja cambian según la variedad de donde se extraen (Martínez et al., 2015; Zárate-Polanco et al., 2014) y de sus condiciones agroclimáticas (a mayor altura, mayor hidrólisis del almidón y presencia de azúcares reductores; Herrera y Rodríguez, 2011). Se reportan contenidos de amilosa dentro del rango de 14,1 y 49,0% (Zárate-Polanco et al., 2014; Cáceres et al., 2012; Martínez et al., 2015) y de amilopectina entre 51,0 y 85,95% (Zárate-Polanco et al., 2014). Este almidón presenta un tamaño de gránulo más pequeño que el almidón de papa del Grupo Tuberosum, lo que le da un menor poder de hinchamiento, solubilidad y viscosidad al comienzo del encolado, pero una mayor resistencia al cizallamiento (Cáceres et al., 2012).

Este almidón necesita más tiempo y temperatura para someterse a gelatinización, en comparación con los almidones de otras especies (Pardo, Castañeda, y Ortiz, 2013); este comportamiento hace que sea más estable para ser utilizado como ingrediente en diferentes industrias, teniendo en cuenta que durante el proceso de esterilización se utilizan altas temperaturas (Pardo et al., 2013). Además, su alta capacidad de retención de agua permite usarlo como un polímero biodegradable para el embalaje (Velásquez-Herrera et al., 2017).

Asimismo, el almidón extraído del Grupo Phureja es más alto en contenido de proteínas [entre 0,34% p/p (Pardo et al., 2013) y 2,38% p/p (Velásquez-Herrera et al., 2017)] que

el de otras especies [0,29 - 0,36% *p/p* (Pardo et al., 2013)]. Esto lo hace importante para la elaboración de productos nutricionales con propiedades fisicoquímicas y funcionales entre el almidón industrial y los almidones de cereales (Cáceres et al., 2012).

La evaluación de las propiedades funcionales indica que el almidón de papa del Grupo Phureja produce geles transparentes, con una estabilidad adecuada para los ciclos de congelación-descongelación (Bonilla y Pérez, 2010). Estos almidones se pueden usar como espesantes y gelificantes para aplicaciones en sopas instantáneas, salsas y postres (Bonilla y Pérez, 2010) o como estabilizantes en alimentos refrigerados como carne o confitería (Martínez et al., 2015).

Dado que es un carbohidrato fácilmente degradable, otro uso que se puede dar al almidón además de un ingrediente alimentario, es hidrolizarlo a glucosa (**Figura 10**) bajo la influencia de ácidos o enzimas (Läuffer, 2019). El siguiente paso podría ser convertir las moléculas de glucosa en otros productos deseados, como etanol, butanol o ácido láctico (Läuffer, 2019) y estos compuestos, a su vez, pueden ser precursores para la producción de otros compuestos o materiales como el ácido poliláctico (PLA) (Pathak et al., 2018). La conversión de glucosa puede ocurrir a través de dos enfoques: fermentación o catálisis; la fermentación se realiza en un medio acuoso, utilizando microorganismos que producen un producto específico, mientras que las reacciones catalizadas tienen lugar en entornos no acuosos utilizando catalizadores metálicos, generalmente a temperaturas y condiciones elevadas (Takagaki, Ohara, Nishimura, y Ebitani, 2009).

Volviendo a la estructura de la biorrefinería propuesta, el agua residual que queda después de la decantación del almidón de papa contiene entre 30 y 41% *p/p* de proteína de los sólidos totales (Waglay, Karboune, y Alli, 2014). Según Alt et al. (2005), de 8 millones de t de papa que se procesan anualmente dentro de la Unión Europea para producir almidón, quedan aproximadamente 6 millones de m³ de jugo de papa como material de desecho.

La extracción y concentración de las proteínas presentes en el jugo de la papa se puede llevar a cabo de diferentes maneras (**Figura 12**), de las cuales se destacan tres: i) por

alcalinización del pH (no mayor a 10 porque puede ocurrir hidrólisis o racemización), ii) por coagulación térmica o iii) por cromatografía de exclusión por tamaño (Contreras et al., 2019). Si es necesario, se realiza un proceso de purificación mediante técnicas como la precipitación por cambios en el pH, mediante “salting out” (se informa un rendimiento de recuperación de proteínas del 98,8% utilizando sulfato de amonio para muestras de papa canadiense) o mediante acomplejamiento con carboximetilcelulosa (Waglay, Karboune, y Alli, 2014). Posteriormente, se debe realizar un proceso de clarificación y eliminación de agua; este paso puede realizarse mediante técnicas de centrifugación, ultrafiltración o evaporación. Finalmente, se realiza un proceso de secado mediante técnicas como el secado en lecho o el secado por pulverización.

Se han encontrado inhibidores de patatina tipo Kunitz como las proteínas principales en papa cv. Kuras (Bauw et al., 2006) e isoformas de patatina e inhibidores de proteasa en papas cv. Bintje, Elkana y Desire (Pots et al., 1999). Bártová et al. (2018) informan la extracción y caracterización de proteínas del agua proveniente de la producción de almidón de papa (de los grupos Tuberosum y Phureja), siendo los inhibidores de proteasa Kunitz, los principales representantes de la fracción proteica. Entonces, este tipo de desecho podría usarse para prevenir la contaminación y aumentar las ganancias mediante la obtención de proteínas valiosas (Lu et al., 2012), pues tanto las proteínas como los hidrolizados se pueden usar en la industria alimentaria debido a sus propiedades antifúngicas (Bártová et al., 2018), nutricionales, bioactivas y tecnofuncionales (Contreras et al., 2019; Mulder et al., 2016; Waglay et al., 2014).

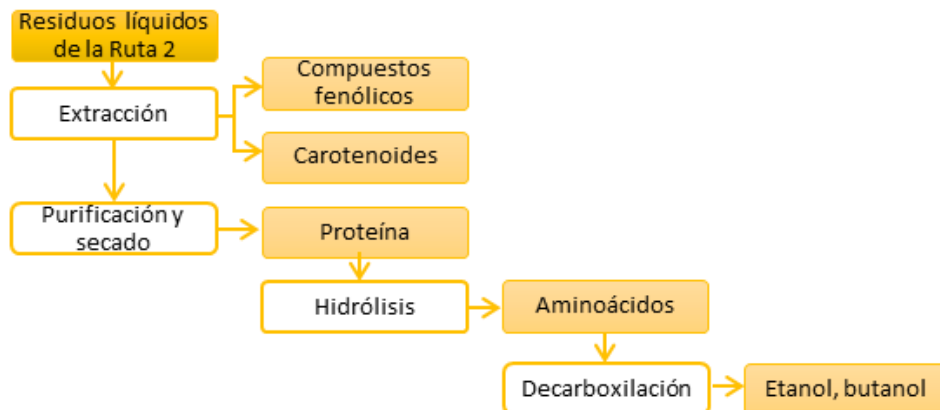


Figura 12. Estrategia de biorrefinería - Ruta 3.

Por un lado, las proteínas de la papa pueden usarse como alimento para animales o en el campo de los suplementos alimenticios (**Figura 12**) por las propiedades ya mencionadas y porque los inhibidores de la proteasa presentes en la papa tienen un efecto supresor del apetito. Además, teniendo en cuenta que la demanda global de proteína vegetal está en aumento como sustituto a la carne debido a razones de salud y/o razonamiento ético y/o ecológico (Matharu, de Melo, y Houghton, 2016). Estas proteínas también se pueden usar para la producción de bioplásticos mezclándolas con un plastificante (Gómez-Heincke, Martínez, Stading, Gallegos, y Partal, 2017).

Por otro lado, las posibilidades de obtener productos de valor agregado aumentan con la posibilidad de hidrolizar las proteínas en aminoácidos [lisina, leucina, histidina y valina son los que se encuentran en mayor cantidad no solo en forma libre, sino también haciendo parte de las proteínas del Grupo Phureja (Bártová et al., 2015); en el capítulo 2 se discute la caracterización de los aminoácidos].

Además, varias moléculas que contienen nitrógeno o aminas se producen comúnmente a partir de vías petroquímicas, pero se pueden obtener de la descarboxilación de aminoácidos de la papa (Scott, Peter, y Sanders, 2007) (**Figura 12**). Este proceso puede realizarse por enzimas o por catálisis. Por enzimas, puede llevarse a cabo en condiciones ambientales, pero puede ocurrir la desactivación o inhibición de las enzimas, mientras que se reportan altos rendimientos (>90%) catalíticamente en estas mismas condiciones (Claes et al., 2015).

