

UNIVERSIDAD MAYOR DE SAN ANDRÉS
FACULTAD DE CIENCIAS PURAS Y NATURALES
CARRERA DE CIENCIAS QUÍMICAS



TRABAJO PARA OPTAR AL GRADO DE MAGISTER EN CIENCIAS QUÍMICAS

**EFECTO DE LA RADIACIÓN SOLAR Y LA
DESHIDRATACIÓN EN LAS PROPIEDADES
FISICOQUÍMICAS Y NUTRICIONALES DE LA OCA
(*OXALIS TUBEROSA*)**

POR: Lic. GROVER CASTAÑETA CONDORI

TUTOR: Ph.D. J. MAURICIO PEÑARRIETA LORIA

LA PAZ – BOLIVIA

Junio – 2023

UNIVERSIDAD MAYOR DE SAN ANDRÉS
FACULTAD DE CIENCIAS PURAS Y NATURALES
CARRERA DE CIENCIAS QUÍMICAS



TRABAJO PARA OPTAR AL GRADO DE MAGISTER EN CIENCIAS QUÍMICAS

**EFFECTO DE LA RADIACIÓN SOLAR Y LA
DESHIDRATACIÓN EN LAS PROPIEDADES
FISICOQUÍMICAS Y NUTRICIONALES DE LA OCA
(*OXALIS TUBEROSA*)**

POR: Lic. GROVER CASTAÑETA CONDORI

TUTOR: PhD. J. MAURICIO PEÑARRIETA LORIA

TRIBUNALES: PhD. PATRICIA A. MOLLINEDO

PhD. RIGOBERTO CHOQUE

LA PAZ – BOLIVIA

Junio – 2023

DEDICATORIA

A la memoria de mi madrina Victoria Castañeta, que con sus consejos fortaleció mi espíritu para que pueda cumplir mis metas.

A mi mamá (Elsa Condori) y papá (Eulogio Castañeta), por su esfuerzo y cariño desmesurado y ser los pilares fundamentales para este logro.

AGRADECIMIENTOS

A Dios, por brindarme las fuerzas necesarias para poder superar las adversidades y brindar bendición a mi familia.

A la agencia de cooperación sueca para el desarrollo (SIDA) y a la agencia del gobierno suizo para la cooperación al desarrollo (COSUDE), por el soporte económico.

A mis abuelitos, María Aruquipa y Felix Castañeta por brindarme su conocimiento y colaborara de gran manera en la producción de las muestras de oca como también en el proceso de transformación de khaya.

Al Dr. J. Mauricio Peñarrieta por permitirme ser parte del área de alimentos, por depositar su confianza en mi persona y así poder realizar ciencia e investigación en alimentos de origen boliviano.

Al Dr. Cristhian Carrasco del Instituto de Investigación y Desarrollo de Procesos Químicos (IIDEPROQ) y a su grupo de investigación en especial a Roció García y Diego Miranda por incluirme y permitirme ser parte de su equipo de investigación.

A la Dra. Patricia Mollinedo y al Dr. Rigoberto Choque por tomarse el tiempo para la revisión exhaustiva y otorgar recomendaciones para la mejora del presente trabajo.

Al Ing. Fabricio Ávila y al Dr. Marcos Andrade, del Laboratorio de Física de la Atmosfera-IIF, por proporcionar los datos de radiación solar.

A mi hermano Ruddy Castañeta quien siempre me apoya en las buenas y malas y mostrándome su apoyo incondicional.

A Daniela Miranda, Boris M. Mamani, Abel Gutiérrez, Franklin Mita, Adelayda Chura, Alejandro Álvarez, Erik Clavijo, Aleyda Huayhua, Ktlyn Aguirre, Nancy Chávez, Leonor Nina, Nohemí Quiroz, Shirley Tarqui, Raysa Ramirez, Rosario Quispe, Fabiola Valdivieso, Gilberto Chui; personas extraordinarias que me acompañaron en los buenos y malos momentos, demostrando su lealtad y apoyo incondicional, de todo corazón decirles MUCHAS GRACIAS...

A todas las personas que conforman la Carrera de Ciencias Químicas.

TABLA DE CONTENIDO

RESUMEN.....	10
ABSTRACT	2
CAPÍTULO I.....	3
1. MARCO INTRODUCTORIO	3
1.1. Introducción.....	3
1.2. Hipótesis	4
1.3 Objetivos.....	4
1.3.1 Objetivo general.....	4
1.3.2. Objetivos específicos.....	4
1.4. Justificación	4
CAPÍTULO II	6
2. MARCO TEÓRICO	6
2.1. Origen y distribución	6
2.2. Descripción botánica	7
2.3. Acciones y descriptores morfológicos de tubérculos de Ocas	7
2.3.1. características descriptivas y morfológicas.....	9
2.4. Producción en Bolivia	10
2.5. Composición química de la Oca.....	11
2.5.1 composición fisicoquímica	11
2.5.2 Minerales	12
2.5.3 Vitaminas	12
2.5.4 Proteínas y aminoácidos	12
2.5.5 Ácidos orgánicos.....	13
2.5.6 Azúcares.....	15
2.5.7 Compuestos fenólicos.....	16
2.7. Endulzamiento de la Oca.....	17
CAPÍTULO III.....	19
3. METODOLOGÍA	19
3.1. Reactivos	19
3.2. Obtención de muestras.....	19
3.3. Asoleo de muestras y radiación solar	21

3.4 Deshidratación de Oca.....	21
3.5. Determinación de humedad	23
3.6 Determinación de pH.....	23
3.7 Determinación de sólidos solubles.....	23
3.8. Determinación de amilosa/amilopectina	23
3.9 Determinación del color	24
3.10 Tratamiento previo de las muestras	24
3.11 Determinación de azúcares	25
3.12 Determinación de oxalatos	25
3.13 Determinación de compuestos fenólicos.....	26
3.14 Extracción de compuestos fenólicos para la determinación de capacidad antioxidante	26
3.15 Determinación de la capacidad antioxidante por FRAP	27
3.16 Determinación de la capacidad antioxidante por ABTS	27
3.17 Determinación de fenoles totales.....	28
3.18 Determinación de flavonoides totales.....	28
3.19 Análisis estadístico	29
CAPÍTULO IV.....	30
4. RESULTADOS.....	30
4.1 Sólidos solubles de muestras comerciales.....	30
4.2. Caracterización morfológica.....	32
4.3 Propiedades fisicoquímicas	33
4.4 Actividad antioxidante total (TAC) y concentración de fenoles y flavonoides totales.....	37
4.5 Concentración de azúcares	38
4.6 Concentración de ácidos orgánicos	40
CAPÍTULO V	44
5. DISCUSIONES.....	44
5.1. Cambio en las propiedades fisicoquímicas.....	44
5.2. Cambio en las capacidad antioxidante y concentración de polifenoles.....	46
5.3. Aumento en la concentración de azúcares.....	47
5.4. Cambio en la concentración de ácidos orgánicos	48
5.6 Análisis estadístico	52

CAPITULO VI.....	55
6. CONCLUSIONES	55
CAPÍTULO VII	57
7. RECOMENDACIONES	57
REFERENCIAS	58
ANEXOS.....	66

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Planta de <i>O. tuberosa</i> en desarrollo.	7
Figura 2. Formas de tubérculos 1) Ovoide, 2) Claviforme, 3) Alargado y 4) cilíndrico.	9
Figura 3. Distribución del color secundario en la superficie de la Oca. 1) ausente, 2) brotes (ojos), 3) alrededor de brotes, 4) sobre tuberizaciones, 5) brotes irregularmente distribuidos, 6) irregularmente distribuido y 7) veteaduras y sobre tuberizaciones.	9
Figura 4. . Distribución del color secundario en la pulpa de la Oca a) ausente, b) corteza, c) anillo vascular, d) médula, e) anillo vascular y corteza, f) médula y corteza.	10
Figura 5. Producción de Oca en Bolivia en la última década.	11
Figura 6. Principales agliconas presentes en Oca detectados por HPLC.	17
Figura 7. Proceso de endulzado a) Oca fresca, b) Ocas asoleadas \approx 10 días c) Ocas asoleadas en exceso.	18
Figura 8. Esquema del tratamiento de la Oca en la comunidad Apuvillque.	20
Figura 9. Valores de radiación solar promedio en el periodo que se asoleo las muestras de Oca.	21
Figura 10. Muestras del presente estudio.	22
Figura 11. Sólidos solubles en muestras de Oca fresca y su variación tras exposición solar.	33
Figura 12. Concentración de azúcares totales en muestras de Oca y khaya.	39
Figura 13. Posible ruta biosintética que atraviesan los azúcares y ácidos orgánicos.	51
Figura 14. Distribución PCA representado por 16 muestras.	52

INDICE DE TABLAS

Tabla 1.	Composición nutritiva por cada 100g.....	12
Tabla 2.	Aminoácidos presentes en la Oca mg/g de proteína	13
Tabla 3.	Oxalatos presentes en la Oca en mg/100 g	14
Tabla 4.	Porcentaje de azúcares presentes en muestras secas de Oca	15
Tabla 5.	Especificación de muestras comerciales.....	30
Tabla 6.	Variación de °Brix tras exposición solar en muestras comerciales de Oca. ...	31
Tabla 7.	Características morfológicas y visuales de las muestras de Oca frescas.	32
Tabla 8.	Variación de color en Oca después de 10 días de exposición solar.....	35
Tabla 9.	Comparación de las propiedades fisicoquímicas de Ocas y khayas	36
Tabla 10.	Variación de la capacidad antioxidante por FRAP y ABTS (eq. Trolox), compuestos fenólicos (eq. Ac. gálico), flavonoides totales (eq. Catequina) en accesiones de Oca y khaya; todos expresados en $\mu\text{mol/g}$	38
Tabla 11.	Variación del contenido de azúcares en las accesiones de Oca y sus derivados. 40	
Tabla 12.	Variación de ácidos orgánicos en las accesiones de Oca y sus derivados. mg/100g de materia seca.....	41
Tabla 13.	Variación de los compuestos fenólicos y antocianinas en las accesiones de Oca y sus derivados expresado en $\mu\text{g/g}$	43
Tabla 14.	Comparación de azúcares de Oca con otros tubérculos.....	48
Tabla 15.	Correlaciones más significativas	53

ACRÓNIMOS

PCA: Análisis de Componentes Principales (Principal Component Analysis)

EP: Elaboración propia

FRAP: Ensayo de poder antioxidante reductor férrico (Ferric Reducing Antioxidant Power Assay)

ABTS: 2,2'-Azino-bis(3-etilbenzotiazolina-6-ácido sulfónico)

TAC: Capacidad antioxidante total

TF: Flavonoides totales

TPH: Fenoles totales

TPTZ: 2,4,6-tris(2-piridil)-s-triazina

TROLOX: Ácido-6-hidroxi-2,5,7,8-tetrametilcroman-2-carboxílico

OB: Oca blanca

OAM: Oca amarilla

ORO: Oca rosada

OOV: Oca overa

°BRIX: Se define como un gramo de sacarosa en 100 gramos de una solución acuosa

Accesión: Una muestra distinta, singularmente identificable de semillas que representa un cultivar, una línea de cría o una población y que se mantiene almacenada para su conservación y uso.

°H_{ab}: Ángulo de matiz

kD: Kilo Daltons

HPLC: Cromatografía líquida de alta eficacia

PC: Componente Principal

RESUMEN

El tubérculo de *O. tuberosa* conocida en la región andina bajo el nombre de “Oca” es un alimento representativo de los Andes de Sudamérica y es el tercer tubérculo más cultivado en Bolivia después de la papa y la yuca. La Oca, es buena fuente de almidón, minerales, vitamina C y compuestos fenólicos. Pero a pesar de ser un alimento con estas características, su producción está disminuyendo, debido a que esta es destinada en su mayoría para el autoconsumo. Una de las características de este alimento, para que sea más aceptable por la población es que debe ser expuesto previamente a la luz solar antes de su consumo, esto con el fin de incrementar el dulzor (aumento de azúcares libres). En el presente trabajo y como parte de un programa de valorización de alimentos bolivianos a partir de sus propiedades químicas se estudió la influencia de la radiación solar y la deshidratación tradicional sobre algunas propiedades fisicoquímicas de la Oca como ser: sólidos solubles, color, humedad, pH, propiedades químicas (polifenoles, y azúcares) y nutricionales (oxalatos solubles y totales) de cuatro accesiones de Oca producidas en Bolivia. Para lo cual se evaluaron 4 accesiones de Oca recién cosechadas, las mismas que fueron asoleadas además de sus derivados deshidratados que son conocidos bajo el nombre de “khayas”. Los resultados indican que, si existen cambios significativos en las propiedades evaluadas, pero también se evidencia que al exponer a la radiación solar estos tubérculos tienden a mejorar sus propiedades nutricionales, ya que las muestras asoleadas aumentan la concentración de polifenoles y azúcares, además de la capacidad antioxidante; paralelamente se reduce la concentración de oxalatos que es algo positivo en el ámbito nutricional, algo similar ocurre en los productos deshidratados ya que reduce la concentración de oxalatos y reduce ligeramente la concentración de polifenoles, tales afirmaciones fueron corroboradas mediante un análisis de componentes principales (PCA).

Palabras clave: Alimento andino, °Brix, Endulzamiento, Khaya, Oxalidácea, Oxalatos, Radiación solar, Asoleo, Tubérculo, Endulzamiento.

ABSTRACT

The tuber of *O. tuberosa* known in the Andean region under the name of "Oca" is a representative food of the Andes of South America and is the third most cultivated tuber in Bolivia after potato and yucca. Oca is a good source of starch, minerals, vitamin C and phenolic compounds. But despite being a food with these characteristics, its production is decreasing, because it is mostly destined for self-consumption. One of the characteristics of this food, in order to be more acceptable to the population, is that it must be previously exposed to sunlight before consumption, in order to increase its sweetness (increase of free sugars). In the present work and as part of a program for the valorization of Bolivian foods based on their chemical properties, the influence of solar radiation and traditional dehydration on some physicochemical properties of Oca such as: soluble solids, color, humidity, pH, chemical properties (polyphenols, and sugars) and nutritional properties (soluble and total oxalates) of four Oca accessions produced in Bolivia was studied. For this purpose, four recently harvested Oca accessions were evaluated, which were sun-dried in addition to their dehydrated derivatives known as "khayas". The results indicate that there are significant changes in the properties evaluated, but it is also evident that when exposed to solar radiation these tubers tend to improve their nutritional properties, since the sun-dried samples increase the concentration of polyphenols and sugars, as well as their antioxidant capacity; At the same time, the concentration of oxalates is reduced, which is something positive in the nutritional area; something similar occurs in the dehydrated products, since the concentration of oxalates is reduced and the concentration of polyphenols is slightly reduced; these statements were corroborated by means of a principal components analysis (PCA).

Key words: Andean food, °Brix, Sweetening, Oxalidaceae, Oxalates, Solar radiation, Sunlight, Tuber.

CAPÍTULO I

1. MARCO INTRODUCTORIO

1.1. Introducción

En la cordillera de los Andes de Sudamérica se originó la domesticación de una gran variedad de tubérculos como la papa, Oca, papalisa e isaño que son muy característicos en la región, de estos alimentos solo la papa se difundió masivamente a nivel mundial, dejando relegado a los demás tubérculos en el seno de las comunidades andinas ya que son muy poco conocidos a nivel internacional. Sin embargo, las comunidades andinas rurales la rescatan y lo siguen produciendo, pero principalmente para el consumo familiar y en pocas cantidades llegan a su comercialización en áreas urbanas.

Oxalis tuberosa es un tubérculo que crece en los Andes de Sudamérica conocido también con el nombre vernacular de Oca, apilla, uncha, cuiba, con una capacidad de crecer a más de 3000 m s.n.m. y que posee diversas variedades debido a la forma de hojas y tallos, pero principalmente por el color de los tubérculos que van desde el blanco, rosados, anaranjados e incluso negros. El tubérculo debe exponerse al sol con días de anticipación a su consumo, debido a que posee un sabor amargo por la presencia de oxalatos solubles (Chuquilin-Goicochea et al., 2021).

