

<https://doi.org/10.37073/puriq.2.3.100>

Propiedades funcionales de productos tradicionales congelados y secados al sol de oca (*Oxalis tuberosa* Molina) y olluco (*Ullucus tuberosus* Caldas): Una revisión

Functional properties of traditional frozen and sun-dried products of oca (*Oxalis tuberosa* Molina) and olluco (*Ullucus tuberosus* Caldas): A review

Roberto Carlos Chuquilín Goicochea

Universidad Nacional de Huancavelica, Perú

roberto.chuquilin@unh.edu.pe

<https://orcid.org/0000-0002-8751-691X>

Mónica Carolim Martínez Laurente

Universidad Nacional de Huancavelica, Perú

monicacarolimm@gmail.com

<https://orcid.org/0000-0002-9040-5380>

Jesús Teodoro Rodrigo Chumbes

Universidad Nacional de Huancavelica, Perú

jesus_rch7@hotmail.com

<https://orcid.org/0000-0002-8980-646X>

Recibido: 09.07.2020

Aprobado: 07.08.2020

Resumen

El objetivo fue comprender la importancia de dos tubérculos andinos orgánicos como *Oxalis tuberosa* Molina y *Ullucus tuberosus* Caldas, en cuanto a sus

componentes benéficos para la salud humana, así como indagar el valor agregado que tendría mediante una técnica ancestral, llamada comúnmente “chuño”, conocidos como caya y chullce en la región Huancavelica. Se revisaron bases de datos Science direct, Taylor & Francis, Wiley, PubMed, Scielo y Alicia, con una antigüedad de 20 años. Los resultados más relevantes se sistematizaron en tablas y se analizaron para resaltar las cualidades que ambos tubérculos tienen como producto fresco y, las posibilidades que puedan tener al convertirlos en productos agroindustriales que retienen sus propiedades funcionales.

Descriptores: Capacidad antioxidante, antocianinas, betalaininas, ocatina, almidón, kaya, chullce.

Abstract

The objective was to understand the importance of two organic Andean tubers such as *Oxalis tuberosa* Molina and *Ullucus tuberosus* Caldas, in terms of its components beneficial to human health and as well as investigating the added value that it would have through an ancestral technique, commonly called “chuño” known as caya and chullce in the Huancavelica region. Science direct, Taylor & Francis, Wiley, PubMed, Scielo and Alicia databases were reviewed, with an age of 20 years. The most relevant results were systematized in tables and analyzed to highlight the qualities that both tubers have as a fresh product, and the possibilities that they may have when converting them into agro-industrial products that retain their functional properties.

Descriptors: Antioxidant capacity, anthocyanins, betalainins, ocatin, starch, kaya, chullce.



Introducción

Se puede considerar un alimento como funcional, si es satisfactoriamente demostrado que tiene un efecto benéfico en una o más funciones objetivo del cuerpo humano, adicionalmente de los efectos nutricionales adecuados, de forma que otorgue una importante mejora del estado de salud y bienestar y/o una disminución del riesgo

de enfermedad (Paliwal et al., 2016). La dieta y una variedad de enfermedades y estados de enfermedades crónicas relacionadas con la edad, están estrechamente relacionadas (Manach et al., 2017; Padayachee, Day, Howell, & Gidley, 2017) are considered to be major causal risk factors associated with increased susceptibility to developing certain diseases (Alldrick, 1998; Kiani, 2007, por esta razón, los compuestos relacionados con la salud se han convertido en un foco importante para los investigadores y la industria alimentaria.

La demanda por soluciones holísticas para prevenir enfermedades crónicas y mantener buena salud ha mostrado un aumento en los últimos años, lo que ha llevado a la creación de un nuevo nicho de mercado en alimentos funcionales con una tasa de crecimiento anual del 10%. Para el 2020 se estima que el mercado de alimentos funcionales tendrá un valor de \$ 192 mil millones de dólares (Euromonitor, 2016). Los consumidores primarios de estos productos se caracterizan por ser jóvenes que se preocupan por la salud, lo que puede estar influenciado en parte por los canales de las redes sociales y la “naturalidad” y lo “orgánico” de los alimentos (Bimbo et al., 2017; Kraus, Annunziata, & Vecchio, 2017; Puhakka, Valve, & Sinkkonen, 2018)

La oca y el olluco son cultivos orgánicos que no requieren de agroquímicos, y se ha demostrado en diversos estudios tener propiedades funcionales, sobre todo en morfotipos y variedades pigmentadas, que les permiten ser una gran opción para el desarrollo de productos en este nicho de mercado (Campos, Chirinos, Gálvez Ranilla, & Pedreschi, 2018). Si adicionalmente se le aplica un plus de transformación usando “técnicas ancestrales”, tal como es una especie de proceso de liofilizado en épocas de “helada” (junio – agosto), que consiste en congelar el producto durante la noche y luego secar al sol durante el día, el valor agregado de estos derivados sería mucho mayor, y además que estos pueden mantener su vida útil por más tiempo que cualquier otro producto procesado.

Este trabajo de revisión analiza la mayor cantidad de investigaciones publicadas en los últimos años sobre las propiedades funcionales de dos tubérculos andinos: Oca (*Oxalis tuberosa* Mol.) y Olluco (*Ullucus tuberosum* L.) con énfasis en su transformación en un producto tradicional cuyo proceso implica dos etapas principales: congelación y secado a sol. La popularidad de los productos andinos sigue

creciendo a escala mundial, pero se debe adaptar al estilo de vida de los consumidores con productos de alto valor agregado, basados en sus propiedades funcionales, que mejoran el sistema inmunológico y la salud pública. Finalmente, la revisión planteará preguntas de investigación que deben abordarse para mantener un futuro prometedor para los productos tradicionales andinos con excelentes propiedades funcionales.

Metodología

Se hizo una revisión sistemática de literatura científica mediante búsqueda en las bases de datos internacionales relevantes como: Science direct, Taylor & Francis, Wiley, PubMed y Scielo; así como también a nivel nacional en Alicia. Los descriptores utilizados fueron: Oxalis tuberosa, Ullucus tuberosum, caya, kaya, chullce, chuño, ccaya, kaya, lingli, q'aya, k'aya, kawi. Se revisaron documentos principalmente artículos de investigación original, tesis, libros y vídeo. Los trabajos que se han dirigido al estudio de propiedades funcionales de la oca y el olluco, tuvieron prioridad de revisión y algunos tópicos referidos al chuño de papa.