4.2 Aspectos relacionados con la cadena productiva de la papa Grupo Phureja

Es importante considerar que, para llevar a cabo una estrategia de biorrefinería, se deben contemplar la mayor cantidad de variables implicadas en la cadena productiva. Bonilla y Pérez (2010) realizaron un vasto análisis sobre la cadena productiva de la papa Grupo Phureja, la cual es protagonizada por distintos actores dentro de los que se encuentran los productores, los comercializadores, la industria procesadora y los consumidores.

La compra de papa por parte de la industria es modesta, solo llega al 8%, explicado principalmente porque el consumo de la papa en Colombia se realiza bajo la forma de papa fresca (Bonilla y Pérez, 2010). Aunque la papa criolla tiene un comercio que se

encuentra en expansión, este no es evidenciable en las estadísticas internacionales, ya que no se cuenta con una partida arancelaria particular, como tampoco existe un sistema continuo de información del comercio de sus distintos productos (Bonilla y Pérez, 2010).

Al consumidor externo corresponden países como Japón (papa fresca o refrigerada, precocida congelada o conservada sin congelar y congelada), Estados Unidos (papa congelada y en conserva envasada en frasco de vidrio) y de la Unión Europea que consumen productos procesados de papa Grupo Phureja (Bonilla y Pérez, 2010).

Según Bonilla y Pérez (2010), la agroindustria de papa Grupo Phureja en Colombia apenas está en expansión, siendo aproximadamente 10 empresas (reportadas a 2008) las que se dedican a transformación industrial, como se muestra en la **Figura 13**. Sin embargo, reportan también la existencia de microempresas que procesan el tubérculo en volúmenes que no superan las 15 t por mes.

En cuanto a la productividad y costos de los procesos agroindustriales, se reporta que para obtener un kg de producto procesado de papas Grupo Phureja fritas en hojuelas, los industriales requieren en promedio 3,5 kg de papa fresca, con lo cual la papa alcanza a representar dentro del total de costos de procesamiento, aproximadamente del 25 al 40%. De aquí la importancia de seleccionar variedades adecuadas con un porcentaje de materia seca elevada (Bonilla y Pérez, 2010).

EMPRESA	UBICACIÓN	PRODUCTO	SEGMENTO
Listo y Fresco	Cali	Precocida	Mediana
Colagrícola Ltda.	Bogotá	Precocida y congelada	Mediana
Congelagro	Bogotá	Precocida y congelada	Mediana
Doña Paula	Medellín	Conserva	Pequeña
Nutrilistos	Bogotá	Papa a la francesa y precocida.	Mediano
Comestibles Ricos Ltda.	Bogotá	Chips, Frituras	Mediana
Damaris Narvaez	Bogotá		Pequeña
La Pastusita	Pasto	Puré, hojuelas, y frituras	Pequeña
Procesadora de Alimentos Soracá	Soracá	precocida y congelada (en proyección)	Pequeña

Fuente: Grupo ejecutor Corpoica, 2008.

Figura 13. “Principales empresas transformadoras de papa criolla en Colombia”. Tomada de Bonilla y Pérez (2010).

Finalmente, se presentan a continuación algunos de los temas que identificaron [Bonilla y Pérez \(2010\)](#), que limitan el desarrollo competitivo de la cadena productiva de la papa Grupo Phureja en Colombia, como lo son:

- El alto costo de los fertilizantes, el aprovechamiento de recursos genéticos, la adopción de BPA, el manejo poscosecha del tubérculo, entre otros.
- A pesar de que existe la iniciativa para la promoción de productos de valor agregado, siendo la papa Grupo Phureja un potencial exportable ([Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, 2006](#)), no se ha desarrollado una estrategia de difusión de productos derivados para el mercado. Se requiere desarrollar investigación para la obtención de nuevos productos que mantengan las características apetecidas por el consumidor y se aprovechen los tubérculos que no cumplen con las exigencias de tamaño, forma o color, en otros usos y presentaciones.
- Los países importadores de papa procesada exigen tamaños y calidad que aunque están dispuestos a pagar, no compensan económicamente el esfuerzo de los productores y el valor del kg queda muy posiblemente en eslabones intermedios.
- El sector agroindustrial de la papa carece de una coordinación más efectiva en cuanto al fortalecimiento de políticas de fomento y agremiación, lo cual dificulta el logro de objetivos comunes frente a los retos relacionados con el posicionamiento de productos procesados en los mercados externos.
- Algunos instrumentos de política, como los del crédito no están al alcance de un amplio sector de pequeños productores.
- Los pequeños productores poseen un nivel de vida caracterizado por la reducida escolaridad, escaso acceso a seguridad social, reducidos ingresos provenientes de su actividad agrícola.
- Deben dedicarse recursos específicos para financiar investigación en procesamiento agroindustrial.

- Debido a la poca vida útil del tubérculo, el almacenamiento es complicado, y la comercialización y procesamiento de este se debe realizar en el menor tiempo posible, ya que la rápida brotación y el manchado afectan considerablemente su calidad y características fisicoquímicas. Un estudio reciente del Centro Internacional de la Papa (CIP) sobre cadenas de valor de papa en Perú y Ecuador, documentó pérdidas de entre 12 y 30%, lo que ilustra la importancia de la investigación en el manejo poscosecha (Devaux, 2018). Por su parte, el CIP ha realizado procesos de colaboración con los sectores público y privado en la región de los Andes, para desarrollar nuevas cadenas de valor para las papas nativas (Devaux, 2018).

Los integrantes del Grupo de Investigación en Papa de la Facultad de Ciencias Agrarias y del Grupo Química de Alimentos de la Facultad de Ciencias (juntos de la Universidad Nacional de Colombia), han realizado importantes aportes e investigaciones en varios de los aspectos mencionados anteriormente y que se relacionan a lo largo de este trabajo. En el trabajo investigativo de Herrera y Rodríguez (2011), además de describir el mejoramiento genético de papa Phureja y sus características, se realiza una completa descripción de cada una de las operaciones en las técnicas de procesamiento de cinco productos procesados de papa criolla (papa precocida y congelada, almidón, puré, papa encurtida y papa frita), se evidencian los rendimientos y los resultados de un análisis bromatológico a cada producto.

4.3 Aspectos relacionados con la biorrefinería

Algunos autores afirman que la recuperación de varios productos de valor agregado a partir de los residuos, implica mayores éxitos económicos y ambientales que su producción dirigida a un solo componente o por vía de la industria petroquímica (Herrero y Ibañez, 2018; Jin et al., 2018; Moncada, Aristizábal, y Cardona, 2016); considerando que de esta manera, se cubren varios mercados y se puede utilizar el total de residuos (Jin et al., 2018). Sin embargo, es pertinente analizar de manera crítica varios aspectos para que no se genere presión sobre el uso de la tierra o sobre los precios de estos tubérculos (Moncada et al., 2016).

El desarrollo de bio productos no es solo una cuestión de optimización de biorrefinerías

o conversiones catalíticas, es necesario crear nuevas cadenas de valor, comprender la legislación y la economía, e integrar la cooperación entre las partes interesadas en diferentes disciplinas para lograr sostenibilidad, conocer el comportamiento del consumidor, los negocios, la logística y las cadenas de suministro ([Wageningen University & Research, 2020](#)). Además, para implementar una economía de base biológica, se necesitan procesos en los que se valoricen todos los residuos y se cierren los equilibrios de masa, lo que significa que no se produzca CO₂ adicional (y considerar también las huellas de agua; [Barbosa, 2020](#)).

En comparación con los productos de origen fósil, el mayor contenido de oxígeno y agua en la biomasa tiene muchos efectos en su distribución y conversión ([Barbosa, 2020](#)). Asimismo, como se mostró en los Capítulos 1 y 2, la papa Grupo Phureja se puede cultivar en diferentes lugares y su composición cambia dependiendo las condiciones del cultivo (cantidad de luz, lluvia, fertilizantes, etc) o la variedad. Esto hace que la conversión de esta materia prima sea exigente y el cómo lidiar con los cambios en la composición de esta biomasa sea uno de los grandes desafíos ([Bitter, 2020](#)). Por lo tanto, se requiere desarrollar nuevos enfoques logísticos, de biorrefinería y nuevos procesos de conversión ([Barbosa, 2020](#)).

Seleccionar una ruta de conversión adecuada es importante, éstas se pueden distinguir en función de su temperatura. En esta propuesta no se contemplan los procesos de alta temperatura (por encima de 900 K), que pueden convertir la materia prima en hidrógeno y monóxido de carbono en presencia de aire o vapor (gas de síntesis). Sí se contemplan procesos a temperaturas intermedias (entre 400 y 900 K), en los que la biomasa se pueda convertir en un bio-aceite, aunque su alto contenido de agua pueda dificultar la conversión ([Bitter, 2020](#)). En el rango de baja temperatura (por debajo de 400 K), existen rutas químicas y biológicas para convertir la materia prima conservando las funcionalidades de la biomasa. Sin embargo, la formación selectiva de estos productos deseados a tasas industrialmente relevantes sigue siendo un desafío ([Bitter, 2020](#)).