También existe un producto derivado de la Oca, similar a la tunta o al chuño (papa deshidratada al sol) obtenida durante el invierno en el altiplano ya que se lo obtiene mediante la congelación por las noches y la deshidratación por el día. Este producto es llamado localmente como caya, cavi o khaya. Como un método de conservación de la Oca, despertó el ingenio de los campesinos que tienen métodos para la conservación de este alimento a través de la liofilización natural y así evitar la pérdida total de este alimento además de conservar la mayoría de sus principales nutrientes por lo cual se debe seguir con el impulso de la transformación en khaya para futuras generaciones.

1.2. Hipótesis

Basado en los antecedentes antes mencionados, se propone las siguientes hipótesis de trabajo:

Al exponer el tubérculo de Oca a la radiación solar o realizar el proceso de deshidratación en la Oca, influye para desencadenar un cambio en sus propiedades fisicoquímicas y/o concentración tales como concentración de azúcares, oxalatos, compuestos fenólicos y sus características organolépticas.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo general

- Analizar el efecto de la radiación solar y deshidratación en las propiedades fisicoquímicas y nutricionales de la Oca (*Oxalis tuberosa*)

1.3.2. Objetivos específicos

- Colectar, Sembrar y Cosechar cuatro accesiones de Oca, colectados de mercados de Bolivia.
- Selección de materia prima optima de trabajo
- Realizar el proceso de deshidratación tradicional de *Oxalis tuberosa* para la obtención de “khaya”.
- Someter los tubérculos a exposición solar.
- Determinar la concentración de azúcares por HPLC antes y después del proceso de exposición solar de la Oca y de sus productos deshidratados.
- Determinar la concentración de oxalatos antes y después del proceso de irradiación solar de la Oca como también de sus productos deshidratados.
- Caracterizar los compuestos fenólicos presentes en Oca mediante HPLC.
- Analizar la variación en la concentración de azúcares, ácido oxálico y compuestos fenólicos antes y después del proceso de asoleado y deshidratación de la Oca.

1.4. Justificación

En el altiplano boliviano se cultivan diversos alimentos análogos a la papa como por ejemplo la Oca que es el segundo tubérculo más cultivado en los valles interandinos. Este

alimento tiene una característica interesante, si se cocinan frescos no poseen un sabor definido e incluso llega a ser poco agradable para muchas personas, pero si expone a radiación solar esta adquiere un sabor dulce más agradable al paladar de las personas. Actualmente no existe ningún estudio que pueda explicar porque ocurre este fenómeno; razón por la cual el presente trabajo pretende dar los primeros indicios que muestren como influye la radiación solar en las propiedades de este alimento. Además, se revalorizará una técnica ancestral para el alargamiento de vida útil de la Oca como es la deshidratación y ver si este mantiene o mejora sus propiedades fisicoquímicas y nutricionales.



CAPÍTULO II

2. MARCO TEÓRICO

2.1. Origen y distribución

Hace aproximadamente 8000 años, en la región andina de América del Sur, más específicamente en Bolivia, fue el centro de domesticación de diversos tubérculos como la papa y la Oca (Purugganan et al., 2009). En el altiplano andino más específicamente durante el período pre-tiwanakota, se presume que la cultura Chiripa dio inicio a la producción de especies endémicas a base de la agricultura a orillas del lago Titicaca mediante “sukakollos” (Morales Garzón, 2007) que es un sistema de trincheras de riego con alta humedad que rodea los cultivos y a la vez proporciona un microclima templado durante las noches frías y que los protege de las heladas en la temporada de invierno (Sanchez de Lozada, 1996).

Tales productos fueron consumidos por varias civilizaciones y generaciones las cuales se encuentran conservados hasta la actualidad, principalmente por las naciones quechua y aymara (Nina Gutiérrez et al., 2018). Antiguamente los alimentos andinos eran consumidos únicamente por comunidades nativas y muy poco o nada conocidos fuera de la región, pero en los últimos años se ha generado el interés a nivel mundial debido a sus bondades, potencial en nutrientes y compuestos activos (Leidi et al., 2018; Peñarrieta et al., 2005).

Se presume que la Oca fue domesticada en la región andina entre los 2500 a 4000 m s.n.m., donde este pudo adaptarse a soportar climas extremos (bajas temperaturas) y tolerar suelos pobres en nutrientes por lo cual se acentuó y distribuyó en la cordillera de los Andes y es cultivada principalmente en las tierras altas de Bolivia, Colombia, Ecuador y Perú y en menor intensidad en Argentina, Colombia, Chile y Venezuela además que se ha intentado introducir en Europa sin éxito porque no se estableció como cultivo permanente, pero si se pudo introducir en México y Nueva Zelanda donde la Oca es conocida como papa roja y ñame respectivamente (Campos et al., 2018; Lim, 2016).

2.2. Descripción botánica

Según: (Lim, 2016; Vera et al., 2018)

Familia: Oxalidaceae

Especie: *Oxalis tuberosa*

Nombres comunes: quechua: oqa, ok'a, uqa;

aymara: apilla; **Perú, Ecuador, Bolivia y Chile:**

Oca, huasisai, ibia; **Colombia:** ruba, tímbo, cuiba,

quiba; **Venezuela:** papa roja, papa colorada.



Figura 1. Planta de *O. tuberosa* en desarrollo.

O. tuberosa es una especie anual, erecta, que crece de 20 a 70 cm, con tallos cilíndricos y suculentos, con ligera pubescencia (presencia de pelos) en el tallo. Las hojas son alternas y trifoliadas similares a las del trébol con peciolo que llegan a medir de 2 a 9 cm de largo; la inflorescencia es muy variable, en todos los casos se produce una sola flor, cada brote posee entre cuatro a cinco inflorescencias cada uno por cinco sépalos verdes puntiagudos, la corola son pétalos amarillos con cinco franjas moradas, diez estambres en dos grupos de cinco (Paniagua-Zambrana et al., 2020; Tapia et al., 2007).

Mientras que los tubérculos de Oca se caracterizan por su amplia variedad de accesiones y se distingue por las características morfológicas de sus tubérculos que presentan formas ovoides, cilíndricas y claviformes, además que poseen una pigmentación variable en su superficie e interior presentando colores como blanco, crema, amarillo, naranja, rosa, morado e incluso negro, sin embargo en su mayoría presentan mezclas entre estos colores ya que se estima más de 1000 accesiones (Campos et al., 2018; Chuquilin-Goicochea et al., 2021; Pissard et al., 2008).

2.3. Accesiones y descriptores morfológicos de tubérculos de Ocas

Aunque pocos cultivos muestran poseer fenotipos domesticados que son directamente opuestos, estos cultivos pueden ser la clave para comprender los procesos de domesticación debido a las presiones selectivas en su ecosistema agrícola. Dos ejemplos

relativamente bien conocidos son la yuca (*Manihot esculenta* Crantz), que tiene variedades altas y bajas en cianuro; otro ejemplo común son las papas (*Solanum tuberosum* L.) que posee variedades con bajos niveles de glicoalcaloides y existen otras especies como la “papa amarga o luki” con niveles elevados de glicoalcaloides. Por lo cual se piensa que los tubérculos de *Oxalis tuberosa* “Oca”, podría representar un tercer ejemplo de un sistema de cultivo de este tipo, con cultivos de alta y baja concentración de oxalatos (Bradbury et al., 2011).

En Bolivia se estima que se tienen registrados más de 101 variedades de Oca que están dispersas en diferentes departamentos como: La Paz, Cochabamba, Potosí, Oruro, Chuquisaca y Tarija, algunas de estas se encuentran en el Banco Nacional de Germoplasma de Tubérculos y Raíces Andinas de Bolivia (Ugarte et al., 2004).

Una de las formas de clasificar a los tubérculos de Oca es según su apariencia, según (Tapia et al., 2007) se reconocen tres formas básicas en los tubérculos y colores de Oca: alba, flava y roseo violáceas a negras.

- ✓ Albas: son las Ocas blancas (carecen de colores intensos).
- ✓ Flavas: hace referencia a Ocas amarillas, con posibles pigmentos o flavonas de color amarillo intenso y las Ocas anaranjadas, con pigmentos de carotenos.
- ✓ Roseo violáceas: son características por su pigmento oscuro intenso dado por las antocianinas con colores que van de un rosa claro a un violeta muy oscuro e incluso de color negro.

Las y los productores en regiones aymaras no solo diferencian sus variedades por la coloración del tubérculo sino que también pueden distinguir entre variedades dulces (conocidas como q’eni), semidulces y amargas (conocidas como luk’i) esta última debido a que poseen mayor concentración de ácido oxálico (Bradbury et al., 2011). Los agricultores quechuas los clasifican en dos categorías variedades dulces que se cocinan frescos previamente endulzados por asoleo, la segunda categoría dada por variedades amargas que son exclusivos para la transformación en khaya (producto deshidratado que se puede almacenar por varios años) (Emshwiller et al., 2009).

2.3.1. Características descriptivas y morfológicas

Según Ipgr/Cip, 2001 el registro de los datos de colores de planta y sobre todo los tubérculos son complejos y difíciles de identificar por la variación existente en la mayoría de ellos, estos se pueden apreciar en las figuras 2, 3 y 4. Se ha tratado entonces de simplificar la variación de cada color e indicar los más representativos, los mismos que deberán ser registrados utilizando según la tabla de colores de la Real Sociedad de Horticultura (RHS Colour Chart).

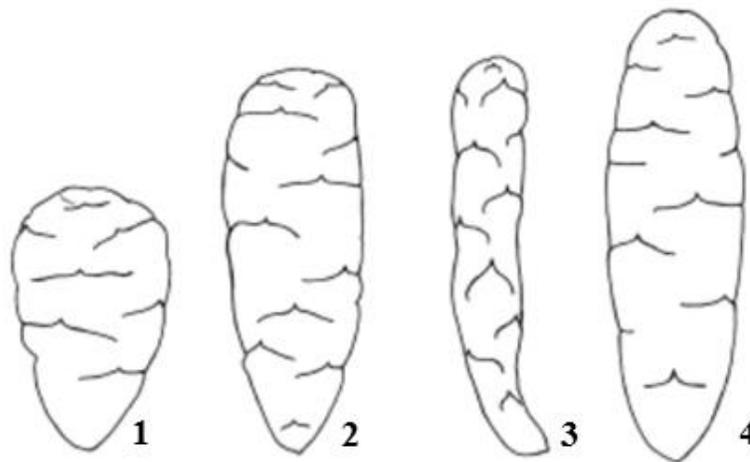


Figura 2. Formas de tubérculos 1) Ovoide, 2) Claviforme, 3) Alargado y 4) Cilíndrico. Fuente: (Ipgr/Cip, 2001)

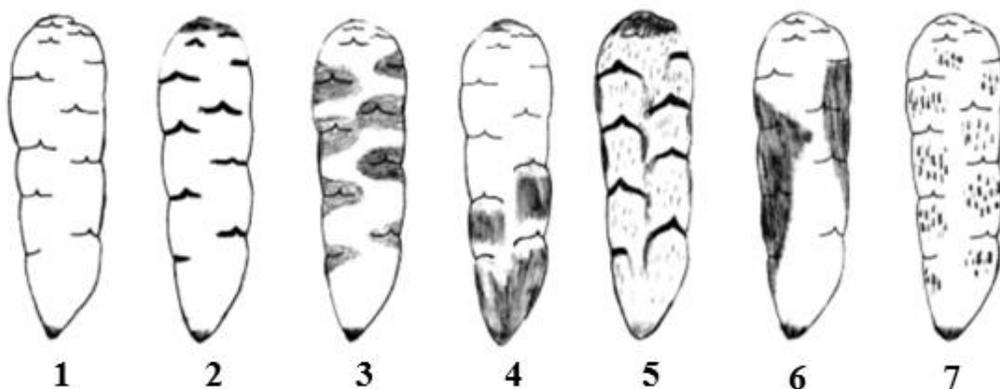


Figura 3. Distribución del color secundario en la superficie de la Oca. 1) ausente, 2) brotes (ojos), 3) alrededor de brotes, 4) sobre tuberizaciones, 5) brotes irregularmente distribuidos, 6) irregularmente distribuido y 7) veteaduras y sobre tuberizaciones. Fuente: (Ipgr/Cip, 2001)

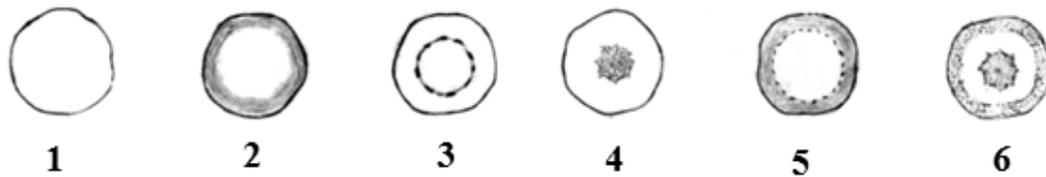


Figura 4. . Distribución del color secundario en la pulpa de la Oca a) ausente, b) corteza, c) anillo vascular, d) médula, e) anillo vascular y corteza, f) médula y corteza. Fuente: (Ipgri/Cip, 2001)

2.4. Producción en Bolivia

Según el Instituto Nacional de Estadística (INE) en la última década, Bolivia se caracterizó por producir arriba de las 22,500 TM/año, mientras que en el último periodo agrícola (2020-2021) se produjo 23,751 TM de Oca, siendo La Paz, Potosí, Cochabamba y Chuquisaca como los departamentos con mayor producción (INE, 2022), como se puede ver en la Figura 5. Si bien este alimento tiene diversas propiedades nutricionales y funcionales como se mencionó anteriormente, estas cifras puede disminuir ya que al transcurrir los años no existe un incremento considerable en la producción y esta incluso puede verse disminuida por factores tales como, la migración del campo a la ciudad, lo poco rentable de la producción, amenazas de insectos y plagas, factores ambientales, entre otros (Condori et al., 2003).

Para la obtención de la Oca desde el sembrado hasta la cosecha este periodo dura entre seis a ocho meses dependiendo del ecosistema y el clima. El sembrado se lo realiza de manera similar al de la papa, pero los tubérculos de Oca tienden a ser más frágiles, por lo que se debe tener cuidado al momento de la cosecha. Si bien muchos productores no usan agroquímicos o abono para la producción de Oca, es común que se realice la rotación de suelos donde anteriormente se cultivó papa (Tapia et al., 2007), pero según investigaciones la Oca puede tener mejores rendimientos si se les ayuda con la fertilización con Nitrógeno, Fosforo y Potasio principalmente en suelos insuficientes de estos nutrientes (Valdivia et al., 1999).

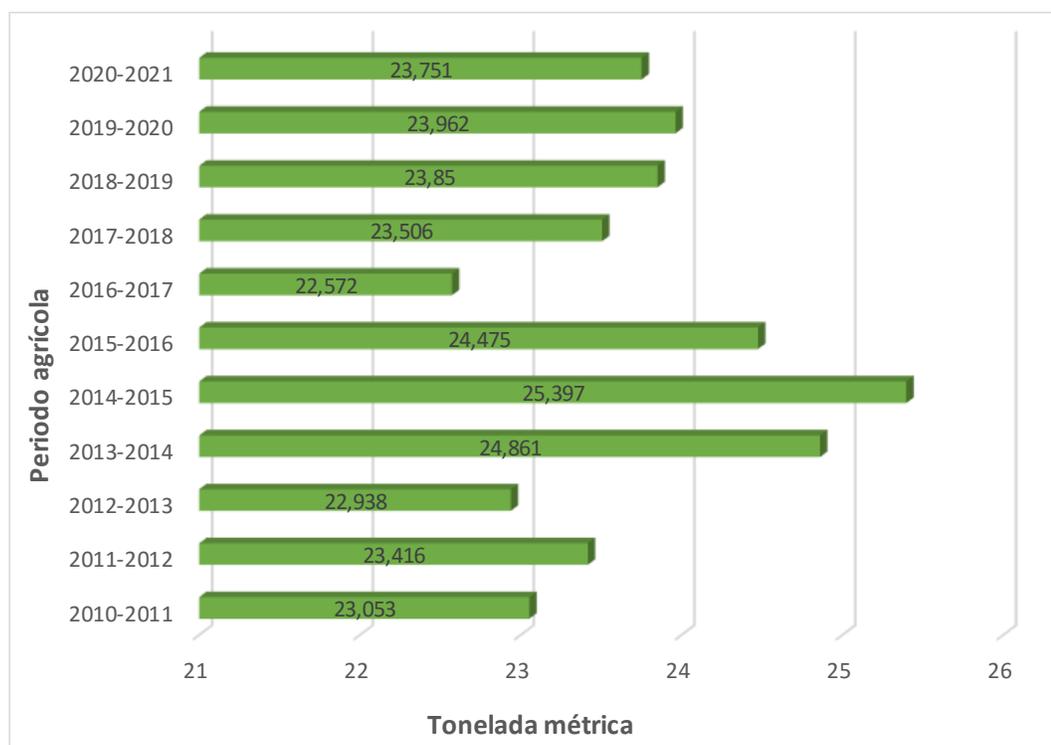


Figura 5. Producción de Oca en Bolivia en la última década. Fuente: INE,2022.