La oca

La oca (*Oxalis tuberosa* Molina) comúnmente conocida con nombres como: oqa, apilla, uncha, ibia y cuiba, es un tubérculo actualmente domesticado a lo largo de los Andes sudamericanos, capaz de crecer hasta los 3000 metros de altitud sobre el nivel del mar (Zhu & Cui, 2019). Se han realizado análisis de caracterización morfológica y molecular en la oca, que han permitido formar dos grupos de acuerdo principalmente a características relacionadas con el color y la forma de las hojas, tallos y tubérculos. A pesar de ello, existe variación a nivel fenotípico y genotípico que deber conservada (Morillo, Morillo, & Leguizamo, 2019). En general se tiene tubérculos de oca agrupados por color, en dos grupos, uno cuyo color varía del blanco al anaranjado, y otro del rosado a negro; cuya pigmentación es un buen indicador de riqueza en compuesto bioactivos. El tubérculo de oca debe exponerse al sol con días de anticipación a su consumo, debido al sabor amargo que le confieren los oxalatos solubles, que posee y que son antinutrientes (Albihn & Savage, 2001). Existe un producto derivado del tubérculo de oca, congelado en las noches y deshidratado al

sol, similar al chuño de papa llamado caya o cavi o kaya o kahya (Campos et al., 2018). La congelación, remojo y secado también se utilizan para convertir la oca, en un producto conocido como caya (Werge, 1979). La alta perecebilidad de la oca, demanda que una mayor parte se transforme en caya, y los tubérculos frescos sólo se almacenen como semilla.

La caya es el producto obtenido por un proceso similar a la “liofilización” (Keleman Saxena, Cadima Fuentes, Gonzales Herbas, & Humphries, 2016), mediante el cual se congela el agua del producto, para luego ser sublimado a presión de vacío. Es justamente, ese proceso el que conserva mejor las características propias del tubérculo como son su sabor, color y sobretodo sus nutrientes y compuestos funcionales.

El olluco

El olluco (*Ullucus tuberosus* Caldas) se cultiva normalmente por encima de 2800 m sobre el nivel del mar). Es la única especie del género *Ullucus* perteneciente a la familia Basellaceae. El olluco es el segundo tubérculo más cultivados y económicamente importante solo superado por la papa, en los andes sudamericanos, probablemente por su agradable sabor y su versatilidad para ser preparado con diferentes tipos de carne. Su nombre común varía de acuerdo a la región, por ejemplo: melloco (Ecuador), olluco (Perú), chugua (Colombia) o ruba (Venezuela), entre otros como papa lisa (Cejudo-Bastante, Hurtado, Mosquera, & Heredia, 2014). La piel difiere claramente de la pulpa en color, la piel puede tener una gran cantidad de colores como amarillo, naranja, rojo, magenta y púrpura, con o sin pecas de color; cuya pigmentación es debida a colorantes naturales y funcionales llamados betalaínas (Mejía Lotero et al., 2018; Pacheco, Escribano-Bailón, Moreno, Villamiel, & Dueñas, 2019; Pacheco, Hernández-Hernández, Moreno, & Villamiel, 2020). Del olluco también se puede obtener un producto similar al chuño de papa, llamado en la sierra sur del Perú como lingli y en la sierra central como chullcce, que conserva todas la propiedades de la materia prima (Márquez Mendoza, 2019).

Proceso de chuño

Este proceso será tratado a efectos de explicar su similitud con el proceso de

obtención de los derivados similares de oca y olluco.

Se ha tratado de encontrar información al respecto de la obtención de los tipos de chuño de cada uno de los cuatro tubérculos andinos, y se ha logrado encontrar tres que corresponden a: la papa (chuño), la oca (caya o kaya) y el olluco (chullcce o lingli), la mashua no tiene un derivado similar conocido. Las prácticas ancestrales que conllevan a la obtención de estos tres productos, como se señaló líneas arriba, son muy similares a un proceso de liofilización y dado que este proceso de secado es el que proporciona mayor retención de compuestos bioactivos, nutrientes y características sensoriales, es que se ha diseñado este trabajo de revisión para resaltar su importancia como fuente de ingredientes funcionales para el mundo.

El procesamiento del chuño es muy anterior a la llegada de los españoles. Los cronistas españoles escribieron que los indios usaban las papas recolectadas, para secarlas al sol, luego golpearlas y prepararse un alimento llamado chuño que se usa como pan (Christiansen, 1977; de Haan et al., 2010).

La producción de chuños está limitada a zonas altas del Perú, durante los periodos de junio a julio, cuando se dan fuertes heladas nocturnas. Las papas son seleccionadas por tamaño y variedad, ya que de esto depende el tiempo requerido para su congelación, luego se esparcen en el suelo de manera uniforme, a veces sobre paja (*Stipa ichu* R. y P.), para aumentar el flujo de aire frío alrededor de las papas. Si las papas se han congelado, son apiladas y luego pisoteadas, para quitarles la epidermis y eliminar agua residual que no haya congelado. A veces se remojan para eliminar por lixiviación los glicoalcaloides que poseen ciertas variedades amargas. Luego se secan al sol durante un promedio de 7,5 días exponiéndolas en una superficie plana y mejorando la ventilación y la velocidad de secado colocándolas sobre camas de paja. En los andes peruanos este producto llamado chuño blanco es llamado también como moray o tunta. Existe una variación de color oscuro llamado chuño negro. El chuño es preparado principalmente como complemento de sopa, guiso, guarnición de chicharrón de carne de cerdo, y algunos dulces resultado de la mezcla con frutas o simplemente el famoso postre peruano denominado mazamorra (Christiansen, 1977; de Haan et al., 2010; Werge, 1979).

Proceso de kaya

Según Cecasem (2010) el proceso de obtención de kaya empieza con la sumersión de la oca en pozos de agua, diseñados artificialmente con muros de piedra y tierra, donde se deja remojar por un periodo de treinta días para eliminar los oxalatos y se logre una consistencia suave. Al cabo de este tiempo, se frotran los tubérculos para eliminar la piel, se disponen en una alfombra de paja que permita una mejor ventilación y velocidad de congelación durante la noche de helada, y luego se deja secar por una semana en promedio por exposición al sol. Finalmente, se obtiene un producto deshidratado y dulce, con el sabor típico de la oca que se puede combinar con diferentes platillos. Por lo general, se consumen con leche y azúcar, y como mazamorra, constituyéndose un manjar para el paladar del poblador andino.