En el diseño conceptual de las propuestas de biorrefinería, es un gran desafío integrar los procesos en una plataforma de operaciones múltiples (procesos termoquímicos,

bioquímicos, tecnologías de fluidos presurizados, entre otros; [Herrero y Ibañez, 2018](#); [Moncada et al., 2016](#)), pues algunos criterios dependen de la eficiencia, la rentabilidad y la calidad del producto final ([Nayak y Bhushan, 2019](#)). En cuanto a este último, las opciones son hacer productos incorporados (sustancias químicas ya existentes en los residuos de papa como compuestos fenólicos, almidón, aminoácidos, etc) o hacer nuevos productos químicos (como el PLA) con el conjunto de actividades (extracción y conversión) que contempla el enfoque de biorrefinería ([Wubben, 2020b](#)). Europa muestra la mayor demanda de polímeros de base biológica, como el PLA y los polihidroxicanoatos - PHA, mientras que la producción en realidad tiene un lugar especialmente en Sudamérica y Asia ([Wubben, 2020b](#)). Sin embargo, no hay una respuesta única para decidir cuál es el mejor producto para hacer, pues depende de los criterios que se valoren (sostenibilidad, rentabilidad, características de los residuos, etc).

La importancia de algunos de los factores que afectan las inversiones de base biológica varían de acuerdo a las fases de innovación. Por ejemplo, en la fase de investigación y desarrollo, se hacen muy relevantes las infraestructuras de conocimiento (laboratorios) y las regulaciones (subsídios, finanzas, licencias); en una fase posterior, la de demostración, es importante además de las regulaciones, la infraestructura, las utilidades y las materias primas (costos disponibilidad) y finalmente; en la fase comercial de inversiones, además de las materias primas, es importante el acceso al mercado ([Wubben, 2020a](#)).

El nivel de preparación tecnológica también aumentará a medida que se empiece con la investigación básica, la formulación y aplicación del concepto de tecnología, la investigación aplicada en las pruebas que muestren que la innovación tiene un potencial práctico, la validación de la tecnología mediante un prototipo a pequeña escala en el laboratorio, la validación piloto en el entorno relevante, la demostración de todo el sistema cerca del rendimiento esperado, la demostración en el entorno operativo a escala precomercial, la resolución de los problemas de fabricación en un primer entorno comercial, y la aplicación a gran escala de un producto o concepto ([Wubben, 2020c](#)).

El transporte de los residuos del Grupo Phureja y su rápido deterioro, asociado con el

alto contenido de agua, son aspectos que también deben tenerse en cuenta ([Jin et al., 2018](#)). La literatura sugiere que existe una estrecha interconexión de actores en las cadenas de suministro de biomasa (proveedores, fabricantes, distribución, mayorista, al por menor, consumidor, disposición de basura; [Kanellopoulos, 2020](#)). Esto implica que mejorar la sostenibilidad de los sistemas de suministro de biomasa requiere coordinación y colaboración en toda la cadena (incluidas las autoridades reguladoras, las comunidades locales y el público en general; [Kanellopoulos, 2020](#)).

De acuerdo con el escenario que se quiera planear, sea a pequeña, mediana o gran escala, los factores involucrados difieren: las entradas (biomasa propia o externa, preprocesada, residuos, compuestos), el espacio (pequeña industria, parques industriales), las capacidades financieras, las unidades de procesamiento (para operaciones básicas, en colaboración con otras empresas, de técnicas avanzadas o procesos químicos a gran escala), el almacenamiento, el transporte (a cortas o largas distancias) y los resultados (productos químicos, fertilizantes, bioenergía, etc; [Krushinsky, 2020](#)).

Se espera que con la biorrefinería se disminuya el impacto ambiental generado por los residuos, a la vez que se aprovechan económicamente; sin embargo, llegar a establecer si esto en realidad ocurre es un interrogante que requiere una evaluación de sus implicaciones económicas, ambientales y sociales antes de que pueda ampliarse a nivel industrial ([Jin et al., 2018](#)).

Conclusiones

Los tubérculos de papa del Grupo Phureja son menos investigados que los tubérculos del Grupo Tuberosum. Sin embargo, al analizar los macro y micronutrientes y los compuestos bioactivos, se encuentra que los contenidos de fibra cruda, sodio, potasio, niacina y carotenoides son más altos en papas del Grupo Phureja en comparación con las del Grupo Tuberosum. Aunque el contenido de proteína es menor que en otros grupos, el valor nutricional de los aminoácidos libres (estimado como índice de aminoácidos esenciales, EAAI) es más alto para el Grupo Phureja que para otras especies de papa.

En las papas crudas, el contenido de humedad está entre 72,1 a 80,8 g/100 g BH, el almidón está en un rango de 8,7 a 22,7 g/100 g BH, y las proteínas están entre 1,7 y 2,8 g/100 g BH. El contenido de fibra cruda está entre 1,6 y 2,2 g/100 g BH. El contenido de micronutrientes es similar en comparación con los del Grupo Tuberosum, excepto en el caso de potasio y sodio que son más altos (563 y 18 mg/100 g BH, respectivamente). Dentro del contenido de vitaminas, se informan valores de 12,8 a 32,0 mg/100 g BH para ácido ascórbico; 2,5 mg/100 g BH para niacina; 0,08 a 0,1 mg/100 g BH de tiamina y entre 0,003 y 0,06 mg/100 g BH de riboflavina. El contenido fenólico total está entre 161,6 y 442,7 mg de equivalentes de ácido gálico/100 g BS. Los compuestos fenólicos más representativos son el ácido clorogénico, seguido por el ácido *cripto*-clorogénico, el ácido cafeico, el ácido *neo*-clorogénico y la cafeoil putrescina; también se informa la presencia de flavonoides, conjugados de ácidos dihidroxicinámicos y antocianinas. Los carotenoides varían de 15,5 a 133,0 µg/g BS, valor muy por encima de los contenidos informados para el Grupo Tuberosum. Dentro del conjunto de carotenoides, los más abundantes son violaxantina, zeaxantina, antheraxantina, luteína y β-caroteno. Al igual que en otros grupos de papas, los glicoalcaloides más importantes son la α-solanina y la α-chaconina.


Utilizando diversas técnicas de proceso a través de un enfoque de biorrefinería, es posible obtener compuestos valiosos de los residuos del Grupo Phureja que se pueden utilizar en las industrias de alimentos, piensos, materiales, energía y química. Se proponen tres rutas, la primera se refiere a los compuestos que se pueden extraer de la

fracción sólida de los residuos (fibra, compuestos fenólicos y carotenoides). La segunda, se trata de obtener almidón y sus derivados de la fracción líquida de los desechos; y una tercera ruta, para obtener proteínas y sus derivados a partir de los residuos líquidos después de la producción de almidón.

Sin embargo, dado que no se ha desarrollado un diseño completo de biorrefinería y no hay tecnología probada a nivel industrial en Latino América, es necesario abordarlo en estudios posteriores para garantizar que los procesos sean sostenibles y eficientes. Para ello, se deben considerar múltiples aspectos, tanto de la cadena productiva de la papa, como de las rutas de conversión, de la infraestructura, de la logística y de la economía.

Invited review

Proximal composition, bioactive compounds and biorefinery approach in potato tubers of *Solanum tuberosum* Group Phureja: a review

María-Alejandra Beltrán-Penagos,  Andrea del Pilar Sánchez-Camargo  & Carlos-Eduardo Narváez-Cuenca* 

Food Chemistry Research Group, Departamento de Química, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá, D.C., Colombia

(Received 20 September 2019; Accepted in revised form 26 November 2019)

Summary Potato tubers of Group Phureja have a great relevance in terms of production and consumer acceptance in the Andean countries. However, its proximal characteristics, nutritional value and bioactive compounds have been scarcely known. For the first time, this work aims to give an overview on tubers of Group Phureja characteristics, including research works from 1993 to 2019. When analysing the micronutrients and bioactive analytes, sodium, niacin and carotenoid contents are higher as compared to those of the Group Tuberosum. Likewise, the application of a biorefinery approach for the valorisation of Group Phureja wastes was proposed. These wastes may come from tubers that fail to meet quality parameters or by processing potato products. The possibility of obtaining useful compounds for the food, feed, materials, energy and chemical industries is described. The strategy of valorisation of wastes was focused on the production of starch and proteins, previously reported with important technological properties.

Keywords Bioactive compounds, biorefinery, Group Phureja, potato, potato starch, proximal composition.