Como se observa en la figura 8, después de la cosecha es importante la clasificación de tubérculos sanos para la selección de semillas, tubérculos para consumo y los tubérculos de mejor presencia para comercialización además de destinar aquellos que están atacados por plagas o manchas (producto del ataque de insectos), a la transformación de khaya o para la alimentación animal (Tapia et al., 2007). La vida útil de la Oca depende de varios factores como un buen almacenamiento, su vida útil incrementa cuando se encuentra a bajas temperaturas, retrasando así la pérdida de peso fresco, color y evitando la brotación y cambios bruscos en la composición química, se recomienda almacenar la Oca a menos de 21°C ya que a más de esta temperatura se comprobó que sufre de cambios significativos en las propiedades del tubérculo (Kays et al., 1979).

2.5. Composición química de la Oca

2.5.1 composición fisicoquímica

Realizada la consulta y revisión de diversas investigaciones, se elaboró la tabla 1, donde se presenta un resumen de diversos estudios que reportan las propiedades fisicoquímicas de la Oca, donde sus valores presentan variabilidad debido a la gran diversidad de

accesiones que posee este tubérculo como también al lugar geográfico donde se realizó cada estudio. Mientras tanto, para la khaya la información es escasa y no cuenta con un respaldo amplio de referencias bibliográficas.

Tabla 1. Composición nutritiva por cada 100g

Propiedades	Oca fresca	Khaya
Energía (Kcal)	83.0 – 92.0 ^{a,b,c}	329 ^a
Humedad (%)	81.9 - 86.8 ^{a,d,e}	15.3 ^a
Proteínas (%)	0.8 – 2.1 ^{a,b,c,d,e}	4.3 ^a
Carbohidratos (%)	10.4 – 22.6 ^{a,b,d,e}	75.4 ^a
Grasa (%)	0.09 – 0.6 ^{a,b,e}	1.1 ^a
Cenizas (%)	0.75 – 3.9 ^{a,b,c,d,e}	3.9 ^a
Fibra(%)	0.8 – 2.6 ^{a,b,c,d,e}	3.4 ^a
pH	4.5 – 6.9 ^f	-

^a(Tapia et al., 2007), ^b(Jiménez et al., 2014), ^c(Vera et al., 2018), ^d(León Marroué et al., 2011), ^e(Ore Areche et al., 2020), ^f(Bradbury et al., 2011). Fuente: EP.

2.5.2 Minerales

Los tubérculos de Oca son ricos en oligoelementos como Calcio, Fosforo, Hierro y Zinc ya que por cada 100 g contienen 12.5 - 22.0 mg de Calcio, 1.6 mg de Hierro, 1.8 mg de Zinc y 28.2 mg de Fosforo (Kays et al., 1979; León Marroué et al., 2011; Tapia et al., 2007), además de tener concentraciones a nivel traza de Manganeso, Boro, Cobre, Sodio, Aluminio, Silicio, Cobalto, Cromo, Níquel, Cadmio y Estroncio (Kays et al., 1979).

2.5.3 Vitaminas

La Oca también es fuente de diversas vitaminas, previamente se reportan que cada 100 g de Oca contiene 1.0 mg de vitamina A (equivalente) (Tapia et al., 2007), 38.4 mg vitamina C (Yenque Dedios et al., 2008); también se evidencio que la pulpa de la Oca contiene 35.4 mg y en la cascara 22.9 mg de vitamina C (Jiménez et al., 2014). Según León Marroué (León Marroué et al., 2011) la composición vitamínica por cada 100 g de Oca se tiene 0.99 mg vitamina A (UI), 0.05 mg de vitamina B1, 0.94 mg de vitamina B2, 1.09 mg de vitamina B3, 0.91 mg de vitamina B12 y 39.68 mg de vitamina C.

2.5.4 Proteínas y aminoácidos

Mediante electroforesis se identificaron diversas proteínas en la Oca que poseían puntos isoeléctricos a pH entre 4.7 – 4.9 con un tamaño molecular entre 17 – 18 kD estas proteínas son ricas en ácido aspártico y ácido glutámico, pero estas no fueron caracterizadas

(Stegemann et al., 1988). El único estudio relacionado con el aislamiento y caracterización de proteínas de la Oca fue realizado en 2002 por el equipo de Flores, donde la proteína aislada se la denominó como “Ocatina” que representa entre 40-60% de las proteínas solubles de la Oca con un tamaño molecular de 18 kD, con un punto isoeléctrico a pH = 4.8, y se observó que inhibe el crecimiento de bacterias fitopatógenas y hongos. La función de la Ocatina fue reportada principalmente como proteína de almacenamiento (Flores et al., 2002).

En la tabla 2 se reporta la constitución de aminoácidos de la Oca, donde se destaca principalmente la presencia de la mezcla de fenilalanina y tirosina, seguido de los aminoácidos esenciales como leucina, lisina, valina e isoleucina.

Tabla 2. Aminoácidos presentes en la Oca mg/g de proteína

Aminoácidos	mg/g de proteína (King et al., 1987)	g/16 g N (Gross et al., 1989)
Lisina	57-59	4.1
Treonina	45-47	3.1
Valina	26-48	4.0
Isoleucina	36-46	2.6
Leucina	53-60	3.7
Metionina	-	1.1
Triptófano	5.5-8	1.0
Fenilalanina	-	3.2
Tirosina	-	2.2
Fenilalanina + tirosina	68-57	5.4
Metionina + cisteína	25-34	2.2
Cisteína/cisteína	-	1.0

Fuente: EP.

2.5.5 Ácidos orgánicos

Estudios previos muestran la presencia de ácidos orgánicos producidos por la Oca tales como el ácido ascórbico, málico, tartárico, succínico, glutárico y ácido oxálico, donde este último es el más estudiado debido a su efecto sobre la salud (Bradbury et al., 2011). La cuantificación del ácido ascórbico reveló que posee una concentración de 187.19 mg/100g (Vera et al., 2018) mientras que el ácido oxálico se divide en oxalatos solubles y totales, los cuales poseen valores fluctuantes, como se muestra en la tabla 3, debido al amplio espectro de accesiones y los diversos tratamientos de cocción al cual puede ser sometido; pero se piensa que el ácido oxálico disminuye después del proceso de endulzado (Castañeta et al., 2022).

Los estudios previos de oxalatos encontrados en Oca fueron realizados principalmente por investigadores de Nueva Zelanda pero también se estudiaron algunas accesiones de Bolivia y Argentina (Ross et al., 1999; Sangketkit et al., 2001); En la tabla 3 se presentan los rangos de oxalatos reportados en Oca fresca y seca, así como también la variación que presentan según el tratamiento de cocción, donde el tipo de cocción de este alimento influye en el contenido de oxalatos, ya que hervirlos o al vapor reducen su concentración, mientras que al hornearlos incrementa la concentración de oxalatos, como se puede ver en la tabla 3.

Tabla 3. Oxalatos presentes en la Oca en mg/100 g

Condiciones	Oxalato soluble	Oxalato total	Referencias
Crudo (sin tratamiento de cocción)	802.4 – 1021.1 ^a		(Dubois et al., 2007)
		781.4 – 1230.4 ^a	(Sangketkit et al., 1999)
	1794 – 2710 ^a		(Albihn et al., 2001)
	1057.0 – 1358.1 ^a		(Savage et al., 2008)
		80.0 – 193.7 ^b	(Sangketkit et al., 2001)
	150.5 – 187.9 ^b		(Savage et al., 2008)
	233 – 341 ^b		(Albihn et al., 2001)
	92 – 213 ^b	93 – 222 ^b	(Ross et al., 1999)
Hervido	567.3 – 950.5 ^a		(Dubois et al., 2007)
		748.0 – 1139.3 ^a	(Sangketkit et al., 1999)
	1366 – 3171 ^a		(Albihn et al., 2001)
		76.5 – 202.5 ^b	(Sangketkit et al., 2001)
	169 – 339 ^b		(Albihn et al., 2001)
Horneado	1466.6 – 1282.7 ^a		(Dubois et al., 2007)
		858.5 – 1547.0 ^a	(Sangketkit et al., 1999)
	2434 – 3425 ^a		(Albihn et al., 2001)
		163.9 – 334.5 ^b	(Sangketkit et al., 2001)
	462 – 553 ^b		(Albihn et al., 2001)
Al vapor	1461 – 2279 ^a		(Albihn et al., 2001)
		783.7 – 1271.2 ^a	(Sangketkit et al., 1999)
		87.4 – 116.0 ^b	(Sangketkit et al., 2001)
	235 – 353 ^b		(Albihn et al., 2001)

^aTratamiento en materia seca, ^bTratamiento en materia fresca. Fuente: EP.

Las Ocas que se comercializan en Nueva Zelanda mostro que la concentración promedio de oxalato en la piel es de 7.3 g/kg, es mucho mayor de en comparación con la pulpa exterior e interior, 1.7 y 1.4 g/kg, respectivamente, donde la variedad con mayor concentración de oxalatos en la piel es la denominada rojo-rosado con 10.9 g/kg. (Albihn et al., 2001).

Hasta donde se conoce, los oxalatos no juegan un papel importante en las funciones biológicas del cuerpo humano, por lo cual son considerados anti-nutricionales e incluso tóxicos. Aunque el principal modo de excreción es por la orina, el oxalato puede formar cristales nocivos en los riñones (cálculos renales) y la vejiga, cuando está presente en altas concentraciones o cuando no se metaboliza de forma rápida en el sistema renal. Además, también se cree que reduce la absorción intestinal debido a la formación de sales de oxalato de calcio que podría conducir a una deficiencia de calcio, incluso podría afectar la biodisponibilidad del hierro, magnesio y otros minerales por la formación de sales. Se han detectado intoxicación por oxalatos en humanos entre 2 a 30 g produciendo muerte celular en el sistema nervioso causada por la deficiencia de iones calcio, hierro y magnesio, lo que se manifiesta a través de calambre musculares, tetania, disminución de coagulabilidad de la sangre, colapso cardiovascular entre otros síntomas (Bradbury et al., 2011).

2.5.6 Azúcares

En la tabla 4 se presentan los principales azúcares reportados en la Oca como ser: sacarosa, glucosa y fructosa pero también se reportaron pequeñas concentraciones de oligosacáridos como rafinosa, estaquirosa y α -galactosidos (Gross et al., 1989).

Tabla 4. Porcentaje de azúcares presentes en muestras secas de Oca

Origen de muestras	Estado	Sacarosa (%)	Glucosa (%)	Fructosa (%)	Tiempo de soleo	Referencia
Candelaria Cochabamba, Bolivia*	-	0.56 – 0.87	0.07 – 1.03	0.32 – 1.03	-	(Torres Santa Cruz et al., 2004)*
Cuzco, Perú	-	20.92	3.63	-	-	(Gross et al., 1989)
Viacha, La Paz, Bolivia	Fresco	10.3 – 16.8	2.1 – 4.4	2.1 – 4.5	20 días	(Cornejo Yujra, 2016)
	Asoleado	19.2 – 31.2	6.1 – 10.3	4.8 – 9.3		
Yunguyo, Puno, Perú	Fresco	8.5	2.1	1.74	30 días	(Medina Ochoa, 2021)
	Asoleado	29.2	4.5	5.8		
Quito, Ecuador	Fresco	9 – 14	3 – 8	4 – 8	10 días	(Hermann et al., 2000)
	Asoleado	12 – 20	3 – 6	3 – 7		

* Datos expresados para materia fresca. Fuente: EP.

Hasta la fecha no se tiene datos publicados en revistas indexadas donde se reporten el incremento de azúcares por efecto de la radiación solar, pero existe un par de referencias bibliográficas en formato de tesis de licenciatura (Cornejo Yujra, 2016; Medina Ochoa, 2021) y un resumen de un Congreso (Hermann et al., 2000) donde realizaron el análisis

de azúcares antes y después del asoleo esto mediante la técnica de HPLC con detector de Índice de Refracción, donde se aprecia que los azúcares se incrementan significativamente respecto a su concentración sin asolear (Cornejo Yujra, 2016; Hermann et al., 2000; Medina Ochoa, 2021).

Después de varios días de asoleo se puede ver que la concentración de azúcares se incrementa, pero al parecer cada accesión tiene su propio mecanismo de liberación de azúcares o endulzamiento. Este proceso es desconocido hasta la fecha, pero lo que se sabe es que cada accesión no sigue un patrón definido, ya que ciertas accesiones se endulzan más que otras en un mismo tiempo de exposición al sol.

La sacarosa es uno de los azúcares más conocidos, se trata de un disacárido que carece de poder reductor debido a que no posee carbonos anoméricos. Dentro de los azúcares reductores se tiene a la glucosa se considerado como uno de los azúcares más abundante en los organismos y la fructosa característica por ser el monosacárido más dulce (Clemens et al., 2016).

Como los azúcares son compuestos que tienen la propiedades de refracción con la luz, se puede estimar la concentración de azúcares mediante un refractómetro (equipo que mide el índice de refracción) donde se emplea los grados Brix como unidad, el cual se reporta como equivalente al porcentaje de sacarosa, pero en la actualidad se sabe que existen otros compuestos que influyen en la medida por lo que se los reportan como los sólidos solubles ya que compuestos como la fructosa, vitaminas, minerales, aminoácidos e incluso proteínas pueden influir en la medición (Harrill, 1994).

2.5.7 Compuestos fenólicos

Mediante la técnica de Cromatografía Líquida de Alta Resolución, acoplado a un Espectrómetro de Masas y empleando un detector de matriz de diodos se pudo identificar diversos compuestos fenólicos en los tubérculos de *O. tuberosa* tales como antocianinas Delfidina 3-*O*-glucosido, Malvidina 3-*O*-glucosido, petunidina 3-*O*-glucosido, peonidina 3-*O*-glucosido, malvidina 3,5-*O*-diglucosido, petunidina 3,5-*O*-diglucosidos, peonidina 3,5-*O*-diglucosidos, malvidina 3-*O*- acetilglucosido-5-*O*-glucosido (Alcalde-Eon et al., 2004).

También se reportó la presencia de compuestos no antocianicos como derivados del ácido cafeico, vainílico y cinámico, flavan-3-oles y flavonas, posterior a una hidrolisis se revelo la presencia de los ácidos cafeico, vainílico y cinámico. Dentro de las moléculas identificadas y que tienen azúcares en su estructura, las agliconas más comunes extraídas de la Oca son: catequina, luteolina, apigenina, naringenina (Chirinos et al., 2009), quercetina, kaempferol, malvidina, delfidina y cianidina (Mollinedo et al., 2014) la estructuras de las principales agliconas se observan en la figura 6.