Proceso de chullcce

En una entrevista con los pobladores de Puca Cruz, distrito de Rosario, provincia de Acobamba, Huancavelica, se obtuvo información sobre el procesamiento del chullcce (chuño de olluco), y se identificaron tres operaciones básicas: escaldado, congelado y secado. El proceso fue muy similar al chuño de papa y al de kaya, salvo por el escaldado. El producto final se prepara de diferentes maneras, pero principalmente en guiso, cuyo sabor es exquisito y lo resaltante, es que una pequeña porción de chullcce guisado, tiene la capacidad causar una sensación de hastío, que reduce el consumo calórico durante el almuerzo y, por ende, el control del peso del consumidor.

Composición química proximal en fresco y procesado

En la tabla 1 se puede observar que la composición química proximal de la oca varía al ser procesada como kaya. Se puede verificar que, la reducción de la humedad durante este proceso es de 81,81 %; y en los demás componentes se incrementa de 290 % a 466,92 %.

Tabla 1

Variación de la composición química proximal de oca

Parámetro	Oca		
	Fresco	Kaya	Variación
	(%)	(%)	(%)

Humedad	84,1	15,3	-81,81
Proteína	1	4,3	330,00
Ceniza	1	3,9	290,00
Carbohidratos	13,3	75,4	466,92
Energía (kcal/100 g)	61	325	432,79

Fuente: Tapia (1990).

Tabla 2

Variación de la composición química proximal de dos morfotipos de olluco: Puka Lisa y Papa Lisa

Parámetro	Puka Lisa			Papa Lisa		
	Fresco	Chullcce	Variación	Fresco	Chullcce	Variación
	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)
Humedad	85,95	7,67	-91,08	85,63	7,55	-91,18
Proteína	1,17	7,01	499,15	1,04	6,09	485,58
Grasa	0,15	0,96	540,00	0,12	0,79	558,33
Ceniza	0,86	3,92	355,81	0,79	3,35	324,05
Fibra	0,9	6,3	600,00	0,85	5,95	600,00
Carbohidratos	11,87	80,46	577,84	12,42	82,22	562,00
Energía (kcal/100 g)	49,91	333,32	567,84	51,52	336,55	553,24

Fuente: Márquez Mendoza (2019).

En la tabla 2 se puede observar que al transformar el olluco en su derivado chullcce principalmente se pierde humedad. En los demás componentes se puede observar que hubo un incremento en su valor.

Por lo tanto, se puede afirmar que el proceso de elaboración de kaya y chullcce, a partir de la oca y el olluco, respectivamente; no solo conserva, sino que incrementa su composición química proximal.

Contenido de aminoácidos en oca y olluco fresco

Los tubérculos (oca, olluco e isaño) no son una buena fuente de proteínas, la oca es deficiente en triptófano y valina; todos los aminoácidos son limitantes. El olluco es deficiente en la leucina, triptófano y treonina pero muestra un alto contenido de carbohidratos como los azúcares reductores y la fibra alimenticia que juegan un

rol muy importante en la alimentación humana (King, 1988). La composición de aminoácidos de oca y olluco frescos se muestra en la Tabla 3, en comparación con el patrón de referencia de la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. De acuerdo con este patrón, los tubérculos de olluco presentan el mejor perfil de aminoácidos que los de oca, ya que no hay deficiencia de ningún aminoácido esencial.

Tabla 3

Aminoácidos en oca y olluco

Aminoácidos	Oca	Olluco	Patrón de referencia de la FAO
	(g/16 g N)		
Isoleucina	2,6	3,9	4,0
Leucina	3,7	5,5	7,0
Lisina	4,1	3,7	5,5
Metionina	1,1	1,7	-
Cistina	1,0	1,4	-
Metionina + Cisteína	2,2	3,1	3,5
Fenilalanina	3,2	4,0	-
Tirosina	2,2	3,0	-
Fenilalanina + Tirosina	5,4	7,0	6,0
Treonina	3,1	3,7	4,0
Triptófano	1,0	1,0	1,0
Valina	4,0	5,0	5,0

Fuente: Gross et al. (1989)

Los tubérculos de oca también muestran un excelente patrón de aminoácidos, aunque algunos de ellos están presentes en cantidades ligeramente inferiores a las recomendadas. Los aminoácidos esenciales limitantes de olluco son leucina, lisina y metionina más cisteína, y en el caso de oca a este grupo se suma la isoleucina. Los tubérculos muestran la característica común de un considerable porcentaje de aminoácidos sulfurados y lisina, que a menudo carecen de fuentes de alimentos vegetales para el consumo humano (Gross et al., 1989).

Contenido de sacáridos y almidón en oca y olluco fresco

La Tabla 4 muestra la composición de monosacáridos y oligosacáridos encontrados en los tubérculos estudiados. El principal azúcar libre de la oca fue

sacarosa con un 20,92 % de peso seco, mientras que en olluco fue la glucosa (13,18 %) seguida de la fructuosa (11,13 %). El contenido indigerible de α -galactósido no excedió del 1%. En ambos casos, se observó un contenido muy alto de azúcares libres digestibles. Ambos tubérculos contienen altos niveles de carbohidratos, niveles moderados de proteínas y niveles extremadamente bajos de grasas, por lo que podría considerarse como una adición potencialmente nutritiva a la dieta (Busch et al., 2000).

Tabla 4

Sacáridos en oca y olluco

Sacáridos	Oca	Olluco
	g/100 g materia seca	
Fructuosa	0	11,13
Glucosa	3,63	13,18
Sacarosa	20,92	6,08
Rafinosa	0,18	0,74
Estaquiosa	0,68	0
α -Galactósidos	0,86	0,74
Almidóna	42,17	70,50
Amilosa (% del almidón) ^b	30	26
Amilopectina (%del almidón) ^b	70	74

^bEspín et al. (2001).

Fuente: Gross et al. (1989)

La oca y el olluco son una rica fuente de almidón, que tiene una variedad de funciones en la producción de alimentos. Los almidones se utilizan principalmente para absorber agua y formar fluidos viscosos, pastas o geles, proporcionando así las cualidades de textura deseadas (Vera, Espino Manzano, & Hernandez, 2018). Las bajas temperaturas de gelatinización y la alta estabilidad durante el enfriamiento hacen que estos almidones sean una materia prima adecuada para su uso en formulaciones que requieren temperaturas de procesamiento más suaves y dispensan almacenamiento por congelación (Valcárcel-Yamani, Rondán-Sanabria, & Finardi-Filho, 2013) chemical, and functional properties of starches isolated from the Andean tubers oca (*Oxalis tuberosa* M..