Introduction

Potato tubers (*Solanum tuberosum*) are the fifth main crop produced around the world (FAO, 2019). Several species of potato tubers are cultivated, with the Group Tuberosum as the most distributed worldwide. Other groups include the Stenotomum, the Andigena and the Phureja. This last one is of special importance in the Andean countries, including Colombia and Peru (Ghislain *et al.*, 1999). On the one hand, Colombia reports research on 108 genotypes from the Colombian Core Collection, 13 native landraces, four commercial genotypes and seven advanced breeding clones of the Group Phureja (Peña *et al.*, 2015; Duarte-Delgado *et al.*, 2016; Piñeros-Niño *et al.*, 2017; Narváez-Cuenca *et al.*, 2018). On the other hand, Peru has a collection of 170 genotypes of this group, including some genotypes that are commercialised, with part the collection being characterised on their nutritional and bioactive compounds contents (Andre, Ghislain, *et al.*, 2007; Andre *et al.*, 2007; Burgos *et al.*, 2007, 2009).

According to FAO statistics (2019), a worldwide production of 388.2 million tons of potato tubers

(which includes all cultivable groups) was reported in 2017. International import quantity of frozen potatoes and potato flour (without discriminating the taxonomic group) accounted for 7.2 and 0.5 million tons, respectively (FAO, 2019). In Colombia during 2017, there were 14 151 hectares dedicated to the cultivation of *S. tuberosum* Group Phureja, with a production of 212 770 tons (Agronet, 2019). Such production represents 5.7% of the total potato production of that year, and the other 94.3% corresponds to the production of the Group Tuberosum.

The potato species *S. tuberosum* Group Phureja, from now on called Group Phureja, are native to the Andean mountains in South America (Bonilla & Pérez, 2010). This species includes tubers with heterogeneous characteristics in terms of their colour, which can be yellow, black or purple; its shape, which tends to be round or ovoid; and its size, which is mostly small (the one required for the food industry is between 2.5 and 3.5 cm; Fig. 1; Burlingame *et al.*, 2009; Rojas & Seminario, 2014). Furthermore, they have received special attention because of their importance in potato breeding (Juyó *et al.*, 2015). Genotypes of this group have important traits such as resistance to late blight (Cañizares & Forbes, 1995), bacterial wilt and

*Correspondent: Fax: 057-1-31 652 20;
e-mail: anarvaez@unal.edu.co

Bibliografía

- Agricultural University of Athens. (s.f.). Panacea. Recuperado de <https://www.panacea-h2020.eu/es/home/>
- Agronet. (2019). Estadísticas. Recuperado de <https://www.agronet.gov.co/estadistica/Paginas/home.aspx>
- Ahokas, M., Välimaa, A., Lötjönen, T., Kankaala, A., Taskila, S., y Virtanen, E. (2014). Resource assessment for potato biorefinery: Side stream potential in Northern Ostrobothnia. *Agronomy Research*, 12(3), 695–704. Recuperado de https://agronomy.emu.ee/vol123/AR2014vol12nr3_689_834.pdf#page=7
- Ajiaco. (s.f.). Recuperado de <https://ajiacoblog.files.wordpress.com/2016/03/ajiaco1.jpg?w=620>
- Akuffo, K., Nolan, J., Howard, A., Moran, R., Stack, J., Klein, R., ... Beatty, S. (2015). Sustained supplementation and monitored response with differing carotenoid formulations in early age-related macular degeneration. *Eye (Basingstoke)*, 29(7), 902–912. <https://doi.org/10.1038/eye.2015.64>
- Akyol, H., Riciputi, Y., Capanoglu, E., Caboni, M. F., y Verardo, V. (2016). Phenolic compounds in the potato and its byproducts: An overview. *International Journal of Molecular Sciences*, Vol. 17, p. 835. <https://doi.org/10.3390/ijms17060835>
- Albishi, T., John, J. A., Al-Khalifa, A. S., y Shahidi, F. (2013). Phenolic content and antioxidant activities of selected potato varieties and their processing by-products. *Journal of Functional Foods*, 5(2), 590–600. <https://doi.org/10.1016/j.jff.2012.11.019>
- Alt, V., Steinhof, R., Lotz, M., Ulber, R., Kasper, C., y Scheper, T. (2005). Optimization of Glycoalkaloid Analysis for Use in Industrial Potato Fruit Juice Downstreaming. *Engineering in Life Sciences*, 5(6), 562–567. <https://doi.org/10.1002/elsc.200520107>
- Amado, I. R., Franco, D., Sánchez, M., Zapata, C., y Vázquez, J. A. (2014). Optimisation of antioxidant extraction from *Solanum tuberosum* potato peel waste by surface response methodology. *Food Chemistry*, 165, 290–299. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2014.05.103>
- Andre, C. M., Ghislain, M., Bertin, P., Oufir, M., Herrera, M. D. R., Hoffmann, L., ... Evers, D. (2007). Andean potato cultivars (*Solanum tuberosum* L.) as a source of antioxidant and mineral micronutrients. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 55(2), 366–378. <https://doi.org/10.1021/jf062740i>
- Andre, C. M., Oufir, M., Guignard, C., Hoffmann, L., Hausman, J. F., Evers, D., y Larondelle, Y. (2007). Antioxidant profiling of native Andean potato tubers (*Solanum tuberosum* L.) reveals cultivars with high levels of β -carotene, α -tocopherol, chlorogenic acid, and petanin. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 55(26), 10839–10849. <https://doi.org/10.1021/jf0726583>
- Barbosa, M. (2020). Replacing Fossil Fuel. In *From Fossil Resources to Biomass: A*

- Bártová, V., Bárta, J., Brabcová, A., Zdráhal, Z., y Horáčková, V. (2015). Amino acid composition and nutritional value of four cultivated South American potato species. *Journal of Food Composition and Analysis*, 40, 78–85. <https://doi.org/10.1016/J.JFCA.2014.12.006>
- Bártová, V., Bárta, J., Vlačihová, A., Šedo, O., Zdráhal, Z., Konečná, H., ... Švajner, J. (2018). Proteomic characterization and antifungal activity of potato tuber proteins isolated from starch production waste under different temperature regimes. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 102(24), 10551–10560. <https://doi.org/10.1007/s00253-018-9373-y>
- Bauw, G., Nielsen, H. V., Emmersen, J., Nielsen, K. L., Jørgensen, M., y Welinder, K. G. (2006). Patatins, Kunitz protease inhibitors and other major proteins in tuber of potato cv. Kuras. *FEBS Journal*, 273(15), 3569–3584. <https://doi.org/10.1111/j.1742-4658.2006.05364.x>
- Beltrán-Penagos, M. A., Sánchez-Camargo, A. del P., y Narváez-Cuenca, C. E. (2020). Proximal composition, bioactive compounds and biorefinery approach in potato tubers of *Solanum tuberosum* Group Phureja: a review. *International Journal of Food Science and Technology*, Vol. 55, pp. 2282–2295. <https://doi.org/10.1111/ijfs.14461>
- Bitter, H. (2020). Key Aspects of a Biobased Economy. In *From Fossil Resources to Biomass: A Business and Economics Perspective*. WageningenX.
- Bonilla, C., y Pérez, Y. (2010). *Papa Criolla (Solanum phureja) Producción y manejo poscosecha*. Bogotá: Corpoica.
- Brown, C. R. (2008). Breeding for phytonutrient enhancement of potato. *American Journal of Potato Research*, 85(4), 298–307. <https://doi.org/10.1007/s12230-008-9028-0>
- Bub, A., Möseneder, J., Wenzel, G., Rechkemmer, G., y Briviba, K. (2008). Zeaxanthin is bioavailable from genetically modified zeaxanthin-rich potatoes. *European Journal of Nutrition*, 47(2), 99–103. <https://doi.org/10.1007/s00394-008-0702-2>
- Burgos, G., Amoros, W., Morote, M., Stangoulis, J., y Bonierbale, M. (2007). Iron and zinc concentration of native Andean potato cultivars from a human nutrition perspective. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 87(4), 668–675. <https://doi.org/10.1002/jsfa.2765>
- Burgos, G., Amoros, W., Salas, E., Muñoa, L., Sosa, P., Díaz, C., y Bonierbale, M. (2012). Carotenoid concentrations of native Andean potatoes as affected by cooking. *Food Chemistry*, 133(4), 1131–1137. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2011.09.002>
- Burgos, G., Salas, E., Amoros, W., Auqui, M., Muñoa, L., Kimura, M., y 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.