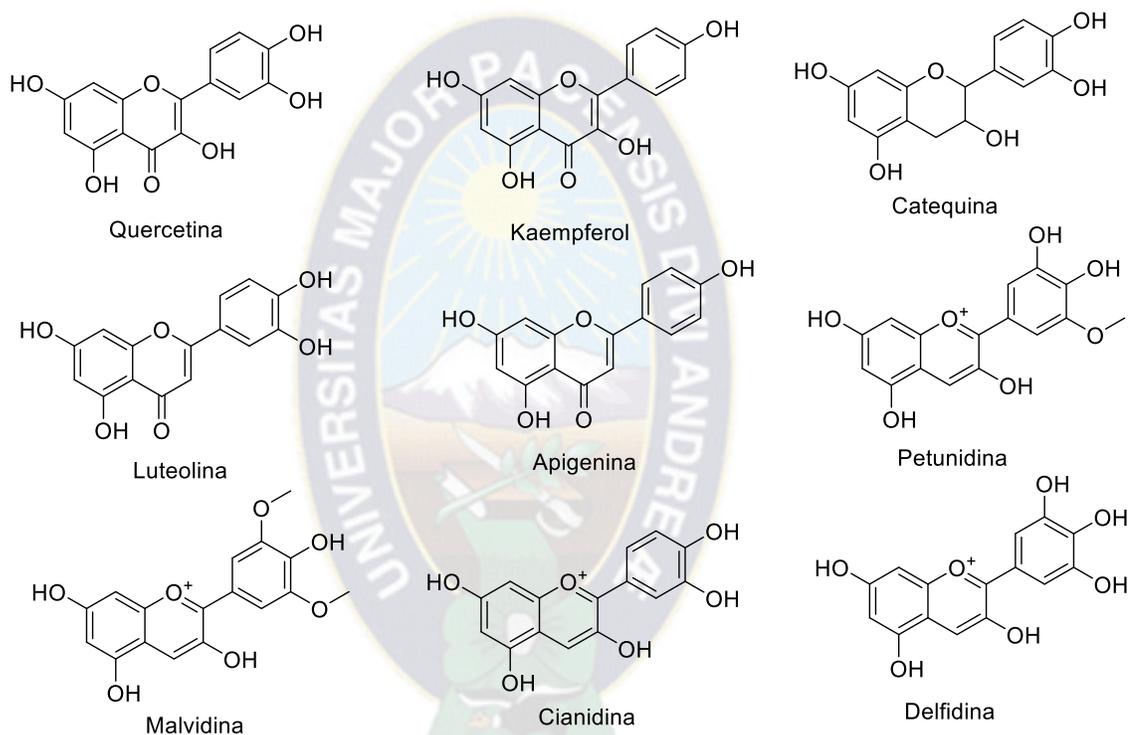


Figura 6. Principales agliconas presentes en Oca detectados por HPLC. Fuente: EP

2.7. Endulzamiento de la Oca

Una de las particularidades de este alimento es que al exponer al sol con días de anticipación a su consumo, se promueve la formación de azúcares libres (dulzor natural o endulzamiento) y de esta manera reducir o enmascarar el sabor amargo que confieren los oxalatos solubles (Castañeta et al., 2022).

Según los productores y vendedores el tiempo aproximado de asoleo para la Oca es de una semana, sin embargo, el tiempo óptimo de exposición al sol para el proceso de endulzado de la Oca todavía es incierto, por lo que el tiempo varía según la región y

familia. Una de las formas tradicionales de endulzar la Oca es dejar el tubérculo extendido en una superficie plana tradicionalmente en el techo o el suelo durante tres o cuatro semanas, pero también se sabe que si se deja mucho tiempo algunas Ocas pueden llegar a secarse y cambiar de apariencia y presentar arrugas en la parte externa de la cascara (principalmente las puntas del tubérculo), se puede ver con una apariencia de cascara dura y oscura, de tal manera que pierde su característica y calidad final (Brito et al., 2003). En la figura 7 se puede observar los cambios durante el proceso de endulzado. Otra forma para evitar el deterioro en el proceso de endulzado, es que a los 12 días de asoleo se puede apreciar el cambio de color en los tubérculos (Brito et al., 2003).



Figura 7. Proceso de endulzado a) Ocas frescas, b) Ocas asoleadas \approx 10 días
c) Ocas asoleadas en exceso. Fuente: EP

CAPÍTULO III

3. METODOLOGÍA

3.1. Reactivos

Para el proceso de extracción se empleó metanol J.T. Baker (México DF, México). Para la determinación de la capacidad antioxidante se emplearon ABTS [2,2'-Amino-bis (3-ethylbenzothiazoline-6-sulfonic acid, 98%)], Persulfato de Potasio 99.0% (Sigma-Aldrich, Japon), Trolox (6-hidroxi-2,5,7,8-tetrametilcroman-2-ácido carboxílico, 97%), TPTZ (2,4,6-tripiridyl-s-triazine) Sigma Aldrich, Dinamarca, Cloruro Férrico (Biopack, Argentina), Ácido acético (glacial p.a.) y Acetato de Sodio de Sigma Aldrich, India, Ácido clorhídrico Sigma-Aldrich (San Luis, EE. UU.). Para la determinación de compuestos fenólicos totales se empleó el reactivo de Folin-Ciocalteu (Sigma-Aldrich, San Luis, USA) Ácido gálico (Sigma life Science, China), Carbonato de Sodio (Biopack, Buenos Aires, Argentina), Acetona (p.a.), metanol (grado HPLC) de Merck (Darmstadt, Alemania). Para la determinación de flavonoides totales se usaron Cloruro de Aluminio hexahidratado (Sigma-Aldrich, Alemania), Nitrito de Sodio (Scharlab S.L., España), Hidróxido de Sodio (Merck KGaA, Darmstadt, Alemania). Para el tratamiento de los almidones se usó Amilosa tipo III y Amilopectina de papa (Sigma-Aldrich, San Louis, USA), Yodo (Merck KGaA, Darmstadt, Alemania) e Yoduro de potasio (Winkler Ltda., Santiago, Chile). Para la determinación de ácidos orgánicos se usó Ácido oxálico, Ácido málico, Ácido succínico de Merck (Darmstadt, Alemania), para la determinación de azúcares se empleó el disacárido D (+) Sacarosa (Scharlab S.L., Spain), y los monosacáridos D (+) Glucosa 99.5% y D (-) Fructosa 99% (Sigma, USA); los patrones de polifenoles son Catequina (99%), Galato de catequina (99%), Kaempferol (99%), Quercetina (99%), fueron obtenidos de Sigma-Aldrich (St. Louis, USA). Cianidina Cl, Delfinidina C y Malvidina Cl se obtuvieron de Extrasynthese (Genay, Francia).

3.2. Obtención de muestras

Las semillas de Oca blanca, amarilla y rosa se recolectaron de los mercados de la ciudad de El Alto, donde llegan Ocas producidas en el altiplano norte del departamento de La

Paz. Mientras que la semilla de Oca overa fue recolectada del mercado de Quillacollo, Cochabamba. Posteriormente, en septiembre de 2021 estas semillas fueron sembradas en la comunidad Apuvillque (provincia Omasuyos) del departamento de La Paz. El sembrado se realizó a una altura aproximada de 4000 m.s.n.m. en las coordenadas 16°08'00.6"S 68°37'47.7"W, de forma tradicional y de manera manual sin emplear agroquímicos o abono adicional. Las parcelas de cultivo tienen los siguientes parámetros: El tubérculo-semilla fue enterrado a una profundidad entre 15-20 cm, con una distancia entre tubérculos de 20-25 cm. Una vez enterrados los tubérculos-semilla se esperó que estos se desarrollen hasta la época de cosecha (abril, 2022) este proceso duró 7.5 meses en condiciones climáticas naturales, finalmente se realizó la cosecha de las muestras (Figura 10), se seleccionaron y se trasladaron de inmediato al laboratorio para su posterior análisis.

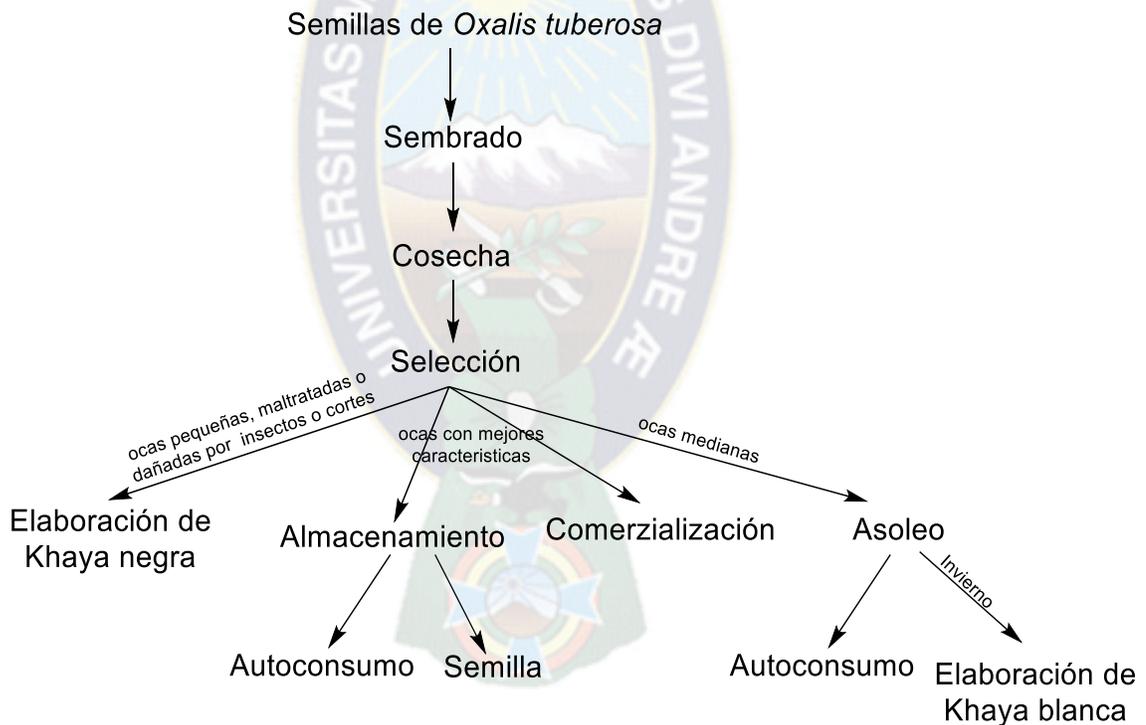


Figura 8. Esquema del tratamiento de la Oca en la comunidad Apuvillque.

Fuente: EP

Para el análisis de sólidos solubles de Ocas comerciales, se recogieron 20 variedades de Oca de los diferentes mercados de las poblaciones semiurbanas y de las ciudades de El Alto y La Paz en Bolivia en el mes de mayo de 2022 (época de cosecha de Oca en el altiplano).

3.3. Asoleo de muestras y radiación solar

Se asolearon las muestras en una superficie plana al nivel del suelo, los parámetros que se tomaron en cuenta fueron que las muestras se expusieron al sol durante 12 días continuos, en un periodo de 5 horas diarias desde 9:00 am a 14:00 pm, debido a que son las horas de mayor exposición al sol. Se tomaron datos de temperatura con un rango de variación entre 16 a 25 °C. Como se muestra en la figura 9, la radiación solar promedio (9:00 am a 14:00 pm) en el periodo de asoleo fue de 595 W/m² donde el mínimo alcanzado fue 433 W/m² y el máximo de 630 W/m². Además, se considera el indice de radiación UV promedio para el periodo mencionado mismo que alcanzó un valor de 4, estos datos fueron proporcionados por el Laboratorio de Física de la Atmósfera (IIF, UMSA) medidos con un equipo meteorológico (Davis Vantage Pro 2, EE. UU.).

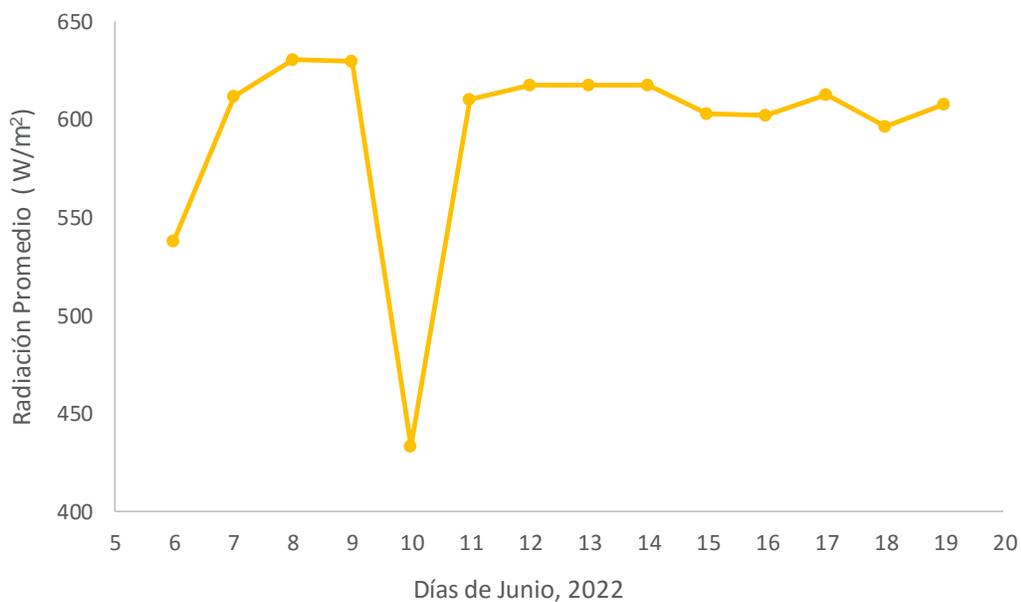


Figura 9. Valores de radiación solar promedio en el periodo de asoleo de las muestras de Oca. Fuente: Laboratorio de Física de la Atmósfera - IIF

3.4 Deshidratación de Oca

3.4.1 Obtención de khaya blanca

La khaya blanca tiene un proceso de elaboración similar a la del chuño (producto deshidratado de la papa) (Peñarrieta et al., 2012). En el presente estudio se empleó el método que realizan los pobladores de la comunidad Apuvillque. Donde la materia prima

(Oca) previamente debe estar asoleada con anticipación (en este estudio se asolearon por 10 días). Los días donde la temperatura llegó a $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$, las Ocas se extendieron al suelo y se dejaron congelar por 4 noches consecutivas, luego de ese periodo se realizó el pisado (para drenar el agua del alimento) y dejarlo secar por 20 días, para posteriormente ser almacenadas.

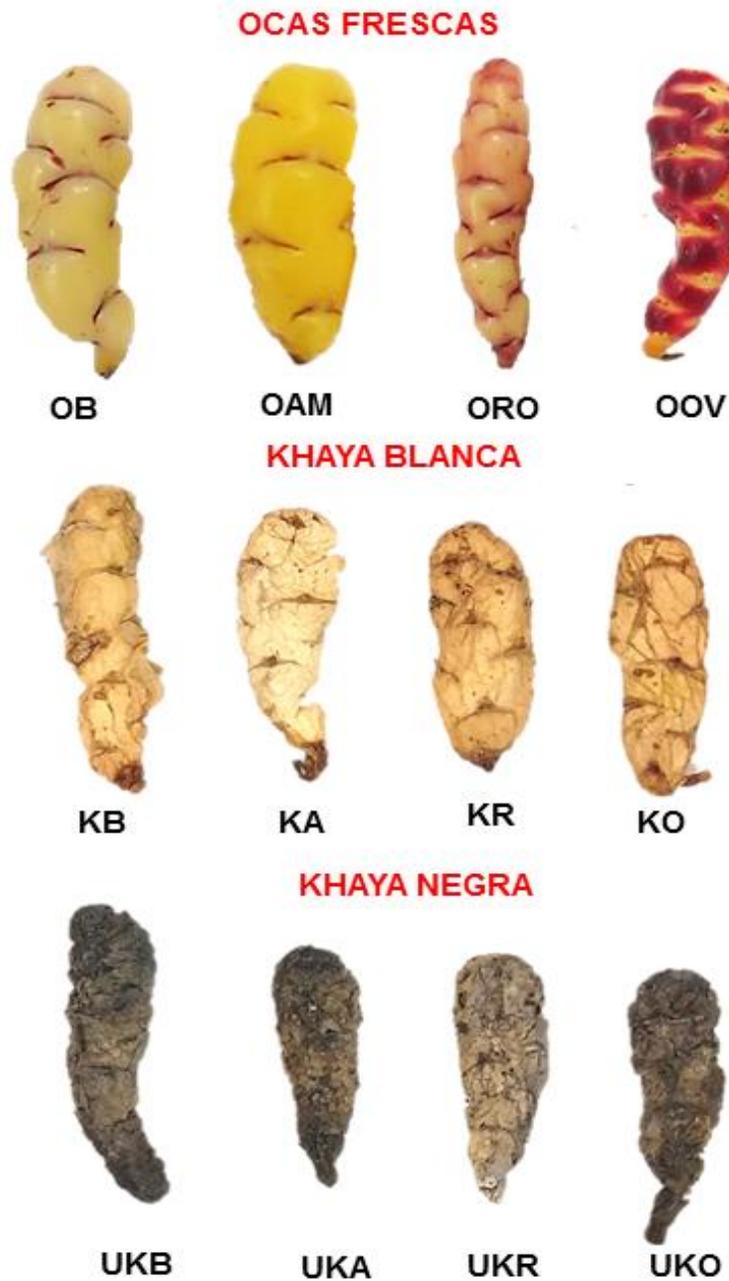


Figura 10. Muestras del presente estudio. Fuente: EP

3.4.2 Obtención de khaya negra

Para el proceso de elaboración de khaya negra también llamado uma khaya, se siguió el procedimiento tradicional de los pobladores de la comunidad Apuvillque; Donde el mismo día de la cosecha de Oca se selecciona una cierta cantidad (sin asolear), se los coloca en sacos de redes y se los acomoda en un pozo donde exista caudal de un río; la Oca permaneció en agua 50 días durante el periodo de invierno (mayo – junio, 2022), transcurrido el tiempo se los extrajo del río, para después ser tendidas al suelo y seguir un proceso similar a la liofilización ya que estos se congelaban por las noches y se secaban durante el día, este proceso duro 20 días, el mismo se asemeja a la elaboración de la tunta (otro producto deshidratado de la papa) (Peñarrieta et al., 2012).