La digestibilidad in vitro del almidón de oca y olluco es de 91,78 % y 94,0 %, respectivamente (Susana Espín, Villacrés, & Brito, 2014). En términos de nutrición, el

almidón generalmente se clasifica como almidón de digestión rápida (RDS), almidón de digestión lenta (SDS) o almidón resistente (RS) según la tasa de digestión (Kim, Choi, Choi, Park, & Moon, 2020). Los tubérculos procesados sugieren la formación de almidón de digestión lenta (Chen, Singh, Midgley, & Archer, 2020) two sets of time-temperature cycle processes were studied: cooked potato tubers were stored between (i. Los almidones resistentes son metabolizados por la microbiota intestinal, generando ácidos grasos de cadena corta que, a su vez, al ser absorbidos en el colon tienen efectos benéficos como: aumento de la respuesta inmune, control de la glicemia, control del colesterol, principalmente. Es necesario, que se investigue sobre el efecto del proceso de congelación y secado al sol de estos tubérculos sobre la composición de azúcares y almidón, y su digestibilidad con efectos benéficos para la salud del consumidor.

Compuestos bioactivos de la oca y olluco fresco

Los alimentos de origen vegetal contienen una amplia variedad de actividades biológicas, compuestos no nutritivos conocidos como fitoquímicos, que producen beneficios para la salud (por ejemplo, actividad antioxidante) más allá de la nutrición básica (Sreeramulu & Raghunath, 2010). La oca y el olluco en estado fresco presentan estas características y compuestos bioactivos, y de manera única, cada uno tiene sus compuestos propios, como el caso del olluco que es el único tubérculo que tiene betalainas, betaxantinas y betacianinas (Tabla 5).

De los diferentes fitoquímicos que existen, los compuestos fenólicos han atraído la atención de diferentes áreas de aplicaciones, en los últimos años, como las industrias: alimentaria, farmacéutica, de salud y cosmética. La presencia de estos compuestos está muy extendida en el reino vegetal como parte de nuestra dieta diaria y son atractivos como antioxidantes naturales. La oca posee un contenido de compuestos fenólicos totales ligeramente superior al olluco (Campos et al., 2006; Chirinos, Pedreschi, Rogez, Larondelle, & Campos, 2013) ABTS and ORAC, la mayor cantidad parece concentrarse principalmente en la piel del tubérculo.

Los compuestos fenólicos identificados en olluco incluyen: rutina, narcisina y kaempferol 3-O- (2, 6 -di-O- α -L-rhamnopyranosyl) - β -D-glucopyranoside (Dini, Rastrelli, Saturnino, & Schettino, 1991). Entre los compuestos fenólicos presentes en

olluco (Sellappan, Akoh, & Krewer, 2002) total anthocyanins, total polyphenols, and Trolox-equivalent antioxidant capacity (TEAC se ha informado que el kaempferol flavonoide exhibe una fuerte actividad antioxidante (Cho et al., 2003; Jung, Chung, Choi, & Choi, 2003) e inhibe la hemólisis, la peroxidación lipídica y la generación de radicales superóxido (Ng, Liu, Lu, Cheng, & Wang, 2003). En general, la tendencia observada fue una mayor capacidad antioxidante para genotipos con mayor contenido fenólico (Campos et al., 2006).

Los compuestos fenólicos de la fracción acuosa como los ácidos fenólicos, flavan-3-ols, flavonas y antocianinas (estas últimas presentes en el genotipo púrpura) contribuyen a la capacidad antioxidante de este tubérculo. En general, los compuestos fueron los derivados del ácido cafeico, vanílico y cinámico, así como los compuestos fenólicos que pertenecen a las familias y formas derivadas de flavan-3-ol, flavona y flavanona (Chirinos et al., 2009).

Tabla 5

Compuestos bioactivos de la oca y olluco fresco

Compuesto	Oca	Olluco
Compuestos fenólicos totales (mg GAE/g DW)	1,2 ± 0,0 ¹ 0,71-1,32 ²	0,41 – 0,77 ²
Flavanoides totales (mg CE/g DW)	0,18 ± 0,0 ¹	
Flavonoides totales (mg QE/g DW)	0,08 ± 0,0 ¹	
Otros compuestos fenólicos (mg/g DW)	0,90 ± 0,02 ¹	
DPPH (μmol TE/g DW)	8,4 ± 0,1 ¹	
ABTS (μmol TE/g DW)	13,2 ± 0,8 ¹	0,38 μmol TE/g FW ³
ORAC (μmol TE/g DW)	14,7 ± 0,7 ¹	
Capacidad antioxidante hidrofílica (μg TE/ g FW)	1637 – 4771 ²	483 – 1524 ²
Capacidad antioxidante lipofílica (μg TE/ g FW)	69 – 320 ²	nd ²
Antocianinas (mg/g FW)	0,14 – 1,3 ²	nd ²
Carotenoides (μg b-caroteno/g FW)	2 – 25 ²	nd ²
Betaxantinas (μg / g FW)		22 – 96 ²

Betacianinas ($\mu\text{g} / \text{g FW}$)		64 ²
Betalainas ($\text{mg}/100 \text{ g FW}$)		7 ⁴

¹ Chirinos, Pedreschi, Rogez, Larondelle, & Campos (2013).

² Campos et al. (2006) native potato (*Solanum sp.*

³ Peñarrieta, Alvarado, Åkessonb, & Bergenstählc(2005).

⁴ Svenson, Smallfield, Joyce, Sansom, & Perry (2008).

DW: peso seco; FW: peso húmedo; TE: equivalente Trolox; GAE: equivalente ácido gálico; CE: equivalente catequina; QE: equivalente Quercetina; nd: no detectado.

La evaluación de la capacidad antioxidante en los cuatro tubérculos andinos mostró que la oca ocupa el segundo lugar después de mashua (*Tropaeolum tuberosum*) seguido de papa (*Solanum tuberosum*) y olluco (Campos et al., 2006; Chirinos et al., 2013; Peñarrieta et al., 2005) ABTS and ORAC. Los valores específicos de capacidad antioxidante hidrofílica obtenidos para oca (1637 – 4771 $\mu\text{g TE}/ \text{g FW}$) y olluco (483 – 1524 $\mu\text{g TE}/ \text{g FW}$) son comparables a los reportados previamente para los arándanos (685–1966 mg de TE/g FW) y mayores que para las moras (532 mg de TE/g FW) (Sellappan et al., 2002)

La capacidad antioxidante lipofílica (ALC) de los tubérculos de oca varió de 69 a 320 $\mu\text{g TE}/\text{g FW}$, probablemente debido a diferentes perfiles de carotenoides presentes en los diferentes genotipos estudiados (Campos et al., 2006) native potato (*Solanum sp.*). La fracción lipofílica contribuye al 1,9 – 10,2 % a los valores de capacidad antioxidante total para tubérculos de oca. Para los tubérculos de olluco, los resultados indican que no presentan este tipo de capacidad antioxidante. En general, los rangos de valores de ALC obtenidos para los tubérculos de papa, mashua y oca fueron similares.