<https://doi.org/10.1016/j.jfca.2008.08.008>

- Burlingame, B., Mouillé, B., y Charrondière, R. (2009). Nutrients, bioactive non-nutrients and anti-nutrients in potatoes. *Journal of Food Composition and Analysis*, 22(6), 494–502. <https://doi.org/10.1016/J.JFCA.2009.09.001>
- Burmeister, A., Bondiek, S., Apel, L., Kühne, C., Hillebrand, S., y Fleischmann, P. (2011). Comparison of carotenoid and anthocyanin profiles of raw and boiled *Solanum tuberosum* and *Solanum phureja* tubers. *Journal of Food Composition and Analysis*, 24(6), 865–872. <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2011.03.006>
- Cáceres, M., Mestres, C., Pons, B., Gibert, O., Amoros, W., Salas, E., ... Pallet, D. (2012). Physico-chemical characterization of starches extracted from potatoes of the group Phureja. *Starch - Stärke*, 64(8), 621–630. <https://doi.org/10.1002/star.201100166>
- Camire, M. E., Kubow, S., y Donnelly, D. J. (2009). Potatoes and Human Health. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 49(10), 823–840. <https://doi.org/10.1080/10408390903041996>
- Cañizares, C. A., y Forbes, G. A. (1995). Foliage resistance to *Phytophthora infestans* (Mont.) de Bary in the Ecuadorian national collection of *Solanum phureja* ssp. *phureja* Juz. y Buk. *Potato Research*, 38(1), 3–10. <https://doi.org/10.1007/BF02358063>
- Carmona-Cabello, M., Garcia, I. L., Leiva-Candia, D., y Dorado, M. P. (2018). Valorization of food waste based on its composition through the concept of biorefinery. *Current Opinion in Green and Sustainable Chemistry*, 14, 67–79. <https://doi.org/10.1016/J.COGSC.2018.06.011>
- Cerón-Lasso, M., Alzate-Arbeláez, A. F., Rojano, B. A., y Ñuztez-Lopez, C. E. (2018). Composición Fisicoquímica y Propiedades Antioxidantes de Genotipos Nativos de Papa Criolla (*Solanum tuberosum* Grupo Phureja). *Información Tecnológica*, 29(23), 205–216. <https://doi.org/10.4067/S0718-07642018000300205>
- CIP, Asociación Pataz, e INIA. (2015). *Catalog of ancestral potato varieties from Chugay, La Libertad - Peru*. <https://doi.org/10.4160/9789290604679>
- Claes, L., Matthessen, R., Rombouts, I., Stassen, I., De Baerdemaeker, T., Depla, D., ... De Vos, D. E. (2015). Bio-Based Nitriles from the Heterogeneously Catalyzed Oxidative Decarboxylation of Amino Acids. *ChemSusChem*, 8(2), 345–352. <https://doi.org/10.1002/cssc.201402801>
- Contreras, M. del M., Lama-Muñoz, A., Gutiérrez-Pérez, J. M., Espínola, F., Moya, M., y Castro, E. (2019, May 1). Protein extraction from agri-food residues for integration in biorefinery: Potential techniques and current status. *Bioresource Technology*, Vol. 280, pp. 459–477. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2019.02.040>
- Cooperstone, J. L., y Schwartz, S. J. (2016). Recent Insights Into Health Benefits of Carotenoids. *Handbook on Natural Pigments in Food and Beverages*, 473–497. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-100371-8.00020-8>

- Cuéllar-Cepeda, F. A., Parra-Galindo, M. A., Urquijo, J., Restrepo-Sánchez, L. P., Mosquera-Vásquez, T., y Narváez-Cuenca, C. E. (2019). Influence of genotype, agro-climatic conditions, cooking method, and their interactions on individual carotenoids and hydroxycinnamic acids contents in tubers of diploid potatoes. *Food Chemistry*, 288, 127–138. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2019.03.015>
- De Maine, M. J., Carroll, C. P., Stewart, H. E., Solomon, R. M., y Wastie, R. L. (1993). Disease resistance in *Solanum phureja* and diploid and tetraploid *S. tuberosum* x *S. phureja* hybrids. *Potato Research*, 36(1), 21–28. <https://doi.org/10.1007/BF02359830>
- Departamento Nacional de Planeación. (2018). Bioeconomía. Recuperado de <https://www.dnp.gov.co/Crecimiento-Verde/Ejes-estrategicos/Paginas/Bioeconomía.aspx>
- Devaux, A. (2018). Tecnología e innovaciones de papa como puente crítico para responder a los desafíos de seguridad alimentaria y promover los agronegocios en América Latina. *Revista Latinoamericana de La Papa*, 22(1), 5–9. <https://doi.org/10.37066/ralap.v22i1.295>
- Duarte-Delgado, D., Núñez-López, C. E., Narváez-Cuenca, C. E., Restrepo-Sánchez, L. P., Melo, S. E., Sarmiento, F., ... Mosquera-Vásquez, T. (2016). Natural variation of sucrose, glucose and fructose contents in Colombian genotypes of *Solanum tuberosum* Group Phureja at harvest. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 96(12), 4288–4294. <https://doi.org/10.1002/jsfa.7783>
- Empanadas de la Cima. (s.f.). Empanada clásica de carne. Recuperado de <https://empanadasdelacima.com/wp-content/uploads/2017/09/empanada-tradicional-de-carne-empanadas-de-la-cima.jpg>
- Eraso-Grisales, S., Mejía-España, D., y Hurtado-Benavides, A. (2019). Extracción de glicoalcaloides de papa nativa (*Solanum phureja*) variedad ratona morada con líquidos presurizados. *Revista Colombiana de Ciencias Químico-Farmacéuticas*, 48(1), 181–197. <https://doi.org/10.15446/rcciquifa.v48n1.80074>
- Fahrngruber, B., Eichelter, J., Erhäusl, S., Seidl, B., Wimmer, R., y Mundigler, N. (2019). Potato-fiber modified thermoplastic starch: Effects of fiber content on material properties and compound characteristics. *European Polymer Journal*, 111, 170–177. <https://doi.org/10.1016/j.eurpolymj.2018.10.050>
- FAO. (2008). *Nueva luz sobre un tesoro enterrado*. Recuperado de <http://www.fao.org/potato-2008/pdf/IYPbook-es.pdf>
- FAO. (2017). *FAO/INFOODS Food composition database for biodiversity Version 4.0 – BioFoodComp4.0*. Rome: FAO.
- FAO. (2019). FAOSTAT. Recuperado de <http://www.fao.org/faostat/en/#faq>
- Fedepapa. (2018). *Boletín mensual Regional. Volumen 2/Número 8*. Recuperado de <https://fedepapa.com/wp-content/uploads/2017/01/BOLETINREGIONALNACIONAL-2018.pdf>

- Feng, R., Lu, Y., Bowman, L. L., Qian, Y., Castranova, V., y Ding, M. (2005). Inhibition of Activator Protein-1, NF- κ B, and MAPKs and Induction of Phase 2 Detoxifying Enzyme Activity by Chlorogenic Acid. *Journal of Biological Chemistry*, 280(30), 27888–27895. <https://doi.org/10.1074/jbc.M503347200>
- Fernandez-Orozco, R., Gallardo-Guerrero, L., y Hornero-Méndez, D. (2013). Carotenoid profiling in tubers of different potato (*Solanum* sp) cultivars: Accumulation of carotenoids mediated by xanthophyll esterification. *Food Chemistry*, 141(3), 2864–2872. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2013.05.016>
- Friedman, M. (2006). Potato Glycoalkaloids and Metabolites: Roles in the Plant and in the Diet. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 54(23), 8655–8681. <https://doi.org/10.1021/jf061471t>
- Friedman, M., y Levin, C. E. (2016). Glycoalkaloids and Calystegine Alkaloids in Potatoes. *Advances in Potato Chemistry and Technology*, 167–194. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-800002-1.00007-8>
- Fritsch, C., Staebler, A., Happel, A., Cubero Márquez, M., Aguiló-Aguayo, I., Abadias, M., ... Belotti, G. (2017). Processing, Valorization and Application of Bio-Waste Derived Compounds from Potato, Tomato, Olive and Cereals: A Review. *Sustainability*, 9(8), 1492. <https://doi.org/10.3390/su9081492>
- Frugy. (s.f.). Papa criolla. Recuperado de <https://www.frugy.com/index.php/productos/otros-productos-congelados/papa-criolla>
- Galhano dos Santos, R., Ventura, P., Bordado, J. C., y Mateus, M. M. (2016). Valorizing potato peel waste: an overview of the latest publications. *Reviews in Environmental Science and Bio/Technology*, 15(4), 585–592. <https://doi.org/10.1007/s11157-016-9409-7>
- Gebrechristos, H. Y., y Chen, W. (2018). Utilization of potato peel as eco-friendly products: A review. *Food Science & Nutrition*, 6(6), 1352–1356. <https://doi.org/10.1002/fsn3.691>
- Ghislain, M., Zhang, D., Fajardo, D., Huamán, Z., y Hijmans, R. J. (1999). Marker-assisted sampling of the cultivated Andean potato *Solanum phureja* collection using RAPD markers. *Genetic Resources and Crop Evolution*, 46(6), 547–555. <https://doi.org/10.1023/A:1008724007888>
- Golden, J. S., y Handfield, R. B. (2014). *WHY BIOBASED? Opportunities in the Emerging Bioeconomy*. Recuperado de <http://scm.ncsu.edu>
- Gómez-Heincke, D., Martínez, I., Stading, M., Gallegos, C., y Partal, P. (2017). Improvement of mechanical and water absorption properties of plant protein based bioplastics. *Food Hydrocolloids*, 73, 21–29. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2017.06.022>
- Griffiths, D., y Dale, M. (2001). Effect of light exposure on the glycoalkaloid content of *Solanum phureja* tubers. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 49(11), 5223–5227. Recuperado de <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/11714307>