3.5. Determinación de humedad

Para la determinación de humedad se utilizó un analizador de humedad (Radwag, MAC 110/WH, Polonia) empleando 5 g de muestra.

3.6 Determinación de pH

Para la determinación de pH se modificó ligeramente el método recomendado por la AOAC 943.02 (Vieira Araujo et al., 2016). Donde a 10 g de muestra finamente picada se adicionaron 100 mL de agua mili-Q (Millipore, simplicity 185, Brasil) y se mezcló con un agitador durante 30 min a 600 rpm, se dejó reposar durante 10 min, posteriormente se filtró la solución y se procedió a medir el pH (pH-Meter, Jenway 3520, UK).

3.7 Determinación de sólidos solubles.

Se cortó en rodajas las Ocas, entre 1 a 2 g de muestra, posteriormente se trituro con ayuda de un mortero, el agua liberada se analizó con un refractómetro de mano (RF.5532, type 0-32% ATC, Holanda).

3.8. Determinación de amilosa/amilopectina

En primer lugar, se debe extraer el almidón para lo cual las muestras se mezclan en relación 1:10 con sulfito de sodio anhidro 0.005 M y se deja reposar durante 24 h, pasado

el tiempo la mezcla se tamiza en un tamiz de 125 μm (Estándar Tesling Sieve N° 120, USA) posteriormente se seca el almidón a 35°C. El procedimiento descrito por Aristizábal et al., 2007 se modificó ligeramente donde se pesaron, en frascos separados, 10 mg de amilosa, 10 mg amilopectina y 10 mg de muestra, a estos se les añade 100 μL de etanol 95% y 900 μL de NaOH (1N), se deja en reposo entre 18 a 24 h a temperatura ambiente para tener una disolución completa. Pasado el tiempo se debe completar a 10 mL con agua mili-Q. En un tubo se mezcla 50 μL de muestra o patrón, con 10 μL de ácido acético 1 N y 20 μL de solución de yodo al 2 % y completar con 920 μL de agua destilada, mezclar bien y dejar reposar en oscuridad por 20 min y realizar la lectura a 620 nm. Para construir la curva se debe contar con patrones mezcla de soluciones de amilosa: amilopectina, donde 0 % amilosa (0:1,8 mL), 10 % amilosa (0.2:1.6 mL), 20 % amilosa (0.4:1.4 mL), 25 % amilosa (0.5:1.3 mL) y 30 % amilosa (0.6:1.2 mL) a todos los puntos se debe de agregar 0.2 mL de NaOH 0.09N (Huanca Lopez, 2017).

3.9 Determinación del color

A cada muestra se le realizó un corte transversal para determinar el color de su pulpa, también se determinó el color en su piel empleando un colorímetro (Chroma meter, CR-400, Japón). Para determinar el croma (ángulo de matiz) se utilizó la ecuación 1 y para el ángulo de matiz $^{\circ}\text{H}_{ab}$ se empleó la ecuación 2.

$$C = \sqrt{(a^2 + b^2)} \dots (1) \quad ^{\circ}\text{H}_{ab} = \arctan(b/a) \dots (2)$$

3.10 Tratamiento previo de las muestras

Para obtener una muestra representativa, uniforme y reproducible, las Ocas se cortaron en rodajas y fueron secadas convencionalmente se siguió el procedimiento descrito en Hames et al., 2008 donde las muestras se colocaron en bandejas a 35 °C durante 24 h o hasta obtener una humedad residual menor al 5 %, después se trituro y se tamizó las muestras a un tamaño entre 762 a 228 μm con un tamiz (Geotech, SandShaker, Colorado, USA).

3.11 Determinación de azúcares

Para la extracción de azúcares se combinó metodologías previas (Lai et al., 2013; Míguez Bernárdez et al., 2004). Se emplea 2 g de muestra seca y se añade 4 mL de etanol al 80%, luego se sometió a un baño ultrasónico a 60 °C durante 15 min. Luego se añadió a la mezcla 3 mL de etanol al 80% y se volvió a sonicar a 60 °C durante 15 min; después se volvió a añadir otros 3 mL de etanol al 80% y la mezcla se volvió a sonicar a 60 °C por 15 min, posteriormente la solución se centrifugo a 7000 rpm durante 15 min y enseguida se filtró la solución, el mismo procedimiento se lo realizó dos veces. Las mezclas de los sobrenadantes se filtraron en un vial empleando un filtro de celulosa de 0.20 µm. Los azúcares se separaron por cromatografía líquida de alta resolución (HPLC) de la marca Shimadzu Corporation (Kyoto, Japón), El volumen de inyección es de 20 µL que pasa por una columna Aminex HPX-87P (Bio-Rad Laboratories, Inc. CA, EE. UU.) de 300 x 7.8 mm, con de agua mili-Q (Millipore simplicity 180) de eluyente (flujo isocrático) a un caudal de 0,6 mL/min a 80 °C, el equipo también tiene incorporado una unidad de suministro de disolvente LC-20AD, un detector de índice de refracción RID-10A, un horno de columna CTO-10 AS VP, con una unidad de desgasificación DGU-20A₅, un auto-inyector SIL-20A y un controlador de sistema CBM-20A. La cuantificación se realizó empleando una curva de calibración externa que contempla el intervalo de 0,5 a 15 g/L para glucosa, sacarosa y fructosa.

3.12 Determinación de oxalatos

En relación a estudios previos (Kim et al., 2007; Ross et al., 1999; Sangketkit et al., 2001), los oxalatos, malatos, succinatos fueron extraídos mediante homogeneización donde a 2 g de muestra se añadió 20 mL de agua mili-Q y 20 mL de HCl 2 M (para oxalatos totales). Ambos tipos de soluciones se homogenizan y se someten a un baño de agua a 80 °C en una mesa agitadora durante 20 min. Se dejaron enfriar las soluciones y luego se completó el volumen a 25 mL; posteriormente se centrifugó a 10000 rpm durante 15 min, luego se filtró 2 mL de sobrenadante, empleando un filtro de celulosa de 0.20 µm en un vial. Para la determinación de oxalatos se utilizó el mismo equipo con el que se determinó azúcares, empleando para este caso un detector UV (SPD-20A) a una longitud de onda de 210 nm. La separación cromatográfica se llevó a cabo para 20 µL de inyección en una columna de

exclusión de iones Bio-rad Aminex de 300 x 7,8 mm (HPX-87H), mediante elución isocrática a 0,6 mL/min a 65°C con una solución de ácido sulfúrico 5 mM (autoclavada) como fase móvil. La columna analítica se mantuvo a 65 °C. La cuantificación de los ácidos orgánicos se realizó empleando curvas de calibración a concentraciones de 0.01 a 1.0 g/L.

3.13 Determinación de compuestos fenólicos

A 300 mg de muestra seca se le agregó 1 mL de metanol (90%), posteriormente la mezcla se sónico en un baño ultrasónico a temperatura ambiente por 30 min, para después ser centrifugados a 12000 rpm por 2 min, la mezcla se decanta y se filtra empleando un filtro de celulosa de 0.20 µm. Posteriormente, los polifenoles presentes se analizaron por HPLC, previamente se realizó la hidrólisis de glucósidos, donde los extractos se sometieron a reflujo (90°C); donde se mezclaron 250 µL de muestra con 250 µL HCl 3.0 M y 250 µL de metanol durante 60 min. Los compuestos fenólicos fueron separados empleando un sistema de cromatografía líquida Agilent (Serie 1100, USA), que consta de un desgasificador de vacío (G1322A), un módulo de suministro de disolvente (Quat Pump-G1311A), un horno de columna (ColCom-G1316A). La columna de fase inversa con una Agilent Eclipse Plus de 5 µm (150 x 4.6 mm) protegida por una pre-columna de 10 mm. El volumen de inyección fue de 20 µL con un caudal de 0,8 mL/min. La fase móvil fue un sistema solvente binario constituido por A (ácido acético al 1% en agua) y B (metanol) mediante el programa, el gradiente empleado fue 0 min:40% B; 5 min:65% B; 10 min: 90% B; 15 min: 40% hasta los 17 min. Se registró la absorbancia UV del eluato con un detector de matriz de diodos (G1315B) (Agilent, Santa Clara, CA) a 280, 360 y 530 nm. Los compuestos se identificaron por comparación con los estándares de cada compuesto, empleando el tiempo de retención de cada patrón y el perfil del espectro de absorbancia.

3.14 Extracción de compuestos fenólicos para la determinación de capacidad antioxidante

Se pesaron aproximadamente 100 mg de muestra, al que se le agregó 1 mL de metanol al 90%. Las mezclas se sonicaron a 0° C durante 15 min. Posteriormente se centrifugaron a 12000 rpm durante 2 min para decantar el sobrenadante que fue conservado a 4°C. La

extracción para antioxidantes totales se realizó por triplicado para obtener datos representativos.

3.15 Determinación de la capacidad antioxidante por FRAP

La capacidad antioxidante se determinó empleando el método férrico-reductor (FRAP), donde se empleó una solución TPTZ (10 mM) disuelto en HCl (40 mM). La solución de FRAP se preparó en el día del análisis mezclando 25 mL de tampón acetato 0,1 M (pH 3,6), 2,5 mL de TPTZ y 2,5 mL de cloruro férrico (20 mM). Para la curva se preparó una solución madre estándar de Trolox (5 mM), disuelta en etanol al 96%, se diluyó con tampón de acetato a un rango de concentración de 100 a 1000 μ M. Para las mediciones se empleó 30 μ L de patrón o muestra, que se mezclaron con 900 μ L de solución FRAP y 90 μ L de agua. El blanco se preparó mezclando 900 μ L de solución FRAP con 120 μ L de agua. Todas las mezclas se midieron después de 10 min de reposo en un lector multiplaca (Cytation 3, BioTek, Vermont, EE. UU.) a una longitud de onda de 593 nm (Peñarrieta et al., 2008).

3.16 Determinación de la capacidad antioxidante por ABTS

Para oxidar el ABTS incoloro al catión radical $ABTS^+$, azul-verde, se mezclaron 5 mL de solución ABTS (7 mmol/L) con 88 μ L de persulfato de potasio (140 mmol/L) y almacenado a temperatura ambiente en la oscuridad durante una noche. El día del análisis, la solución que contiene el catión radical $ABTS^+$ se diluyó con tampón de acetato hasta una absorbancia de 0,70 ($\pm 0,02$) a 734 nm. La solución madre estándar de Trolox, 5 mmol/L en etanol 96%, se diluyó con tampón de acetato para concentraciones entre 20 – 200 μ M. A 1 mL de solución $ABTS^+$ se agregaron 100 μ L de los diferentes estándares o muestras y se mezcló durante 20 s y luego se dejó reposar durante 5 min. Enseguida se inició la lectura de absorbancia a 734 nm en un Cytation 3 multilector modal, marca BioTek (Vermont, EE. UU.). La concentración está en función al porcentaje de inhibición que se utilizó para el cálculo. Los resultados se expresaron como equivalentes de Trolox, similar al descrito en estudios previos (Peñarrieta et al., 2008).

3.17 Determinación de fenoles totales

Los compuestos fenólicos totales (CFT) se determinaron mediante el Reactivo de Folin-Ciocalteu, que se caracteriza por oxidar los compuestos fenólicos a fenolatos a pH alcalino, por lo que se emplea una solución saturada de carbonato de sodio (7.5%), la reacción da como resultado un complejo azul de molibdeno-tungsteno. Previo al análisis el reactivo de Folin-Ciocalteu se diluyó con agua (1:10 en volumen). Para la construcción de la curva se preparó una solución madre de ácido gálico en metanol al 80% y esta se diluyó con agua mili-Q obteniendo soluciones estándar de concentraciones entre 20 a 100 μM . Cada análisis se realizó por triplicado tomando 50 μL de cada solución estándar o muestra, las mismas que se mezclan con 1 mL de reactivo de Folin-Ciocalteu y 500 μL de solución de carbonato de sodio. Las muestras fueron mezcladas e incubadas a 45°C durante 30 min. Luego se enfrió las muestras a temperatura ambiente y se realizó las lecturas a una absorbancia de 765 nm en un lector de multiplaca (Cytation 3, BioTek, Vermont, USA). Los resultados se expresaron en equivalentes de ácido gálico (GAE) (Peñarrieta et al., 2008).

3.18 Determinación de flavonoides totales

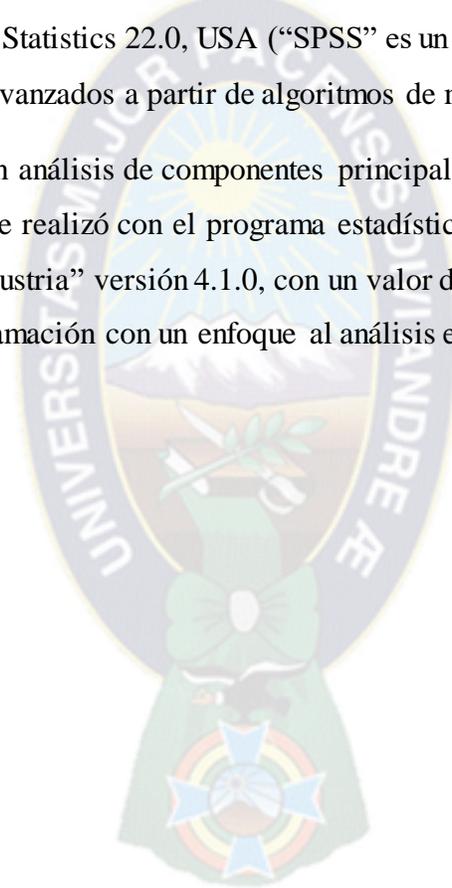
Para la determinación de flavonoides totales (FT) se modificó ligeramente el método descrito por Peñarrieta et al. (2008). El contenido de FT se determinó empleando el reactivo a base de cloruro de aluminio hexahidratado (20%) y nitrito de sodio (10%), dando lugar a la formación de un complejo flavonoide-aluminio de color rosa en medio alcalino. A 150 μL de muestra o patrón se agregan 45 μL de solución de nitrito de sodio y 45 μL de solución de cloruro de aluminio se deja reposar 10 min para la formación del complejo, enseguida se agregan 300 μL de NaOH (1 M) y 400 μL de agua y finalmente se agitó vigorosamente. Las lecturas de absorbancia se realizaron a una longitud de onda de 510 nm en un lector multiplaca (Cytation 3, BioTek, Vermont, USA). Para el blanco se emplea metanol 90% en lugar de la muestra. La absorbancia final de cada muestra se comparó con una curva patrón de 20 a 100 μM a base de catequina. los resultados fueron expresados en μmol de equivalentes de catequina (EC) por gramo de muestra.

Las fórmulas empleadas para el cálculo de azúcares, ácidos orgánicos polifenoles y capacidad antioxidante se encuentran reportados en el Anexo II.