El contenido de antocianinas en tubérculos de oca (Tabla 5), cuenta con la presencia ocho antocianinas diferentes: 3,5-O-diglucósidos de petunidina, peonidina y malvidina, 3-O-glucósidos de delfinidina, petunidina, peonidina y malvidina y el derivado acetilado de la 3,5-O- diglucósido de malvidina (Alcalde-Eon, Saavedra, Pascual-Teresa, & Rivas-Gonzalo, 2004). Por otro lado, los resultados de Campos et al. (2006) native potato (*Solanum sp.*) mostraron que el olluco no contiene antocianinas. En general, el contenido de antocianinas de los tubérculos andinos sigue el orden descendente mashua \geq oca \geq papa nativa. La correlación entre la ingestión de antocianinas y la mejora de la salud se ha demostrado en estudios epidemiológicos;

y son de especial interés no solo por sus beneficios para la salud sino también por su posible utilización como pigmentos alimenticios naturales (Giusti, Polit, Ayvaz, Tay, & Manrique, 2014).

Para los tubérculos de oca, el contenido total de carotenoides varía de 2 a 25 μg de β -caroteno/g FW (Campos et al., 2006) native potato (*Solanum* sp. (Tabla 5). En el caso de olluco, los resultados indican que estos tubérculos no contienen carotenoides, a pesar de tener el tejido amarillo pigmentado. Los valores del rango de contenido de carotenoides para los tubérculos andinos siguen el orden descendente: mashua \approx oca \geq papa nativa. Los carotenos y los carotenoides están presentes en muchas especies botánicas y microbiológicas, siendo responsables de los roles multifuncionales en las funciones antioxidantes, de detección ultravioleta y de reparación del ADN (Montesano, Rocchetti, Putnik, & Lucini, 2018).

El olluco es el único tubérculo que presenta contenidos de betaxantinas, betacianinas y betalaínas (Campos et al., 2006; Svenson et al., 2008) native potato (*Solanum* sp.. Por otro lado, capacidad antioxidante hidrofílica (HAC) y el contenido de betaxantinas (TBX) no estaban correlacionados, lo que sugiere que el TBX no contribuye al HAC en olluco (Campos et al., 2006) native potato (*Solanum* sp.. Las betalaínas son una familia de pigmentos naturales presentes en la mayoría de las plantas del orden Caryophyllales, proporcionan colores que van del amarillo al violeta a estructuras que en otras plantas están coloreadas por antocianinas. La caracterización reciente de diferentes bioactividades en experimentos con extractos que contienen betalaína y pigmentos purificados ha renovado el interés de la comunidad investigadora en estas moléculas utilizadas por la industria alimentaria como colorantes naturales. Los estudios con múltiples líneas celulares de cáncer han demostrado un alto potencial quimiopreventivo que encuentra soporte in vitro en una fuerte actividad antirradical y antioxidante. Las actividades biológicas reivindicadas de las betalaínas, podrían estar respaldadas por la alta capacidad antirradical de su unidad estructural, el ácido betalámico (Gandía-Herrero, Escribano, & García-Carmona, 2016).

Minerales en oca y el olluco frescos

A nivel mundial, los alimentos con almidón, los tubérculos y las frutas

carneas presentan un patrón similar, presentan bajos niveles de minerales con la excepción de potasio (K), cuya concentración es elevada en ambos tubérculos (Tabla 6). Los tubérculos deben tener una baja biodisponibilidad de Ca porque se encuentra principalmente en forma de oxalato, lo que hace que el elemento no esté disponible (Leterme, Buldgen, Estrada, & Londoño, 2006). Es probable que, durante el remojo (operación que incluye el proceso de chuño) exista una pérdida de minerales que debe ser estudiada, aunque el aporte de los tubérculos en estos micro elementos no sea significativo a la dieta.

Tabla 6

Minerales en oca y olluco

Minerales	Oca	Olluco
	mg/100 g de porción comestible	
Materia seca (%)	14,2	12,4
Ceniza	523	631
Ca	12	8
P	13	38
K	236	247
Mg	10	11
Na	4	1
Cl	3	2
S	6	13

Fuente: Leterme, Buldgen, Estrada, & Londoño (2006).

Propiedades termo físicas de la oca y el olluco frescos

El proceso de congelación y secado por sublimación, de tubérculos para la obtención de chuño requiere ser estudiado de tal manera, que se pueda estandarizar la tecnología (de Haan et al., 2010).

Este proceso se denomina “liofilización”, es un proceso de secado utilizado en la industria de los alimentos, farmacéutica y biotecnológica, con el fin de estabilizar y conservar los productos, reduciendo las pérdidas de compuestos lábiles y aquellos responsables del sabor y aroma (Cortés, Herrera, & Rodríguez, 2015). El proceso consiste en una previa congelación y la sublimación directa del hielo a presión subatmosférica. Para poder observar el efecto de este proceso en su valor nutricional

y funcional, requiere de valores de sus propiedades termo físicas. Estos parámetros son necesario para diseñar el proceso de congelación y secado (Salas-Valerio, Solano-Cornejo, Zelada-Bazán, & Vidaurre-Ruiz, 2019) La tabla 7 indica que falta estudiar estas propiedades en el olluco, y que las propiedades termo físicas de la oca son superiores entre estos tubérculos.

Tabla 7

Propiedades termo físicas de la oca y olluco frescos

Propiedades	Olluco¹	Oca²
Factor de agua ligada	0,18	
Agua no congelable (%)	4,88	
Temperatura de congelación inicial (°C)	-0,67	
ρ descongelado (kg/m ³)	1053,49	
ρ congelado (kg/m ³)	987,70	
k descongelado (W/m.°C)	0,56	0,4571
k congelado (W/m.°C)	2,09	-
Cp descongelado (J/kg.°C)	3770,98	2854,6
Cp congelado (J/kg.°C)	2092,84	1638,2
h pseudo convectivo (W/m ² .°C)	294,9 – 370,7	

¹Salas-Valerio et al. (2019).

²Acurio Arcos & Conrado Mora (2018).