- Griffiths, D. W., Shepherd, T., y Stewart, D. (2008). Comparison of the calystegine composition and content of potato sprouts and tubers from *Solanum tuberosum* group phureja and *Solanum tuberosum* group tuberosum. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 56(13), 5197–5204. <https://doi.org/10.1021/jf8003306>
- Hejtmánková, K., Kotíková, Z., Hamouz, K., Pivec, V., Vacek, J., y Lachman, J. (2013). Influence of flesh colour, year and growing area on carotenoid and anthocyanin content in potato tubers. *Journal of Food Composition and Analysis*, 32(1), 20–27. <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2013.07.001>
- Herrera, A., y Rodríguez, L. (2011). *TECNOLOGÍAS DE PRODUCCIÓN Y TRANSFORMACIÓN DE PAPA CRIOLLA*. Universidad Nacional de Colombia.
- Herrero, M., y Ibañez, E. (2018). Green extraction processes, biorefineries and sustainability: Recovery of high added-value products from natural sources. *The Journal of Supercritical Fluids*, 134, 252–259. <https://doi.org/10.1016/J.SUPFLU.2017.12.002>
- ICBF. (2015). *Tabla de composición de alimentos colombianos (TCAC)*. Recuperado de https://www.icbf.gov.co/sites/default/files/tcac_2015_final_para_imprimir.pdf
- ICBF. (2018). *Tabla de Composición de Alimentos Colombianos*. Recuperado de https://www.icbf.gov.co/sites/default/files/tcac_web.pdf
- Ji, L., Yogendra, K., Mosa, K., Kushalappa, A., Piñeros-Niño, C., Mosquera, T., y Narváez-Cuenca, C.-E. (2016). Hydroxycinnamic acid functional ingredients and their biosynthetic genes in tubers of *Solanum tuberosum* Group Phureja. *Cogent Food & Agriculture*, 2(1). <https://doi.org/10.1080/23311932.2016.1138595>
- Ji, X., Rivers, L., Zielinski, Z., Xu, M., MacDougall, E., Stephen, J., ... Zhang, J. (2012). Quantitative analysis of phenolic components and glycoalkaloids from 20 potato clones and in vitro evaluation of antioxidant, cholesterol uptake, and neuroprotective activities. *Food Chemistry*, 133(4), 1177–1187. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2011.08.065>
- Jin, Q., Yang, L., Poe, N., y Huang, H. (2018). Integrated processing of plant-derived waste to produce value-added products based on the biorefinery concept. *Trends in Food Science & Technology*, 74, 119–131. <https://doi.org/10.1016/J.TIFS.2018.02.014>
- Juyó, D., Sarmiento, F., Álvarez, M., Brochero, H., Gebhardt, C., y Mosquera, T. (2015). Genetic diversity and population structure in diploid potatoes of *Solanum tuberosum* group phureja. *Crop Science*, 55(2), 760–769. <https://doi.org/10.2135/cropsci2014.07.0524>
- Kanatt, S. R., Chander, R., Radhakrishna, P., y Sharma, A. (2005). Potato peel extract - A natural antioxidant for retarding lipid peroxidation in radiation processed lamb meat. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 53(5), 1499–1504. <https://doi.org/10.1021/jf048270e>
- Kanellopoulos, A. (2020). Sustainability and Quantitative Analysis. In *From Fossil Resources to Biomass: A Business and Economics Perspective*. WageningenX.

- Kaspar, K. L., Park, J. S., Brown, C. R., Mathison, B. D., Navarre, D. A., y Chew, B. P. (2011). Pigmented Potato Consumption Alters Oxidative Stress and Inflammatory Damage in Men. *The Journal of Nutrition*, 141(1), 108–111. <https://doi.org/10.3945/jn.110.128074>
- Khoo, K. S., Lee, S. Y., Ooi, C. W., Fu, X., Miao, X., Ling, T. C., y Show, P. L. (2019). Recent advances in biorefinery of astaxanthin from *Haematococcus pluvialis*. *Bioresource Technology*, 288, 121606. <https://doi.org/10.1016/J.BIORTECH.2019.121606>
- Koduvayur Habeebullah, S. F., Nielsen, N. S., y Jacobsen, C. (2010). Antioxidant activity of potato peel extracts in a fish-rape seed oil mixture and in oil-in-water emulsions. *JAOCs, Journal of the American Oil Chemists' Society*, 87(11), 1319–1332. <https://doi.org/10.1007/s11746-010-1611-0>
- Kotíková, Z., Šulc, M., Lachman, J., Pivec, V., Orsák, M., y Hamouz, K. (2016). Carotenoid profile and retention in yellow-, purple- and red-fleshed potatoes after thermal processing. *Food Chemistry*, 197(Pt A), 992–1001. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2015.11.072>
- Krushinsky, D. (2020). Scenarios for Biobased Logistics. In *From Fossil Resources to Biomass: A Business and Economics Perspective*. WageningenX.
- Kumari, B., Tiwari, B. K., Hossain, M. B., Rai, D. K., y Brunton, N. P. (2017). Ultrasound-assisted extraction of polyphenols from potato peels: profiling and kinetic modelling. *International Journal of Food Science & Technology*, 52(6), 1432–1439. <https://doi.org/10.1111/ijfs.13404>
- Lachman, J., Hamouz, K., Orsák, M., y Kotíková, Z. (2016). Carotenoids in potatoes - A short overview. *Plant, Soil and Environment*, 62(10), 474–481. <https://doi.org/10.17221/459/2016-PSE>
- Läufer, A. (2019). Starch biorefinery enzymes. In K. Wagemann y N. Tippkötter (Eds.), *Biorefineries* (Vol. 166, pp. 137–152). https://doi.org/10.1007/10_2016_60
- Leo, L., Leone, A., Longo, C., Lombardi, D. A., Raimo, F., y Zacheo, G. (2008). Antioxidant Compounds and Antioxidant Activity in “Early Potatoes.” *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 56(11), 4154–4163. <https://doi.org/10.1021/jf073322w>
- Lerfall, J. (2016). Carotenoids: Occurrence, Properties and Determination. In B. Caballero, P. Fingkas, y F. Toldrá (Eds.), *Encyclopedia of Food and Health* (pp. 663–669). <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-384947-2.00119-7>
- Leyton, G., Abdo, R., Prieto, L., Poveda-Pisco, J., y Ceron-Lasso, M. (2013). Carotenoids extracted from promising clones of criolla potato (*Solanum Tuberosum* Group Phureja) for food industry. *Revista Latinoamericana de La Papa*, 17(2), 103–116. Recuperado de <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=5512101>
- Liang, S., Han, Y., Wei, L., y McDonald, A. G. (2015). Production and characterization of bio-oil and bio-char from pyrolysis of potato peel wastes. *Biomass Conversion*