3.19 Análisis estadístico

Para determinar las variaciones en los datos, si existía diferencia significativa, estos se sometieron a un análisis de varianza (ANOVA). Las diferencias entre medias se compararon mediante la prueba Tukey a 5%. Además, se determinó las correlaciones de Pearson entre las variables medidas. Todos estos análisis se realizaron empleando el programa IBM SPSS Statistics 22.0, USA (“SPSS” es un software de fácil uso que ofrece análisis estadísticos avanzados a partir de algoritmos de machine learning).

También se realizó un análisis de componentes principales “PCA”; para revelar patrones de comportamiento se realizó con el programa estadístico, “R Foundation for Statistical Computing, Viena, Austria” versión 4.1.0, con un valor de significancia $p < 0.05$. (“R” es un lenguaje de programación con un enfoque al análisis estadístico avanzado)



CAPÍTULO IV

4. RESULTADOS

Para la primera parte del trabajo se recolectaron 20 muestras de Oca de diversos mercados de La Paz, El Alto y ferias rurales cercanas, como se especifican en la Tabla 5.

4.1 Sólidos solubles de muestras comerciales

Tabla 5. Especificación de muestras comerciales de Oca

Muestra	Mercado	Código
Blanca	V. Fátima	MC-1
Amarillo	16 de Julio	MC-2
	Achacachi	MC-3
	Batallas	MC-4
	Ceja	MC-5
	Miraflores	MC-6
	Rio Seco	MC-7
	Copacabana	MC-8
	V. Armonía	MC-9
	Naranja	Batallas
Rodríguez		MC-11
V. Armonía		MC-12
Rosado	16 de Julio	MC-13
	Achacachi	MC-14
	Batallas	MC-15
	Huarina	MC-16
	Río Seco	MC-17
	V. Armonía	MC-18
Rojo	Ceja	MC-19
	Rodríguez	MC-20

Fuente: EP

Con el propósito de estimar el tiempo de exposición solar óptimo, las muestras de Oca fueron analizadas en función a los °Brix (unidad que mide la concentración de azúcares libres). Se realizó el control de calidad del método mediante la calibración del equipo empleando agua mili-Q (libre de sólidos solubles). Además, el control de calidad de los resultados de las muestras de estudio incluye un análisis de blancos y replicas, los mismos que se presentan en la Tabla 6.

Es importante considerar que estas muestras no eran frescas y que se desconoce el tiempo de almacenamiento o asoleo previo, ya que las Ocas que se comercializan en los mercados y ferias inevitablemente tienen un tiempo de almacenamiento, además de que al exponerlas a la venta presentan cierto grado de exposición al sol.

Tabla 6. Variación de °Brix tras exposición solar en muestras comerciales de Oca.

Código	Día 0	Día 3	Día 6	Día 9	Día 12
MC-1	6.6 ± 0.4	10.3 ± 0.2	11.3 ± 0.7*	12.3 ± 0.3*	11.5 ± 0.4*
MC-2	8.7 ± 0.2	10.6 ± 0.4	14.0 ± 0.1	16.3 ± 0.6	18.3 ± 0.6
MC-3	5.4 ± 0.5	10.0 ± 0.5	11.9 ± 1.3*	11.6 ± 1.0*	12.8 ± 0.2*
MC-4	8.5 ± 0.2	10.2 ± 0.3	11.8 ± 0.2	12.4 ± 0.4	15.2 ± 0.2
MC-5	9.0 ± 0.6	10.7 ± 0.4	12.5 ± 0.3	13.8 ± 0.2*	13.9 ± 0.3*
MC-6	7.0 ± 0.1	12.9 ± 0.3	13.8 ± 0.1	14.8 ± 0.2	16.2 ± 0.1
MC-7	7.9 ± 0.3	9.2 ± 0.3	13.9 ± 0.8*	14.7 ± 0.3*	14.9 ± 0.6*
MC-8	6.7 ± 0.2	10.2 ± 0.2	11.6 ± 0.3	13.6 ± 0.4*	14.0 ± 0.4*
MC-9	6.4 ± 0.4	10.1 ± 0.3	12.9 ± 0.3*	12.9 ± 0.1*	13.3 ± 0.8*
MC-10	7.0 ± 0.2	7.6 ± 0.4	11.2 ± 0.4*	11.5 ± 0.8*	12.8 ± 0.7
MC-11	8.2 ± 0.1	8.5 ± 0.2	11.1 ± 0.8	14.7 ± 0.2*	14.8 ± 0.2*
MC-12	7.6 ± 0.4	11.9 ± 0.7	13.8 ± 0.2*	13.5 ± 0.3*	15.2 ± 0.5
MC-13	7.1 ± 0.2	9.6 ± 0.2	12.0 ± 0.1*	12.5 ± 0.1*	12.5 ± 0.4*
MC-14	10.4 ± 0.5	11.3 ± 0.6	13.1 ± 0.3*	13.5 ± 0.3*	13.7 ± 0.4*
MC-15	9.6 ± 0.4	14.3 ± 0.5*	14.4 ± 1.1*	15.5 ± 0.3*	15.4 ± 0.3*
MC-16	8.3 ± 0.3	14.5 ± 1.6*	13.5 ± 0.1*	13.0 ± 0.4*	12.6 ± 0.4*
MC-17	6.9 ± 0.3	11.7 ± 0.4	12.8 ± 0.2*	12.8 ± 0.3*	15.7 ± 0.5
MC-18	8.8 ± 0.2	13.9 ± 0.3	15.5 ± 0.4*	14.9 ± 0.3*	14.8 ± 0.5*
MC-19	10.7 ± 0.4	12.2 ± 0.6	15.5 ± 0.9*	15.0 ± 0.1*	16.4 ± 1.2*
MC-20	9.5 ± 0.3	9.9 ± 0.3	12.7 ± 0.7	17.0 ± 0.2	19.7 ± 0.7

(*) Indica que ya no existe cambios significativos durante el proceso de adulzamiento respecto al día de asoleo, mediante ANOVA y prueba Tukey ($n=4$). Fuente: EP

Todas las muestras se midieron a 3, 6, 9, 12 días de exposición solar, donde los resultados muestran que los valores iniciales para Ocas de tonalidad amarilla se encuentran entre 5.4-9.0 °Brix, para Ocas de tonalidad naranja entre 7.0-8.2, para Ocas de tonalidad rosada entre 6.9-10.4 y que las accesiones con tonalidad roja poseen mayor concentración de sólidos solubles iniciales. En general se puede ver que, luego del tercer día de asoleo, la mayoría de las muestras tuvo un incremento significativo, pero desde el día 6 para adelante la mayoría de las muestras ya no presentan un aumento significativo en la concentración de sólidos solubles, por lo que el rango óptimo de asoleo para muestras de Ocas comerciales estaría entre 4-7 días dependiendo de las características de la muestra, confirmando los rangos indicados por los productores y consumidores de Oca.

4.2. Caracterización morfológica

El cuerpo del trabajo se lo realizó con 4 accesiones de Oca que se obtuvieron desde la recolección de la semilla, sembrado, cosecha, selección, asoleado y deshidratación de las muestras recién cosechadas las mismas que serán denominadas como “frescas”, cabe resaltar que cada muestra difiere en su color, forma y tamaño, estas fueron clasificadas morfológicamente según (Ipgr/Cip, 2001) tal como se presenta en la tabla 7.

Tabla 7. Características morfológicas y visuales de las muestras de Oca frescas.

Muestra (Código)	Dimensiones (mm) <i>n=15</i>		Característica del color en el tubérculo	
	Largo (media)	Diámetro (media)	Piel	Pulpa
O. Blanca (OB)	66.2 – 138.0 (98.86)	18.5 – 28.7 (24.92)	Blanca amarillenta con brotes ligeramente morados	Amarilla pálida
O. Amarilla (OAM)	68.7 – 87.9 (77.74)	18.5 – 27.1 (22.92)	Amarilla sin brotes	Amarilla
O. Rosada (ORO)	62.5 – 78.0 (66.34)	17.1 – 24.7 (19.72)	Rosada con mayor intensidad en los brotes	Amarilla pálida, rosada intensa en la medula
O. Overa (OOV)	53.9 – 78.4 (65.68)	19.7 – 23.0 (21.74)	Morada con brotes de color amarillo intensos	Amarilla intensa, morada en la medula y corteza

Fuente: EP.

La Oca Blanca (OB) posee una ligera coloración violácea en la parte de los brotes (comúnmente conocido como “ojos”), pero en su mayoría tanto en la piel como la pulpa es de color blanco; la Oca amarilla (OAM) con una distribución unicolor tanto en la superficie de la piel y su pulpa con un color amarillo, ambos poseen forma claviforme; mientras que la Oca rosada (ORO) y la Oca overa (OOV) poseen una forma alargada. ORO con un color primario amarillo pálido y color secundario rosado, mismo que está distribuido irregularmente en la piel, pero con más intensidad en la región de los brotes y la medula; OOV dominado con un color purpura en la piel con ligera coloración amarilla alrededor de los brotes, en la pulpa están presentes los mismos colores observando que su medula y corteza poseen el color purpura; Los colores fueron estimados a simple vista, pero estas muestras también se analizaron por colorimetría cuyos resultados se reportan en la tabla 8.

4.3 Propiedades fisicoquímicas

Para observar los cambios fisicoquímicos de las Ocas, primero se realizó el asoleado de las mismas por un determinado tiempo y luego se midieron los distintos parámetros, de la misma manera para los productos deshidratados como se describe en la tabla 9.

Según información de productores, comerciantes y consumidores de Oca, el tiempo óptimo de exposición al sol (asoleo) está entre 4 a 7 días, tiempo suficiente para que se obtenga el dulzor característico de este alimento. Por lo cual, antes de comenzar los análisis se realizó un ensayo preliminar con las muestras frescas, para tener un parámetro aproximado

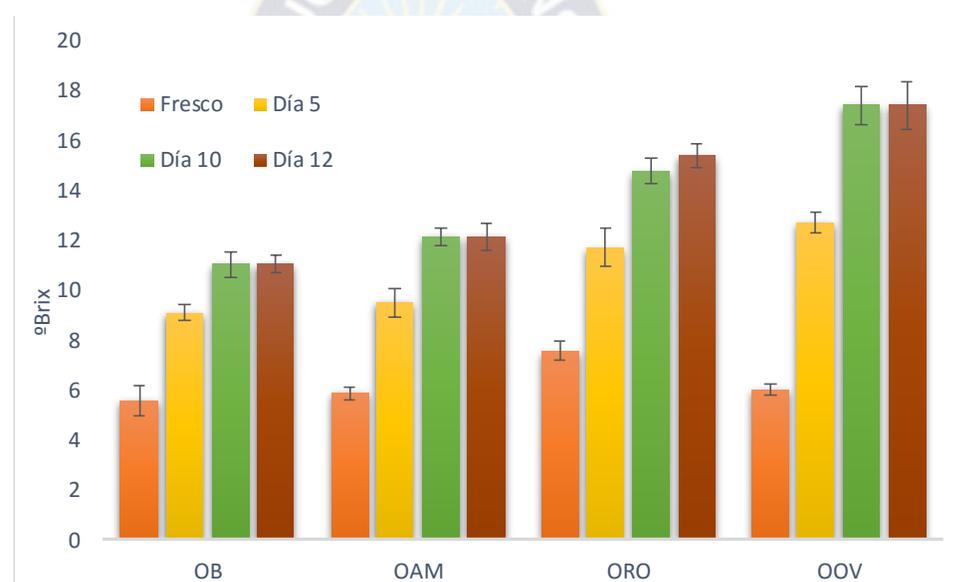


Figura 11. Sólidos solubles en muestras de Oca fresca y su variación tras exposición solar. Fuente: EP.

Empleando un refractómetro se determinó el incremento de la concentración de sólidos solubles después de 5, 10 y 12 días de exposición solar como se puede ver en la figura 11. Los sólidos solubles principalmente están formados por azúcares libres tales como la glucosa, sacarosa, fructosa y algunos ácidos orgánicos (Hermann et al., 2000). Las muestras frescas inicialmente presentaron valores entre 5.4 a 7.6 °Brix, pero tras 5 días de exposición solar la mayoría duplicó su valor inicial; pero a los 10 días de asoleo se alcanzó el valor máximo de sólidos solubles. Comparando los 12 días con los 10 días de exposición no se observa ningún cambio significativo en los valores determinados, por lo que se

recomendaría como dato óptimo 10 días máximo de asoleado ya que si se excede en los días de asoleo puede que el alimento se malogre como se puede ver en la figura 7 C.

Posteriormente se realizaron los análisis de color, humedad, sólidos solubles, pH, amilosa y amilopectina para evidenciar como la deshidratación tradicional y la radiación solar influyen en las propiedades fisicoquímicas (tabla 2 y 3) a partir de las muestras frescas de Oca.

Las 4 accesiones de Oca frescas se sometieron a exposición solar por 10 días (5 horas por día), los resultados se presentan en las tablas 7 y 8. Para la evaluación del color, en las 4 muestras de Oca se midieron el color total de la piel (color externo) y de la pulpa (color interno) tanto de las muestras frescas como de las muestras asoleadas, los resultados obtenidos de esta medición son presentados en la tabla 8.

Se puede observar que las muestras frescas OAM tienen mayor luminosidad (L) tanto en la piel como en la pulpa, en cambio el que presenta menor luminosidad en la piel y pulpa es la muestra OOV. En todos los casos se evidencia que la luminosidad disminuye en las muestras asoleadas. La muestra OAM posee valores de ángulo de matiz casi puros al amarillo (90°); en el caso de la muestra OB por tener una tonalidad cercana a blanco no fue detectado por el colorímetro, pero si se detectó el color rojo con un °Hab de 17.75 cercano al rojo puro (0°) pero este incrementó a 80.81, lo cual indica un cambio brusco en el color de la piel, pasando de color blanco a amarillo tras 10 días de exposición solar, pero paralelamente redujo levemente su °Hab en la pulpa.

Respecto a los valores de humedad, se observó que las muestras frescas OAM y OB son las que presentaron mayor humedad con un 84.0% y 83.1% respectivamente, pero estas tenían menor concentración de sólidos solubles, mientras tanto que las muestras con menor contenido de humedad fueron ORO y OOV con 77.1%, y 81.3 % respectivamente, presentando mayor concentración de sólidos solubles. Después de asolear las muestras frescas se pudo evidenciar que la humedad disminuye significativamente en la muestra OOV mientras que en las muestras OB, OAM y ORO si bien se presenta una disminución la misma no es significativa, esto puede ser debido a las dimensiones de cada Oca que mientras más diámetro tenga la variedad, mayor será su resistencia a la pérdida de humedad. Los valores de humedad cambian drásticamente para las muestras de khaya

encontrando valores entre 10.2 – 16.1% pero esto es razonable ya que la idea de este producto deshidratado es que pueda ser almacenado por mucho tiempo, lo cual va relacionado con que contenga la menor cantidad de humedad posible.

Tabla 8. Variación de color en Oca después de 10 días de exposición solar.