Propiedades antimicrobianas

A partir de *Oxalis tuberosa* Molina se han purificado y caracterizado las ocatinas, que son las principales proteínas de almacenamiento y constituyen el 40 – 60 % del total de proteínas solubles de este tubérculo. La ocatina posee 153 residuos de aminoácidos, una masa molecular de 18 kDa y un punto isoeléctrico de 4,8 (Carvalho & Gomes, 2009). Además, las ocatinas exhiben actividad antimicrobiana, actuando contra diversas especies de bacterias fitopatógenas (*Pseudomonas aureofaciens*, *Serratia marcescens*, *Agrobacterium tumefaciens* y *Agrobacterium radiobacter*) y hongos (*Nectria hematococcus*, *F. oxysporum*, *Phytophthora cinnamomi* y *R. solani*), que atacan muchos cultivos (Flores, Alape-Girón, Flores-Díaz, & Flores, 2002)

Retos futuros

El alto contenido de carbohidratos, compuestos fenólicos, antocianinas, carotenoides, almidón y minerales de actividad beneficiosa conocida para la salud y/o con fuertes propiedades tecnológicas, en los tubérculos estudiados, apuntan a su potencial como fuentes de compuestos bioactivos, y su conservación con técnicas ancestrales sumarían ventajas competitivas a la comercialización de estos productos. Es de esperar que esta información contribuya a la preservación de los antiguos cultivos andinos, mejorando la calidad de vida de los pequeños agricultores peruanos y contribuyendo a la seguridad alimentaria mundial, a través de su producción, comercialización, consumo y aplicación industrial. Sobre las bases científicas mencionadas anteriormente, los desafíos científicos y tecnológicos que deben surgir para un mayor desarrollo a nivel industrial son:

- Desarrollar trabajos que contribuyan a estandarizar el proceso de elaboración de caya y chullece y, a la normalización de parámetros de calidad del producto final, para su escalamiento a nivel industrial y comercialización, y lograr certificaciones importantes como el certificado de origen.
- Investigar a profundidad las propiedades benéficas para la salud de la caya y chullece que demuestren a la comunidad científica, la preservación de sus compuestos bioactivos presentes en su materia prima.
- Para garantizar su producción durante todo el año, debería investigarse la manera de no depender de la época de helada, para la congelación de los tubérculos, modelando únicamente el proceso de congelación.

Conclusiones

La capacidad antioxidante total, los compuestos fenólicos totales, los flavonoides totales y las cantidades de compuestos fenólicos individuales se evaluaron en papa antes, durante y después de la congelación y el secado al sol tradicional conocidas como chuños. Se mostró la presencia de epicatequina, ácido clorogénico, ácido gálico, siringaldehído y ácido protocatecuico en muestras de papa y chuño, aunque los valores fueron más bajos en las muestras de chuño. Los resultados sugieren que la capacidad antioxidante y el contenido de los fenoles individuales disminuye, pero están lejos de eliminarse durante el proceso. El chuño, por lo tanto, todavía

puede considerarse una fuente importante de antioxidantes en la dieta (Peñarrieta, Salluca, Tejada, Alvarado, & Bergenståhl, 2011)total phenolic compounds (TPH. Estos hallazgos en papas, demanda que, la producción de chuños de oca (kaya) y olluco (chullcce) sea estudiada minuciosamente, ya que las propiedades funcionales, composición química y demás expuestas en este trabajo, podrían verse afectadas por el proceso tradicional de congelación y secado al sol. Existen pocos datos en la literatura sobre tubérculos liofilizados con respecto a su composición química, nutricional y funcional. Además, el proceso en sí no está claramente descrito en la literatura científica, y debería ser estandarizado, si es que se desea exportar.

Referencias bibliográficas

- Acurio Arcos, L. P., & Conrado Mora, K. M. (2018). Determinación de propiedades térmicas de oca (*Oxalis tuberosa*), jícama (*Smallanthus sonchifolius*), mashua (*Tropaeolum tuberosum*) y camote (*Ipomoea batatas*) (Universidad Técnica de Ambato). Recuperado de <https://repositorio.uta.edu.ec/handle/123456789/29060>
- Albihn, P. B. E., & Savage, G. P. (2001). The bioavailability of oxalate from oca (*Oxalis tuberosa*). *Journal of Urology*, 166(2), 420–422. [https://doi.org/10.1016/S0022-5347\(05\)65956-3](https://doi.org/10.1016/S0022-5347(05)65956-3)
- Alcalde-Eon, C., Saavedra, G., Pascual-Teresa, S. De, & Rivas-Gonzalo, J. C. (2004). Liquid chromatography-mass spectrometry identification of anthocyanins of isla oca (*Oxalis tuberosa*, Mol.) tubers. *Journal of Chromatography A*, 1054(1–2), 211–215. <https://doi.org/10.1016/j.chroma.2004.08.074>
- Bimbo, F., Bonanno, A., Nocella, G., Viscecchia, R., Nardone, G., De Devitiis, B., & Carlucci, D. (2017, June 1). Consumers' acceptance and preferences for nutrition-modified and functional dairy products: A systematic review. *Appetite*, Vol. 113, pp. 141–154. <https://doi.org/10.1016/j.appet.2017.02.031>
- Busch, J., Sangketkit, C., Savage, G., Martin, R., Halloy, S., & Deo, B. (2000). Nutritional analysis and sensory evaluation of ulluco (*Ullucus tuberosus* Loz) grown in New Zealand. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 80(15), 2232–2240. Retrieved from <https://www.scopus.com/record/display>.

uri?eid=2-s2.0-0034523209&origin=inward

- Campos, D., Chirinos, R., Gálvez Ranilla, L., & Pedreschi, R. (2018). Bioactive Potential of Andean Fruits, Seeds, and Tubers. In *Advances in Food and Nutrition Research* (Vol. 84, pp. 287–343). <https://doi.org/10.1016/bs.afnr.2017.12.005>
- Campos, D., Noratto, G., Chirinos, R., Arbizu, C., Roca, W., & Cisneros-Zevallos, L. (2006). Antioxidant capacity and secondary metabolites in four species of Andean tuber crops: native potato (*Solanum* sp.), mashua (*Tropaeolum tuberosum* Ruiz & Pavón), Oca (*Oxalis tuberosa* Molina) and ulluco (*Ullucus tuberosus* Caldas). *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 86(10), 1481–1488. <https://doi.org/10.1002/jsfa.2529>
- Carvalho, A. de O., & Gomes, V. M. (2009, May). Plant defensins-Prospects for the biological functions and biotechnological properties. *Peptides*, Vol. 30, pp. 1007–1020. <https://doi.org/10.1016/j.peptides.2009.01.018>
- Cecasem. (2010). Elaboración de kaya de oca. Recuperado de <https://www.youtube.com/watch?v=skB83XVm5so>
- Cejudo-Bastante, M. J., Hurtado, N., Mosquera, N., & Heredia, F. J. (2014). Potential use of new Colombian sources of betalains. Color stability of ulluco (*Ullucus tuberosus*) extracts under different pH and thermal conditions. *Food Research International*, 64, 465–471. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2014.07.036>
- Chen, Y. F., Singh, J., Midgley, J., & Archer, R. (2020). Influence of time-temperature cycles on potato starch retrogradation in tuber and starch digestion in vitro. *Food Hydrocolloids*, 98, 105240. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2019.105240>
- Chirinos, R., Betalleluz-Pallardel, I., Huamán, A., Arbizu, C., Pedreschi, R., & Campos, D. (2009). HPLC-DAD characterisation of phenolic compounds from Andean oca (*Oxalis tuberosa* Mol.) tubers and their contribution to the antioxidant capacity. *Food Chemistry*, 113(4), 1243–1251. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2008.08.015>
- Chirinos, R., Pedreschi, R., Rogez, H., Larondelle, Y., & Campos, D. (2013). Pheno-