- and Biorefinery, 5(3), 237–246. <https://doi.org/10.1007/s13399-014-0130-x>
- Ligarreto, G., y Suárez, M. (2003). Evaluation of the potential of genetics resources of Creole potato (*Solanum phureja*) for industrial quality. *Agronomía Colombiana*, 21(1–2), 83–94. Recuperado de <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=180317942009>
- Liu, R. H. (2013). Health-Promoting Components of Fruits and Vegetables in the Diet. *Advances in Nutrition*, 4(3), 384S–392S. <https://doi.org/10.3945/an.112.003517>
- Lu, W., Yu, M., Bai, Y., Li, W., y Xu, X. (2012). Crude Protein Content in Diploid Hybrid Potato Clones of *Solanum phureja*–*S. stenotomum*. *Potato Research*, 55(3–4), 315–322. <https://doi.org/10.1007/s11540-012-9211-z>
- Madiwale, G. P., Reddivari, L., Stone, M., Holm, D. G., y Vanamala, J. (2012). Combined Effects of Storage and Processing on the Bioactive Compounds and Pro-Apoptotic Properties of Color-Fleshed Potatoes in Human Colon Cancer Cells. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 60(44), 11088–11096. <https://doi.org/10.1021/jf303528p>
- Mares, J. (2016). Lutein and Zeaxanthin Isomers in Eye Health and Disease. *Annual Review of Nutrition*, 36(1), 571–602. <https://doi.org/10.1146/annurev-nutr-071715-051110>
- Martínez, P., Málaga, A., Betalleluz, I., Ibarz, A., y Velezmoro, C. (2015). Functional characterization on native starch of Peruvian native potatoes (*Solanum phureja*). *Scientia Agropecuaria*, 6(4), 291–301. <https://doi.org/10.17268/sci.agropecu.2015.04.06>
- Matharu, A. S., de Melo, E. M., y Houghton, J. A. (2016). Opportunity for high value-added chemicals from food supply chain wastes. *Bioresource Technology*, 215, 123–130. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2016.03.039>
- Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural. (2006). *Apuesta Exportadora Agropecuaria 2006-2020*. (946). Recuperado de <http://bibliotecadigital.agronet.gov.co/handle/11348/6004>
- Mohdaly, A. A. A., Hassanien, M. F. R., Mahmoud, A., Sarhan, M. A., y Smetanska, I. (2013). Phenolics Extracted from Potato, Sugar Beet, and Sesame Processing By-Products. *International Journal of Food Properties*, 16(5), 1148–1168. <https://doi.org/10.1080/10942912.2011.578318>
- Moncada, J., Aristizábal, V., y Cardona, C. A. (2016). Design strategies for sustainable biorefineries. *Biochemical Engineering Journal*, 116, 122–134. <https://doi.org/10.1016/j.bej.2016.06.009>
- Mosquera Vásquez, T., Del Castillo, S., Gálvez, D. C., y Rodríguez, L. E. (2017). Breeding Differently: Participatory Selection and Scaling Up Innovations in Colombia. *Potato Research*, 60(3–4), 361–381. <https://doi.org/10.1007/s11540-018-9389-9>
- Mulder, W., van der Peet-Schwering, C., Hua, N., y van Ree, R. (2016). *Proteins for*

Food, Feed and Biobased Applications. Biorefining of protein containing biomass.
Wageningen: IEA Bioenergy.

- Narváez-Cuenca, C.-E., Kuijpers, T. F. M., Vincken, J.-P., de Waard, P., y Gruppen, H. (2011). New Insights into an Ancient Antibrowning Agent: Formation of Sulfophenolics in Sodium Hydrogen Sulfite-Treated Potato Extracts. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 59(18), 10247–10255. <https://doi.org/10.1021/jf202624q>
- Narváez-Cuenca, C. E., Peña, C., Restrepo-Sánchez, L.-P., Kushalappa, A., y Mosquera, T. (2018). Macronutrient contents of potato genotype collections in the *Solanum tuberosum* Group Phureja. *Journal of Food Composition and Analysis*, 66, 179–184. <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2017.12.019>
- Narváez-Cuenca, C. E., Vincken, J. P., Zheng, C., y Gruppen, H. (2013). Diversity of (dihydro) hydroxycinnamic acid conjugates in Colombian potato tubers. *Food Chemistry*, 139(1–4), 1087–1097. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2013.02.018>
- Navas, G., y Díaz, C. (2012). *Criterios de evaluación y producción de papa criolla para la industria.* Recuperado de https://repository.agrosavia.co/bitstream/handle/20.500.12324/2254/44959_60377.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Nayak, A., y Bhushan, B. (2019). An overview of the recent trends on the waste valorization techniques for food wastes. *Journal of Environmental Management*, 233, 352–370. <https://doi.org/10.1016/J.JENVMAN.2018.12.041>
- Ñústez, C. (2011). *Variedades colombianas de papa.* Bogotá: Universidad Nacional de Colombia.
- Ong, K. W., Hsu, A., y Tan, B. K. H. (2013). Anti-diabetic and anti-lipidemic effects of chlorogenic acid are mediated by ampk activation. *Biochemical Pharmacology*, 85(9), 1341–1351. <https://doi.org/10.1016/j.bcp.2013.02.008>
- Pardo, O. H., Castañeda, J. C., y Ortiz, C. A. (2013). Caracterización estructural y térmica de almidones provenientes de diferentes variedades de papa. *Acta Agronomica*, 62(4), 289–295. Recuperado de https://revistas.unal.edu.co/index.php/acta_agronomica/article/view/37126/45140
- Parra-Galindo, M.-A., Piñeros-Niño, C., Soto-Sedano, J. C., Mosquera-Vasquez, T., Parra-Galindo, M.-A., Piñeros-Niño, C., ... Mosquera-Vasquez, T. (2019). Chromosomes I and X Harbor Consistent Genetic Factors Associated with the Anthocyanin Variation in Potato. *Agronomy*, 9(7), 366. <https://doi.org/10.3390/agronomy9070366>
- Pathak, P. D., Mandavgane, S. A., Puranik, N. M., Jambhulkar, S. J., y Kulkarni, B. D. (2018). Valorization of potato peel: a biorefinery approach. *Critical Reviews in Biotechnology*, 38(2), 218–230. <https://doi.org/10.1080/07388551.2017.1331337>
- Peña, C., Restrepo-Sánchez, L.-P., Kushalappa, A., Rodríguez-Molano, L.-E.,

- Mosquera, T., y Narváez-Cuenca, C.-E. (2015). Nutritional contents of advanced breeding clones of *Solanum tuberosum* group Phureja. *LWT - Food Science and Technology*, 62(1), 76–82. <https://doi.org/10.1016/J.LWT.2015.01.038>
- Pillai, S. S., Navarre, D. A., y Bamberg, J. (2013). Analysis of Polyphenols, Anthocyanins and Carotenoids in Tubers from *Solanum tuberosum* Group Phureja, Stenotomum and Andigena. *American Journal of Potato Research*, 90(5), 440–450. <https://doi.org/10.1007/s12230-013-9318-z>
- Piñeros-Niño, C. (2009). *Recopilación de la investigación del sistema productivo Papa Criolla*. Secretaría de Agricultura y Desarrollo Económico (Gobernación de Cundinamarca). Fedepapa.
- Piñeros-Niño, C., Narváez-Cuenca, C. E., Kushalappa, A. C., y Mosquera, T. (2017). Hydroxycinnamic acids in cooked potato tubers from *Solanum tuberosum* group Phureja. *Food Science and Nutrition*, 5(3), 380–389. <https://doi.org/10.1002/fsn3.403>
- Plaza, G. A., y Wandzich, D. (2018). Biorefineries – New Green Strategy For Development Of Smart And Innovative Industry. *Management Systems in Production Engineering*, 23(3), 150–155. <https://doi.org/10.2478/mspe-02-03-2016>
- Porras, P. D., y Herrera, C. A. (2015). *Modelo productivo de la papa criolla para los departamentos de Cundinamarca y Boyacá*. Recuperado de <https://repository.agrosavia.co/handle/20.500.12324/13752>
- Pots, A. M., Gruppen, H., van Diepenbeek, R., van der Lee, J. J., van Boekel, M. A., Wijngaards, G., y Voragen, A. G. (1999). The effect of storage of whole potatoes of three cultivars on the patatin and protease inhibitor content; a study using capillary electrophoresis and MALDI-TOF mass spectrometry. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 79(12), 1557–1564. [https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1097-0010\(199909\)79:12<1557::AID-JSFA375>3.0.CO;2-K](https://doi.org/10.1002/(SICI)1097-0010(199909)79:12<1557::AID-JSFA375>3.0.CO;2-K)
- Priedniece, V., Spalvins, K., Ivanovs, K., Pubule, J., y Blumberga, D. (2017). Bioproducts from Potatoes. A Review. *Environmental and Climate Technologies*, 21, 18–27. <https://doi.org/10.1515/rtuect-2017-0013>
- Ritter, E., Barandalla, L., López, R., y De Galarreta, J. I. R. (2008). Exploitation of exotic, cultivated *Solanum* germplasm for breeding and commercial purposes. *Potato Research*, 51(3–4), 301–311. <https://doi.org/10.1007/s11540-008-9109-y>
- Rivera, J., Herrera, A., y Rodríguez, L. (2006). Evaluación sensorial en productos procesados de papa criolla (*Solanum phureja*) y su importancia para el fitomejoramiento. *Fitotecnia Colombiana*, 6(2), 9–25. Recuperado de http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_nlinks&ref=000185&pid=S0120-548X201300030000400058&lng=en
- Rivera, J., Herrera, A., y Rodríguez, L. (2011). Assessment of the processing profile of six “creole potato” genotypes (*Solanum tuberosum* Phureja Group). *Agronomía Colombiana*, 29(1), 73–81. Recuperado de