Apariencia de la muestra	Muestras frescas		Muestras soleadas		
	Piel	Pulpa	Piel	Pulpa	
	O. Blanca (OB)				
	L	50.7 ± 0.8	48.8 ± 1.1	16.1 ± 0.2	39.0 ± 0.3
	a	24.2 ± 0.8	-1.6 ± 0.2	2.4 ± 0.3	-3.2 ± 0.1
	b	7.7 ± 0.3	29.1 ± 0.7	14.8 ± 0.7	12.8 ± 0.6
	C	25.4 ± 0.9	29.1 ± 0.7	15.0 ± 0.8	13.2 ± 0.6
	°H_{ab}	17.8 ± 0.1	86.8 ± 0.3	80.8 ± 0.6	75.8 ± 0.01
	O. Amarilla (OAM)				
	L	64.5 ± 1.11	63.3 ± 0.3	47.5 ± 0.7	44.3 ± 1.1
	a	0.53 ± 0.04	-3.4 ± 0.1	-0.49 ± 0.03	-3.4 ± 0.1
	b	28.4 ± 0.4	28.2 ± 0.2	20.3 ± 0.2	18.8 ± 0.2
	C	28.4 ± 0.4	28.4 ± 0.2	20.3 ± 0.2	19.1 ± 0.2
	°H_{ab}	88.9 ± 0.1	83.2 ± 0.2	88.6 ± 0.1	79.6 ± 0.3
	O. Rosada (ORO)				
	L	43.8 ± 0.7	47.4 ± 0.6	36.0 ± 0.5	35.8 ± 0.3
	a	10.8 ± 0.3	10.5 ± 0.2	18.1 ± 0.3	7.3 ± 0.1
	b	12.5 ± 0.6	7.8 ± 0.1	11.3 ± 0.2	8.4 ± 0.3
	C	16.6 ± 0.6	13.1 ± 0.2	21.3 ± 0.4	11.1 ± 0.3
	°H_{ab}	49.2 ± 0.5	36.7 ± 0.01	31.9 ± 0.01	49.2 ± 0.4
	O. Overa (OOV)				
	L	25.8 ± 0.3	55.4 ± 0.1	18.4 ± 0.3	43.4 ± 0.4
	a	16.7 ± 1.1	0.11 ± 0.03	11.0 ± 0.2	-1.9 ± 0.1
	b	3.6 ± 0.1	20.0 ± 0.8	3.7 ± 0.1	16.8 ± 0.3
	C	17.1 ± 1.1	20.0 ± 0.8	11.6 ± 0.2	16.8 ± 0.3
	°H_{ab}	12.2 ± 0.3	89.7 ± 0.1	18.6 ± 0.1	83.5 ± 0.1

L=luminosidad; a (+rojo, -verde); b (+amarillo, -azul); C = Cromía; °H_{ab} = ángulo de matiz. Fuente: EP

Con respecto a los valores de pH, la muestra OOV fue la que presentó un menor pH inicial y OB y OAM los que presentaron mayor pH inicial; estos valores iniciales de pH se incrementan significativamente después de que las Ocas se asolearon por 10 días; en el caso de la khaya negra (producto derivado de la Oca fresca) estos disminuyen significativamente su pH respecto a la Oca fresca, esto también se puede apreciar en el caso de la khaya blanca (producto derivado de la Oca asoleada) comparado con su estado inicial que es la Oca asoleada.

Tabla 9. Comparación de las propiedades fisicoquímicas de Ocas y khayas

Muestra (Código)	Estado	Humedad (%)	Sólidos solubles (°Brix)	pH	Amilosa (%)	Amilopectina (%)
O. BLANCA (OB)	Fresco	83.1 ± 0.7	5.6 ± 0.6	6.46 ± 0.02	25.3 ± 1.5	74.7 ± 1.5
	Asoleado	81.7 ± 0.5	10.5 ± 0.5*	6.61 ± 0.02*	20.7 ± 1.9	79.3 ± 1.9
	K. Blanca	16.0 ± 0.1	-	5.89 ± 0.02	19.3 ± 1.3	80.7 ± 1.3
	K. Negra	10.7 ± 0.4	-	5.27 ± 0.03	11.6 ± 2.1*	88.4 ± 2.1*
O. AMARILLA (OAM)	Fresco	84.0 ± 0.3	5.9 ± 0.3	6.05 ± 0.01	25.0 ± 3.5	75.0 ± 3.5
	Asoleado	83.5 ± 0.5	11.9 ± 0.4*	6.74 ± 0.03*	29.5 ± 3.8	70.5 ± 3.8
	K. Blanca	15.2 ± 0.2	-	6.39 ± 0.19	17.3 ± 3.5*	82.7 ± 3.5*
	K. Negra	10.2 ± 0.6	-	5.05 ± 0.03	17.5 ± 1.1*	82.5 ± 1.1*
O. ROSADA (ORO)	Fresco	77.1 ± 0.9	7.6 ± 0.4	5.95 ± 0.03	25.8 ± 3.8	74.2 ± 3.8
	Asoleado	75.8 ± 2.2	12.5 ± 0.5*	6.83 ± 0.03*	31.9 ± 4.0	68.1 ± 4.0
	K. Blanca	16.1 ± 1.0	-	6.14 ± 0.01	20.5 ± 1.6*	79.5 ± 1.6*
	K. Negra	17.3 ± 0.5	-	5.42 ± 0.02	19.2 ± 1.5*	80.8 ± 1.5*
O. OVERA (OOV)	Fresco	81.3 ± 0.6	6.0 ± 0.2	5.82 ± 0.01	27.2 ± 1.9	72.8 ± 1.9
	Asoleado	72.8 ± 3.3*	17.2 ± 0.8*	6.95 ± 0.05*	22.4 ± 0.4*	77.6 ± 0.4*
	K. Blanca	14.7 ± 0.6	-	5.93 ± 0.03	16.8 ± 2.8*	83.2 ± 2.8*
	K. Negra	10.4 ± 0.6	-	5.24 ± 0.03	19.8 ± 1.6*	80.2 ± 1.6*

(*) Indica diferencia significativa ($p < 0.05$) respecto a su estado fresco, mediante análisis ANOVA y prueba Tukey ($n=3$). Fuente: EP

En el caso de los sólidos solubles, después de la exposición solar se observa una diferencia significativa ya que en todos los casos se duplicaron los contenidos e incluso la muestra OOV casi triplicó su valor inicial, esto debido al incremento de azúcares libres en el alimento, mientras que no se pudo determinar los sólidos solubles de las muestras de khayas ya que carecían de agua debido al proceso de deshidratación.

Con respecto al análisis de almidones, se observó que el porcentaje de amilosa en las Ocas secas se encuentran entre 25.0 – 27.2%, donde se observó un incremento en los valores de amilosa en las muestras asoleadas OAM y ORO, mientras que en las muestras OB y OOV los valores de amilosa disminuyeron los valores de khaya negra y blanca disminuyeron

significativamente, lo cual puede ser debido al proceso de deshidratación al que fueron sometidos.

4.4 Actividad antioxidante total (TAC) y concentración de fenoles y flavonoides totales

Se determinó fenoles y flavonoides totales y la capacidad antioxidante (FRAP y ABTS) las muestras que se evaluaron fueron muestras frescas sin asoleo (fresco), asoleados, muestras secas, secas asoleadas, liofilizadas y muestras de khaya blanca y negra.

Observando los resultados obtenidos en la tabla 10 de manera general, los valores más altos lo presentan las muestras ORO y OOV lo que indica que tendrían mayor capacidad antioxidante y mayor concentración de polifenoles; se pudo observar que el asolear las muestras de Oca incrementan la capacidad antioxidante, concentración de fenoles y flavonoides totales, mientras que al convertirlos en khaya los valores disminuyen.

Los resultados de TAC en equivalente de Trolox, determinados por el método FRAP mostraron los siguientes rangos: 3.42–4.68 $\mu\text{mol/g}$ para Ocas recién cosechadas, 5.13–6.13 $\mu\text{mol/g}$ para Ocas asoleadas, 2.32–2.64 $\mu\text{mol/g}$ para khaya blanca, 1.39–3.53 $\mu\text{mol/g}$ para khaya negra, y por ultimo para las muestras liofilizadas se encuentra entre 5.07–8.51 $\mu\text{mol/g}$. Mientras que los valores obtenidos por el método ABTS se dieron en el rango de 1.64–1.85 $\mu\text{mol/g}$ para Ocas frescas, 3.20–4.73 $\mu\text{mol/g}$ para Ocas asoleadas, 1.21–2.75 $\mu\text{mol/g}$ para khaya blanca, 0.63–3.99 $\mu\text{mol/g}$ para khaya negra, y 2.51–6.07 $\mu\text{mol/g}$ para muestras liofilizadas.

Los resultados de fenoles totales en equivalentes de ácido gálico presentan los siguientes rangos: 1.10–1.77 $\mu\text{mol/g}$ para Ocas frescas, 1.90–2.26 $\mu\text{mol/g}$ para Ocas asoleadas, 1.57–1.99 $\mu\text{mol/g}$ para khaya blanca, 0.91–2.91 $\mu\text{mol/g}$ para khaya negra, y por ultimo para las muestras liofilizadas se encuentra entre 1.60–3.16 $\mu\text{mol/g}$. Paralelamente los valores de flavonoides totales en equivalente de catequina presentaron los siguientes rangos: 0.66–0.80 $\mu\text{mol/g}$ para Ocas frescas, 0.87–1.07 $\mu\text{mol/g}$ para Ocas asoleadas, 0.87–1.80 $\mu\text{mol/g}$ para khaya blanca, 0.62–1.80 $\mu\text{mol/g}$ para khaya negra, y las muestras liofilizadas se encuentra entre 0.69–1.17 $\mu\text{mol/g}$ Según estos resultados, los valores más bajos y más altos se encontraron en las khayas y las muestras liofilizadas respectivamente.

Tabla 10. Variación de la capacidad antioxidante por FRAP y ABTS (eq. Trolox), compuestos fenólicos (eq. Ac. gálico), flavonoides totales (eq. Catequina) en accesiones de Oca y khaya; todos expresados en $\mu\text{mol/g}$

Muestra	FRAP	ABTS	Fenoles totales	Flavonoides totales
Oca				
OB	3.66 ± 0.15 ^a	1.64 ± 0.16 ^a	1.10 ± 0.24 ^a	0.66 ± 0.05 ^a
OAM	3.42 ± 0.27 ^a	1.64 ± 0.18 ^a	1.15 ± 0.06 ^a	0.74 ± 0.05 ^b
ORO	4.68 ± 0.05 ^b	1.85 ± 0.31 ^b	1.77 ± 0.22 ^b	0.80 ± 0.02 ^b
OOV	3.64 ± 0.22 ^a	1.77 ± 0.27 ^b	1.39 ± 0.08 ^c	0.74 ± 0.06 ^b
Rango	3.42- 4.68	1.64 – 1.85	1.10 – 1.77	0.66 – 0.80
(Media)	(3.85)	(1.72)	(1.35)	(0.74)
Oca asoleada				
OB	5.18 ± 0.34 ^a	3.63 ± 0.62 ^a	1.96 ± 0.09 ^a	0.87 ± 0.04 ^a
OAM	5.13 ± 0.24 ^a	3.62 ± 0.13 ^a	1.90 ± 0.11 ^a	1.07 ± 0.08 ^b
ORO	6.13 ± 0.35 ^c	3.20 ± 0.19 ^b	2.26 ± 0.22 ^b	1.03 ± 0.12 ^b
OOV	5.25 ± 0.26 ^b	4.73 ± 0.12 ^c	2.24 ± 0.01 ^b	1.24 ± 0.10 ^b
Rango	5.13 – 6.13	3.20 – 4.73	1.90 – 2.26	0.87 – 1.24
(Media)	(5.27)	(3.80)	(2.04)	(3.96)
Khaya blanca				
OB	2.60 ± 0.42 ^a	2.05 ± 0.42 ^a	1.99 ± 0.12 ^a	1.80 ± 0.23 ^a
OAM	2.64 ± 0.41 ^a	2.75 ± 0.28 ^b	1.74 ± 0.23 ^{a,b}	0.96 ± 0.03 ^b
ORO	2.32 ± 0.40 ^b	1.21 ± 0.41 ^c	1.57 ± 0.29 ^b	0.90 ± 0.12 ^b
OOV	2.36 ± 0.14 ^b	1.53 ± 0.28 ^c	1.80 ± 0.26 ^{a,b}	0.87 ± 0.07 ^b
Rango	2.32 – 2.64	1.21 – 2.75	1.57 – 1.99	0.87 – 1.80
(Media)	(2.48)	(1.88)	(1.78)	(1.13)
Khaya negra				
OB	2.01 ± 0.29 ^a	2.18 ± 0.31 ^a	1.31 ± 0.12 ^a	0.97 ± 0.05 ^a
OAM	1.87 ± 0.18 ^a	2.39 ± 0.34 ^a	1.26 ± 0.14 ^a	0.90 ± 0.14 ^a
ORO	1.39 ± 0.14 ^b	0.63 ± 0.02 ^b	0.91 ± 0.06 ^b	0.62 ± 0.03 ^b
OOV	3.53 ± 0.25 ^c	3.99 ± 0.46 ^c	2.91 ± 0.22 ^c	1.80 ± 0.23 ^c
Rango	1.39 – 3.53	0.63 – 3.99	0.91 – 2.91	0.62 – 1.80
(Media)	(2.20)	(2.30)	(1.60)	(1.07)
Liofilizado				
OB	5.07 ± 0.53 ^a	2.51 ± 0.21 ^a	1.80 ± 0.06 ^a	0.69 ± 0.06 ^a
OAM	8.51 ± 0.45 ^b	6.07 ± 0.69 ^b	3.16 ± 0.24 ^b	1.17 ± 0.11 ^b
ORO	5.41 ± 0.15 ^a	3.38 ± 0.61 ^c	1.60 ± 0.19 ^a	0.82 ± 0.08 ^a
OOV	5.40 ± 0.54 ^a	4.54 ± 0.47 ^d	2.45 ± 0.25 ^c	1.13 ± 0.25 ^b
Rango	5.07 – 8.51	2.51 – 6.07	1.60 – 3.16	0.69 – 1.17
(Media)	(6.10)	(4.12)	(2.25)	(0.95)

Superíndice con letra diferente indica diferencia significativa ($p < 0.05$) entre muestras.

Fuente: EP

4.5 Concentración de azúcares

Los resultados obtenidos de la concentración de azúcares se presentan en la tabla 11 y la figura 12. Se pueden observar que las Ocas frescas (recién cosechadas) presentan valores de sacarosa, glucosa y fructosa en un rango de 2.3–6.8%, 1.0–1.6% y 2.3–4.1% respectivamente, estos incrementan significativamente su valor cuando se las asolea por 10 días (5h/día); el incremento se aprecia principalmente en los valores de sacarosa (9.3–

25.8%) ya que incrementan hasta 5 veces su valor inicial en el caso de OOV; mientras tanto que tras el asoleo en la mayoría de los casos la glucosa (1.8–5.7%) tiende a triplicar su valor inicial excepto para la Oca rosada que solo duplico su valor; por último, la fructosa (2.5 – 9.8%) fue peculiar ya que para las muestras OB y OAM se duplico su valor inicial mientras que para las muestras ORO y OOV no hubo un incremento significativo.

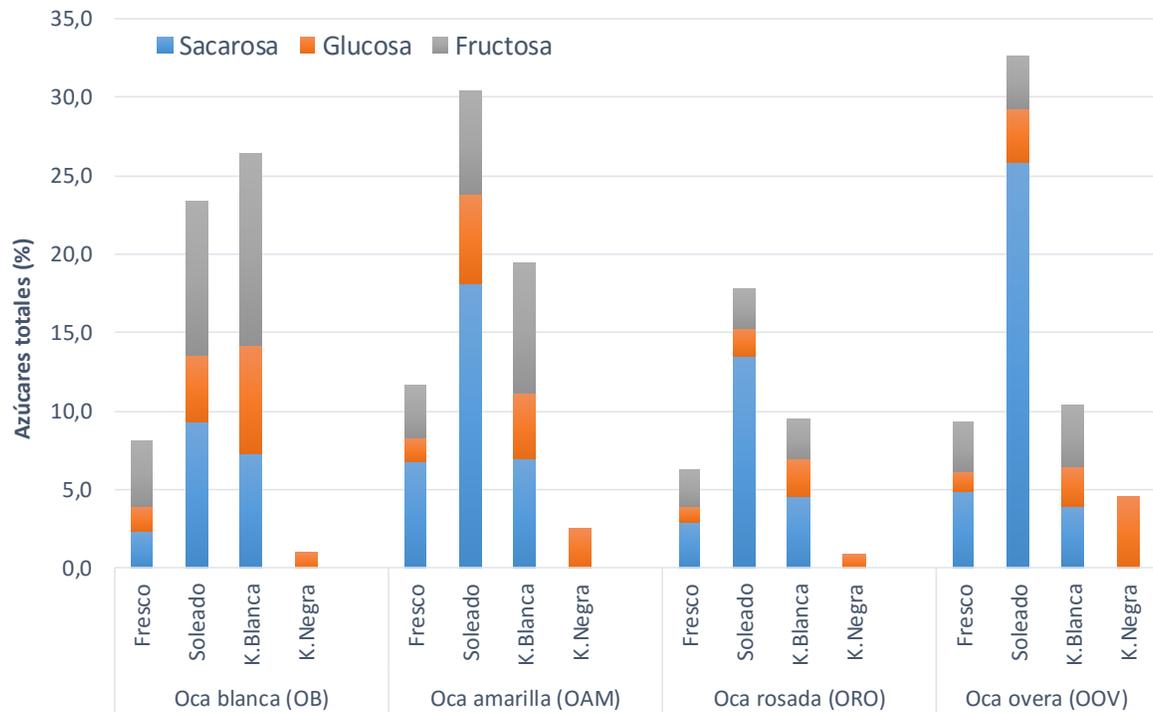


Figura 12. Concentración de azúcares totales en muestras de Oca y khaya. Fuente: EP

Para los productos deshidratados se observó que todos los valores de sacarosa en las muestras de khaya blanca comparadas con su materia prima (Oca asoleada) redujeron sus valores iniciales; mientras tanto que para la glucosa en las muestras OB y ORO incrementaron, pero en las muestras OAM y OOV redujeron; mientras tanto se observó que los valores de fructosa en todas las muestras de khaya blanca tuvieron un ligero incremento respecto a la Oca asoleada. Finalmente, para la khaya negra solo se evidenció la presencia de glucosa en un rango de 0.9–4.5%, valores menores a su materia prima (Oca fresca) este último no presenta sacarosa y fructosa debido a que su proceso le demanda estar mucho tiempo sumergido en el agua.