- lic compound contents and antioxidant activity in plants with nutritional and/or medicinal properties from the Peruvian Andean region. *Industrial Crops and Products*, 47, 145–152. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2013.02.025>
- Cho, E. J., Yokozawa, T., Rhyu, D. Y., Kim, S. C., Shibahara, N., & Park, J. C. (2003). Study on the inhibitory effects of Korean medicinal plants and their main compounds on the 1,1-diphenyl-2-picrylhydrazyl radical. *Phytomedicine*, 10(6–7), 544–551. <https://doi.org/10.1078/094471103322331520>
- Christiansen, J. (1977). The utilization of bitter potatoes to improve food production in high altitude of the tropics. Cornell University.
- Cortés, M., Herrera, E., & Rodríguez, E. (2015). Optimización experimental del proceso de liofilización de uchuva adicionada con componentes activos por impregnación al vacío. *Vitae*, 22(1), 47–56. Recuperado de <https://www.redalyc.org/pdf/1698/169840731006.pdf>
- de Haan, S., Burgos, G., Arcos, J., Ccanto, R., Scurrah, M., Salas, E., & Bonierbale, M. (2010). Traditional Processing of Black and White Chuño in the Peruvian Andes: Regional Variants and Effect on the Mineral Content of Native Potato Cultivars. *Economic Botany*, 64(3), 217–234. <https://doi.org/10.1007/s12231-010-9128-x>
- Dini, A., Rastrelli, L., Saturnino, P., & Schettino, O. (1991). [Minor components in food plants--II. Triterpenoid saponins from *Ullucus tuberosus*]. *Bollettino della Societa italiana di biologia sperimentale*, 67(12), 1059–1065.
- Espín, S., Brito, B., Villacrés, E., Rubio, A., Nieto, C., & Grijalva, J. (2001). Composición química, valor nutricional y usos potenciales de siete especies de raíces y tubérculos andinos. *Acta Científica Ecuatoriana*, 7(1), 49.
- Espín, Susana, Villacrés, E., & Brito, B. (2014). Caracterización Físico-Química, Nutricional y Funcional de Raíces y Tubérculos Andinos. In *Raíces y tubérculos andinos* (pp. 13–23). Recuperado de http://cipotato.org/wp-content/uploads/2014/06/RTAs_Ecuador_04.pdf
- Euromonitor. (2016). New Approaches to Wellness and Global Market Impact. Euromonitor Internacional. Recuperado de <https://www.euromonitor.com/new-approaches-to-wellness-and-global-market-impact/report>

- Flores, T., Alape-Girón, A., Flores-Díaz, M., & Flores, H. E. (2002). Ocatin. A novel tuber storage protein from the Andean tuber crop oca with antibacterial and antifungal activities. *Plant Physiology*, 128(4), 1291–1302. <https://doi.org/10.1104/pp.010541>
- Gandía-Herrero, F., Escribano, J., & García-Carmona, F. (2016). Biological Activities of Plant Pigments Betalains. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 56(6), 937–945. <https://doi.org/10.1080/10408398.2012.740103>
- Giusti, M., Polit, M. F., Ayvaz, H., Tay, D., & Manrique, I. (2014). Characterization and Quantitation of Anthocyanins and Other Phenolics in Native Andean Potatoes. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 62(19), 4408–4416. <https://doi.org/10.1021/jf500655n>
- Gross, R., Koch, F., Malaga, I., de Miranda, A. F., Schoeneberger, H., & Trugo, L. C. (1989). Chemical composition and protein quality of some local Andean food sources. *Food Chemistry*, 34(1), 25–34. [https://doi.org/10.1016/0308-8146\(89\)90030-7](https://doi.org/10.1016/0308-8146(89)90030-7)
- Jung, M. J., Chung, H. Y., Choi, J. H., & Choi, J. S. (2003). Antioxidant Principles from the Needles of Red Pine, *Pinus densiflora*. *Phytotherapy Research*, 17(9), 1064–1068. <https://doi.org/10.1002/ptr.1302>
- Keleman Saxena, A., Cadima Fuentes, X., Gonzales Herbas, R., & Humphries, D. L. (2016). Indigenous Food Systems and Climate Change: Impacts of Climatic Shifts on the Production and Processing of Native and Traditional Crops in the Bolivian Andes. *Frontiers in Public Health*, 4(March), 1–16. <https://doi.org/10.3389/fpubh.2016.00020>
- Kim, H. R., Choi, S. J., Choi, H. D., Park, C. S., & Moon, T. W. (2020). Amylosucrase-modified waxy potato starches recrystallized with amylose: The role of amylopectin chain length in formation of low-digestible fractions. *Food Chemistry*, 318, 126490. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2020.126490>
- King, R. (1988). Mejoramiento de cultivos andinos, papa amarga, olluco, mashua y oca. Programa Interinstitucional de Papa.
- Kraus, A., Annunziata, A., & Vecchio, R. (2017). Sociodemographic Factors Differentiating the Consumer and the Motivations for Functional Food Consump-