http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0120-99652011000100010

- Rodriguez, A., Mondaini, A., y Hitschfeld, M. (2018). Bioeconomía en América Latina y el Caribe. Contexto global y regional y perspectivas. *Memoria Del Seminario Regional Realizado En Santiago, Los Días 24 y 25 de Enero de 2018*, 72. Recuperado de <https://repositorio.cepal.org/handle/11362/42427>
- Rodríguez, D., Núñez, C., Cotes, J., y Rodríguez, L. (2011). Heredabilidad del contenido de proteína total en papa diploide *Solanum tuberosum* grupo Phureja. *Bragantia*, 4, 759–766. Recuperado de <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=90821058005>
- Rodríguez, L., y Moreno, P. (2010). Factores y mecanismos relacionados con la dormancia en tubérculos de papa . Una revisión. *Agronomía Colombiana*, 28(2), 189–197. Recuperado de <https://revistas.unal.edu.co/index.php/agrocol/article/view/18022>
- Rojas, L., y Seminario, J. (2014). Productividad de diez cultivares promisorios de papa chaucha (*Solanum tuberosum*, grupo Phureja) de la región Cajamarca. *Scientia Agropecuaria*, 5, 165–175. Recuperado de www.sci-agropecu.unitru.edu.pe
- Römer, S., Lübeck, J., Kauder, F., Steiger, S., Adomat, C., y Sandmann, G. (2002). Genetic engineering of a zeaxanthin-rich potato by antisense inactivation and co-suppression of carotenoid epoxidation. *Metabolic Engineering*, 4(4), 263–272. <https://doi.org/10.1006/mben.2002.0234>
- Scharf, R., Wang, R., Maycock, J., Ho, P., Chen, S., y Orfila, C. (2018). Valorisation of Potato (*Solanum tuberosum*) Peel Waste: Extraction of Fibre, Monosaccharides and Uronic Acids. *Waste and Biomass Valorization*, 1–6. <https://doi.org/10.1007/s12649-018-0532-2>
- Schieber, A., y Saldaña, M. (2009). Potato Peels : A Source of Nutritionally and Pharmacologically Interesting Compounds – A Review. *Food*, 3, 23–29. <https://doi.org/10.7939/R33T9DM0H>
- Scott, E., Peter, F., y Sanders, J. (2007). Biomass in the manufacture of industrial products-the use of proteins and amino acids. *Applied Microbiology and Biotechnology*, Vol. 75, pp. 751–762. <https://doi.org/10.1007/s00253-007-0932-x>
- Sepelev, I., y Galoburda, R. (2015). Industrial potato peel waste application in food production: a review. *Annual 21st International Scientific Conference: "Research for Rural Development" Volume 1, Jelgava, Latvia, 13-15 May 2015*, 130–136.
- Singh, A., Sabally, K., Kubow, S., Donnelly, D. J., Garipey, Y., Orsat, V., ... Raghavan, G. S. V. (2011). Microwave-Assisted Extraction of Phenolic Antioxidants from Potato Peels. *Molecules*, 16(3), 2218–2232. <https://doi.org/10.3390/molecules16032218>
- Singh, B., Singh, J., Singh, J. P., Kaur, A., y Singh, N. (2019). Phenolic compounds in potato (*Solanum tuberosum* L.) peel and their health-promoting activities. *International Journal of Food Science & Technology*, ijfs.14361.

<https://doi.org/10.1111/ijfs.14361>

- Singh, N., y Rajini, P. S. (2008). Antioxidant-mediated protective effect of potato peel extract in erythrocytes against oxidative damage. *Chemico-Biological Interactions*, 173(2), 97–104. <https://doi.org/10.1016/j.cbi.2008.03.008>
- Singh, P. P., y Saldaña, M. D. A. (2011). Subcritical water extraction of phenolic compounds from potato peel. *Food Research International*, 44(8), 2452–2458. <https://doi.org/10.1016/J.FOODRES.2011.02.006>
- Stringham, J. M., Bovier, E. R., Wong, J. C., y Hammond, B. R. (2010). The influence of dietary lutein and zeaxanthin on visual performance. *Journal of Food Science*, 75(1), R24–R29. <https://doi.org/10.1111/j.1750-3841.2009.01447.x>
- Stushnoff, C., Holm, D., Thompson, M. D., Jiang, W., Thompson, H. J., Joyce, N. I., y Wilson, P. (2008). Antioxidant Properties of Cultivars and Selections from the Colorado Potato Breeding Program. *American Journal of Potato Research*, 85(4), 267–276. <https://doi.org/10.1007/s12230-008-9032-4>
- Sulli, M., Mandolino, G., Sturaro, M., Onofri, C., Diretto, G., Parisi, B., y Giuliano, G. (2017). Molecular and biochemical characterization of a potato collection with contrasting tuber carotenoid content. *PLoS ONE*, 12(9), e0184143. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0184143>
- Takagaki, A., Ohara, M., Nishimura, S., y Ebitani, K. (2009). A one-pot reaction for biorefinery: combination of solid acid and base catalysts for direct production of 5-hydroxymethylfurfural from saccharides. *Chemical Communications*, (41), 6276. <https://doi.org/10.1039/b914087e>
- Toro, M. D. C. (2016). *Evaluación del efecto de 3 inhibidores de brotación en papa criolla (Solanum Phureja) variedad criolla Colombia aplicados en el proceso de poscosecha*. Recuperado de <http://www.bdigital.unal.edu.co/52671/>
- UNESCO. (2017). *Educación para los Objetivos de Desarrollo Sostenible: objetivos de aprendizaje - UNESCO Biblioteca Digital*. Recuperado de <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000252423?locale=es>
- Valencia-Flórez, L., Trejo-Escobar, D., Latorre-Vásquez, L., Mejía-España, D., y Hurtado, A. (2019). Influence of storage conditions on the quality of two varieties of native potato (*Solanum Tuberosum* group phureja). *Revista DYNA*, 86(209), 56–62. <https://doi.org/10.15446/dyna.v86n209.72958>
- Velásquez-Herrera, J. D., Lucas-Aguirre, J. C., y Quintero-Castaño, V. D. (2017). Physical-chemical characteristics determination of potato (*Solanum phureja* Juz. & Bukasov) starch. *Acta Agronómica*, 66(3), 323–330. <https://doi.org/10.15446/acag.v66n3.52419>
- Velderrain-Rodríguez, G. R., Palafox-Carlos, H., Wall-Medrano, A., Ayala-Zavala, J. F., Chen, C.-Y. O., Robles-Sánchez, M., ... González-Aguilar, G. A. (2014). Phenolic compounds: their journey after intake. *Food & Function*, 5(2), 189–197. <https://doi.org/10.1039/c3fo60361j>

- Wageningen University & Research. (2019a). Biorefinery: From Biomass to Building Blocks of Biobased Products. Recuperado de edX courses website: <https://www.edx.org/course/biorefinery-from-biomass-to-building-blocks-of-bio>
- Wageningen University & Research. (2019b). From Fossil Resources to Biomass: A Business and Economics Perspective. Recuperado de edX courses website: <https://www.edx.org/es/course/from-fossil-resources-to-biomass-a-chemistry-persp>
- Wageningen University & Research. (2020). Course Overview. In *From Fossil Resources to Biomass: A Business and Economics Perspective*. WageningenX.
- Waglay, A., Karboune, S., y Alli, I. (2014). Potato protein isolates: Recovery and characterization of their properties. *Food Chemistry*, 142, 373–382. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2013.07.060>
- Wijngaard, H. H., Ballay, M., y Brunton, N. (2012). The optimisation of extraction of antioxidants from potato peel by pressurised liquids. *Food Chemistry*, 133(4), 1123–1130. <https://doi.org/10.1016/J.FOODCHEM.2011.01.136>
- Wubben, E. (2020a). Factors affecting Biobased Investments. In *From Fossil Resources to Biomass: A Business and Economics Perspective*. WageningenX.
- Wubben, E. (2020b). Global Investment Patterns. In *From Fossil Resources to Biomass: A Business and Economics Perspective*. WageningenX.
- Wubben, E. (2020c). TRL: Levels in New Business Development. In *From Fossil Resources to Biomass: A Business and Economics Perspective*. WageningenX.
- Zárate-Polanco, L., Ramírez-Suárez, L., Otálora-Santamaría, N., Prieto, L., Garnica-Holguín, A., Cerón-Lasso, M., y Argüelles, J. (2014). Extracción y caracterización de almidón nativo de clones promisorios de papa criolla (*Solanum tuberosum*, Grupo Phureja). *Revista Latinoamericana de La Papa*, 18(1), 1–24. Recuperado de <http://ojs.papaslatinas.org/index.php/rev-alap/article/view/206>
- Zhang, Z., Luo, X., Liu, Y., Zhou, P., Ma, G., Lei, Z., y Lei, L. (2015). A low cost and highly efficient adsorbent (activated carbon) prepared from waste potato residue. *Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers*, 49, 206–211. <https://doi.org/10.1016/j.jtice.2014.11.024>