- tion. *Journal of the American College of Nutrition*, 36(2), 116–126. <https://doi.org/10.1080/07315724.2016.1228489>
- Leterme, P., Buldgen, A., Estrada, F., & Londoño, A. M. (2006). Mineral content of tropical fruits and unconventional foods of the Andes and the rain forest of Colombia. *Food Chemistry*, 95(4), 644–652. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2005.02.003>
- Manach, C., Milenkovic, D., Van de Wiele, T., Rodriguez-Mateos, A., de Roos, B., Garcia-Conesa, M. T., ... Morand, C. (2017, June 1). Addressing the inter-individual variation in response to consumption of plant food bioactives: Towards a better understanding of their role in healthy aging and cardio-metabolic risk reduction. *Molecular Nutrition and Food Research*, Vol. 61. <https://doi.org/10.1002/mnfr.201600557>
- Márquez Mendoza, H. C. (2019). Composición nutricional y de mucílago de tres variedades de olluco (*Ullucus tuberosus* Loz.) para la obtención de chuño de olluco en el distrito de Santo Tomás - Cusco. Recuperado de http://repositorio.unsaac.edu.pe/bitstream/handle/UNSAAC/3694/253T20190059_TC.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Mejía Lotero, F. M., Salcedo Gil, J. E., Vargas Londoño, S., Serna Jiménez, J. A., Torres Valenzuela, L. S., Mejía Lotero, F. M., ... Torres Valenzuela, L. S. (2018). Capacidad antioxidante y antimicrobiana de tubérculos andinos (*Tropaeolum tuberosum* y *Ullucus tuberosus*). *Revista U.D.C.A Actualidad & Divulgación Científica*, 21(2), 449–456. <https://doi.org/10.31910/rudca.v21.n2.2018.1083>
- Montesano, D., Rocchetti, G., Putnik, P., & Lucini, L. (2018, August 1). Bioactive profile of pumpkin: an overview on terpenoids and their health-promoting properties. *Current Opinion in Food Science*, Vol. 22, pp. 81–87. <https://doi.org/10.1016/j.cofs.2018.02.003>
- Morillo, A. C., Morillo, Y., & Leguizamo, M. F. (2019). Caracterización morfológica y molecular de *Oxalis tuberosa* Mol. en el departamento de Boyacá. *Rev. Colomb. Biotecnol*, 21(1), 18–28. <https://doi.org/10.15446/rev.colomb.biote.v21n1.57356>
- Ng, T. B., Liu, F., Lu, Y., Cheng, C. H. K., & Wang, Z. (2003). Antioxidant activity

- of compounds from the medicinal herb *Aster tataricus*. *Comparative Biochemistry and Physiology - C Toxicology and Pharmacology*, 136(2), 109–115. [https://doi.org/10.1016/S1532-0456\(03\)00170-4](https://doi.org/10.1016/S1532-0456(03)00170-4)
- Pacheco, M. T., Escribano-Bailón, M. T., Moreno, F. J., Villamiel, M., & Dueñas, M. (2019). Determination by HPLC-DAD-ESI/MSⁿ of phenolic compounds in Andean tubers grown in Ecuador. *Journal of Food Composition and Analysis*, 84, 103258. <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2019.103258>
- Pacheco, M. T., Hernández-Hernández, O., Moreno, F. J., & Villamiel, M. (2020). Andean tubers grown in Ecuador: New sources of functional ingredients. *Food Bioscience*, 35, 100601. <https://doi.org/10.1016/j.fbio.2020.100601>
- Padayachee, A., Day, L., Howell, K., & Gidley, M. J. (2017). Complexity and health functionality of plant cell wall fibers from fruits and vegetables. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 57(1), 59–81. <https://doi.org/10.1080/10408398.2013.850652>
- Paliwal, C., Ghosh, T., George, B., Pancha, I., Maurya, R., Chokshi, K., ... Mishra, S. (2016). Microalgal carotenoids: Potential nutraceutical compounds with chemotaxonomic importance. *Algal Research*, 15, 24–31. <https://doi.org/10.1016/j.algal.2016.01.017>
- Peñarrieta, M., Alvarado, A., Ákessonb, B., & Bergenståhl, B. (2005). Total antioxidant capacity in andean food species from Bolivia. *Revista Boliviana de Química*, 22(1), 89–93. Recuperado de http://www.scielo.org.bo/scielo.php?pid=S0250-54602005000100014&script=sci_arttext&tlng=es
- Peñarrieta, M., Salluca, T., Tejada, L., Alvarado, A., & Bergenståhl, B. (2011). Changes in phenolic antioxidants during chuño production (traditional Andean freeze and sun-dried potato). *Journal of Food Composition and Analysis*, 24(4–5), 580–587. <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2010.10.006>
- Puhakka, R., Valve, R., & Sinkkonen, A. (2018). Older consumers' perceptions of functional foods and non-edible health-enhancing innovations. *International Journal of Consumer Studies*, 42(1), 111–119. <https://doi.org/10.1111/ijcs.12400>
- Salas-Valerio, W., Solano-Cornejo, M., Zelada-Bazán, M., & Vidaurre-Ruiz, J. (2019).

- Three-dimensional modeling of heat transfer during freezing of suspended and in-contact-with-a-surface yellow potatoes and ullucus. *Journal of Food Process Engineering*, 42(6), 1–10. <https://doi.org/10.1111/jfpe.13174>
- Sellappan, S., Akoh, C. C., & Krewer, G. (2002). Phenolic compounds and antioxidant capacity of Georgia-grown blueberries and blackberries. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 50(8), 2432–2438. <https://doi.org/10.1021/jf011097r>
- Sreeramulu, D., & Raghunath, M. (2010). Antioxidant activity and phenolic content of roots, tubers and vegetables commonly consumed in India. *Food Research International*, 43(4), 1017–1020. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2010.01.009>
- Svenson, J., Smallfield, B. M., Joyce, N. I., Sansom, C. E., & Perry, N. B. (2008). Betalains in red and yellow varieties of the andean tuber crop ulluco (*Ullucus tuberosus*). *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 56(17), 7730–7737. <https://doi.org/10.1021/jf8012053>
- Tapia, M. (1990). Cultivos andinos subexplotados y su aporte a la alimentación. FAO.
- Valcárcel-Yamani, B., Rondán-Sanabria, G. G., & Finardi-Filho, F. (2013). The physical, chemical and functional characterization of starches from andean tubers: Oca (*Oxalis tuberosa* molina), olluco (*Ullucus tuberosus* caldas) and mashua (*Tropaeolum tuberosum* ruiz & pavón). *Brazilian Journal of Pharmaceutical Sciences*, 49(3), 453–464. <https://doi.org/10.1590/S1984-82502013000300007>
- Vera, N. G., Espino Manzano, S. O., & Hernandez, H. M. H. (2018). Use of *Oxalis tuberosa* in Gluten-free Baked Goods Manufacture. In *Alternative and Replacement Foods* (Vol. 17). <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-811446-9.00006-X>
- Werge, R. W. (1979). Potato processing in the central highlands of peru. *Ecology of Food and Nutrition*, 7(4), 229–234. <https://doi.org/10.1080/03670244.1979.9990534>
- Zhu, F., & Cui, R. (2019). Comparison of molecular structure of oca (*Oxalis tube-*

rosa), potato, and maize starches. *Food Chemistry*, 296, 116–122. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2019.05.192>