Tabla 11. Variación del contenido de azúcares en las accesiones de Oca y sus derivados.

Muestra	Sacarosa (mg/g)	Glucosa (mg/g)	Fructosa (mg/g)	Total (%)
Oca fresca				
OB	23.3 ± 0.9 ^a	16.4 ± 0.6 ^a	40.9 ± 1.0 ^a	8.8
OAM	67.6 ± 0.7 ^c	15.2 ± 0.1 ^a	33.1 ± 0.4 ^b	11.6
ORO	29.4 ± 1.2 ^a	9.91 ± 0.6 ^b	22.9 ± 1.2 ^c	6.2
OOV	48.2 ± 0.3 ^b	13.2 ± 0.1 ^a	32.0 ± 1.1 ^b	9.3
Rango (Media)	23.3 – 67.6 (42.1)	9.91 – 16.4 (13.7)	22.9 – 40.9 (32.2)	6.2 – 11.6 (9.0)
Oca asoleada				
OB	93.0 ± 1.5 ^a	42.9 ± 0.3 ^a	97.8 ± 3.2 ^a	23.4
OAM	181.1 ± 0.1 ^b	56.8 ± 0.1 ^b	65.5 ± 0.9 ^b	30.4
ORO	135.0 ± 1.6 ^c	18.2 ± 2.2 ^c	25.0 ± 0.5 ^d	17.8
OOV	258.3 ± 16 ^d	34.7 ± 2.5 ^d	33.4 ± 1.1 ^c	32.6
Rango (Media)	93.0 – 258.3 (166.8)	18.2 – 56.8 (38.2)	25.0 – 97.8 (55.4)	17.8 – 32.6 (26.1)
Khaya blanca				
OB	72.3 ± 0.9 ^a	69.2 ± 0.1 ^a	122.8 ± 1.5 ^a	26.4
OAM	69.8 ± 0.6 ^a	41.7 ± 0.5 ^b	83.2 ± 0.5 ^b	19.5
ORO	45.7 ± 0.9 ^b	23.5 ± 0.7 ^c	25.7 ± 0.4 ^b	9.6
OOV	39.0 ± 3.6 ^b	26.0 ± 2.4 ^c	39.1 ± 1.9 ^c	10.4
Rango (Media)	39.0 – 72.3 (56.7)	23.5 – 69.2 (40.1)	25.7 – 122.8 (67.7)	9.6 – 26.4 (16.5)
Khaya negra				
OB	ND	9.78 ± 0.3 ^a	ND	1.0
OAM	ND	25.5 ± 2.7 ^b	ND	2.6
ORO	ND	8.93 ± 0.4 ^a	ND	0.9
OOV	ND	45.1 ± 1.0 ^c	ND	4.5
Rango (Media)		8.93 – 45.1 (22.3)		0.9 – 4.5 (2.2)

ND: no detectado. Superíndice con letra diferente indica diferencia significativa entre variedades. Fuente: EP

4.6 Concentración de ácidos orgánicos

Con base en los resultados del análisis de ácidos orgánicos realizado, se identificó tres principales ácidos orgánicos, que son los iones: malatos, succinatos y oxalatos, este último dividido en oxalatos solubles y totales. Los resultados obtenidos se resumen en la tabla 12, donde de manera general se puede observar que los oxalatos solubles reducen después del proceso de asoleado e incluso desaparece en su totalidad en algunas muestras como OB, mientras que después del proceso de deshidratación, los valores de oxalatos en khaya blanca y negra sufren una reducción significativa. Sin embargo, se evidenció que los malatos y succinatos se encuentran en mayor concentración que los oxalatos solubles, pero también se observó que los malatos y succinatos tienden a incrementar cuando la Oca se

asolea y también cuando se lo convierte en khaya blanca, pero estos reducen cuando se lo transforman en khaya negra.

Tabla 12. Variación de ácidos orgánicos en las accesiones de Oca y sus derivados. mg/100g de materia seca

Muestra	Oxalatos solubles	Oxalatos totales	Malatos	Succinatos
Oca fresca				
OB	270.4 ± 21.6 ^a	2055 ± 271 ^a	1709 ± 289.6 ^a	630.3 ± 111 ^a
OAM	719.6 ± 29.4 ^b	874.0 ± 73.2 ^b	932.1 ± 0.4 ^b	863.9 ± 1.3 ^b
ORO	738.1 ± 4.50 ^b	2235 ± 92.4 ^a	2420 ± 19.9 ^c	993.3 ± 18.3 ^b
OOV	401.7 ± 18.2 ^c	1136 ± 18.7 ^c	821.8 ± 62.2 ^b	778.1 ± 26.8 ^{a,b}
Rango	270.4 – 738.1	874.0 – 2234.6	821.8 – 2419.7	630.3 – 993.3
(Media)	(532.4)	(1574.8)	(1470.6)	(816.4)
Oca asoleada				
OB	ND	910.7 ± 19.2 ^a	2136 ± 26.7 ^a	755.6 ± 18.3 ^a
OAM	360.5 ± 6.3 ^a	951.4 ± 56.0 ^{a,b}	2364 ± 13.8 ^b	1037 ± 23.7 ^b
ORO	590.2 ± 91.6 ^b	1138 ± 113.4 ^b	2884 ± 71.0 ^c	918.9 ± 103.7 ^b
OOV	499.7 ± 4.6 ^b	818.9 ± 28.1 ^a	2835 ± 41.2 ^c	1332 ± 41.7 ^b
Rango	360.5 – 590.2	818.9 – 1138	2136 – 2884	755.6 – 1332
(Media)	(416.8)	(954.8)	(2380)	(1011)
Khaya blanca				
OB	206.8 ± 9.5 ^a	894.3 ± 26.9 ^a	2426 ± 18.8 ^a	1784 ± 29.0 ^a
OAM	226.5 ± 0.6 ^a	417.8 ± 71.6 ^b	1322 ± 13.9 ^b	798.1 ± 9.6 ^b
ORO	183.4 ± 4.5 ^b	922.5 ± 183.0 ^a	1441 ± 86.2 ^b	1427 ± 157.7 ^a
OOV	256.2 ± 5.4 ^a	618.4 ± 12.0 ^c	2155 ± 134.4 ^a	1293 ± 23.5 ^c
Rango	183.4 – 256.2	417.8 – 922.5	1441 – 2426	798.1 – 1784
(Media)	(218.2)	(713.2)	(1836)	(1326)
Khaya negra				
OB	203.1 ± 0.5 ^a	254.4 ± 14.8 ^a	539.9 ± 33.4 ^a	613.5 ± 69.0 ^a
OAM	255.7 ± 10.8 ^b	296.9 ± 2.1 ^a	394.5 ± 14.6 ^b	701.5 ± 35.0 ^a
ORO	135.8 ± 11.1 ^c	212.6 ± 2.0 ^b	325.1 ± 19.0 ^b	427.6 ± 46.3 ^b
OOV	215.8 ± 18.1 ^{a,b}	329.5 ± 40.4 ^c	276.4 ± 20.0 ^c	793.5 ± 44.8 ^c
Rango	135.8 – 255.7	212.6 – 329.5	276.4 – 539.9	427.6 – 793.5
(Media)	(202.6)	(273.4)	(384.0)	(634.0)

Superíndice con letra diferente indica diferencia significativa ($p < 0.05$), Tukey ($n=3$). Fuente EP

4.7 Concentración de compuestos fenólicos, flavonoides y antocianidinas

Se lograron identificar y cuantificar polifenoles mediante HPLC con un detector de matriz de diodos (UV-Vis), en total se identificaron siete compuestos presentes en todas las accesiones de Ocas de los cuales corresponden a ácido gálico, tres flavonoides identificados como catequina, quercetina y kaempferol y tres antocianidinas llamadas delfidina, cianidina y malvidina. Donde el máximo de absorción para el ácido gálico fue de 280 nm, mientras que para catequina quercetina y kaempferol fue de 231, 255 y 256 nm respectivamente; mientras tanto para las antocianidinas delfidina fue de 226, 274 y

537 nm, cianidina con 234, 276, 531 nm y malvidina con 240, 275, 541 nm, las bandas de absorción se pueden apreciar en el Anexo IV.

Los resultados cuantitativos se resumen en la tabla 13. La cantidad de cada compuesto polifenólico varía entre las accesiones, donde la catequina es el principal compuesto en todas las muestras, seguido de ácido gálico, Kaempferol y quercetina, mientras que las antocianinas están presentes en concentraciones bajas, donde se aprecia que la concentración de delfidina es similar entre las accesiones, las concentraciones de cianidina y malvidina presentan variabilidad entre accesiones.

Por otro lado, se puede apreciar que la concentración de polifenoles se incrementa cuando se someten a radiación solar ya que en la mayoría de los casos duplican e incluso triplican sus valores iniciales, esta tendencia es más apreciable para quercetina, kaempferol, delfidina, cianidina y malvidina. En cambio, cuando se obtienen los derivados deshidratados como la khaya negra, la presencia de antocianinas es casi nula, pero mantiene la presencia de ácido gálico, catequina, quercetina y kaempferol, mientras que para la khaya negra se pierde la presencia de quercetina, kaempferol y delfidina pero se mantiene el resto de polifenoles, estos datos son interesantes ya que a pesar de atravesar el difícil y complicado proceso que conlleva la deshidratación los nuevos productos aún mantienen intactas la mayoría de sus compuestos químicos que son beneficiosos para la salud.

Tabla 13. Variación de los compuestos fenólicos y antocianidinas en las accesiones de Oca y sus derivados expresado en µg/g

Muestra	Ácido gálico	Catequina	Quercetina	Kaempferol	Delfidina	Cianidina	Malvidina
Oca fresca							
OB	99.6 ± 13.4 ^a	208 ± 0.29 ^a	0.34 ± 0.01 ^a	0.80 ± 0.10 ^a	0.032 ± 0.009 ^a	0.035 ± 0.013 ^a	0.058 ± 0.008 ^a
OAM	99.4 ± 22.0 ^a	214 ± 14.0 ^a	0.23 ± 0.08 ^a	1.16 ± 0.56 ^a	0.029 ± 0.002 ^a	0.042 ± 0.012 ^a	0.015 ± 0.004 ^b
ORO	69.9 ± 0.38 ^b	147 ± 2.13 ^b	0.96 ± 0.04 ^b	2.29 ± 0.06 ^b	0.029 ± 0.002 ^a	0.012 ± 0.001 ^b	0.092 ± 0.003 ^c
OOV	94.2 ± 19.0 ^a	193 ± 18.8 ^a	0.11 ± 0.03 ^a	0.83 ± 0.24 ^a	0.021 ± 0.007 ^a	0.014 ± 0.005 ^b	0.032 ± 0.006 ^d
Rango	69.9 – 99.6	147 – 214	0.11 – 0.96	0.80 – 2.29	0.021 – 0.032	0.012 – 0.035	0.015 – 0.092
(Media)	(90.8)	(190)	(0.41)	(1.27)	(0.028)	(0.026)	(0.045)
Oca asoleada							
OB	87.6 ± 2.30 ^a	206 ± 2.87 ^a	0.48 ± 0.04 ^a	1.09 ± 0.09 ^a	0.043 ± 0.001 ^a	0.036 ± 0.001 ^a	0.088 ± 0.003 ^a
OAM	182 ± 0.44 ^b	95.7 ± 14.9 ^b	0.66 ± 0.06 ^b	2.13 ± 0.06 ^b	0.089 ± 0.012 ^b	0.113 ± 0.024 ^b	0.068 ± 0.007 ^b
ORO	74.1 ± 1.65 ^a	112 ± 2.11 ^b	0.53 ± 0.31 ^c	4.89 ± 0.11 ^c	0.249 ± 0.001 ^c	0.022 ± 0.001 ^c	0.253 ± 0.005 ^c
OOV	101 ± 15.4 ^c	150 ± 4.45 ^c	0.57 ± 0.24 ^c	1.23 ± 0.005 ^a	0.033 ± 0.005 ^a	0.025 ± 0.001 ^a	0.087 ± 0.028 ^a
Rango	74.1 – 182	95.7 – 206	0.48 – 0.66	1.09 – 4.89	0.033 – 0.249	0.022 – 0.113	0.068 – 0.253
(Media)	(111)	(141)	(0.56)	(2.30)	(0.104)	(0.049)	(0.124)
Khaya blanca							
OB	53.8 ± 8.60 ^a	71.8 ± 4.24 ^a	0.16 ± 0.02 ^a	0.77 ± 0.06 ^a	ND	ND	< 0.001
OAM	25.6 ± 5.58 ^b	43.1 ± 7.60 ^b	0.12 ± 0.03 ^a	0.61 ± 0.12 ^a	ND	ND	ND
ORO	7.06 ± 1.81 ^c	1.69 ± 0.16 ^c	0.11 ± 0.01 ^a	0.44 ± 0.06 ^b	ND	ND	ND
OOV	38.6 ± 0.24 ^d	46.6 ± 13.2 ^b	0.025 ± 0.01 ^b	0.057 ± 0.007 ^c	ND	< 0.001	ND
Rango	7.06 – 53.8	1.69 – 71.8	0.025 – 0.16	0.047 – 0.77			
(Media)	(31.3)	(40.8)	(0.10)	(0.47)			
Khaya negra							
OB	1.56 ± 0.55 ^a	1.41 ± 1.16 ^a	ND	ND	ND	≤ 0.002	≤ 0.002
OAM	0.76 ± 0.05 ^b	2.71 ± 0.22 ^b	ND	ND	ND	≤ 0.002	ND
ORO	1.19 ± 0.54 ^a	1.44 ± 0.32 ^a	ND	ND	ND	≤ 0.002	0.014 ± 0.001
OOV	0.72 ± 0.02 ^b	1.57 ± 0.20 ^a	ND	ND	< 0.001	0.011 ± 0.001	0.024 ± 0.002
Rango	0.72 – 1.56	1.41 – 2.71					≤ 0.002 – 0.024
(Media)	(1.06)	(1.78)					(0.013)

ND: no detectado; *Superíndice con letra diferente indica diferencia significativa (p < 0.05), Tukey (n=3).* Fuente: EP

CAPÍTULO V

5. DISCUSIONES

5.1. Cambio en las propiedades fisicoquímicas

Los resultados obtenidos en el presente estudio muestran que el proceso de asoleo en las Ocas afecta algunas de las propiedades fisicoquímicas de manera significativa como se presentan en la tabla 9.

En el caso de la humedad, las muestras frescas presentaron valores entre 84.0-77.1%, similar humedad fue reportada en muestras de Ocas bolivianas de otros departamentos como ser Cochabamba (Torres Santa Cruz et al., 2004) y Tarija (Ross et al., 1999). También estos valores fueron similares a la humedad de Ocas de otros países como por ejemplo de Colombia con 80.2-84.6% (King et al., 1987), 80.0-86.8% en Ocas de Perú (Campos et al., 2006; León Marroú et al., 2011; Ore Areche et al., 2020) y 79.0-87.3 en Ocas de Nueva Zelanda (Dubois et al., 2007; Ross et al., 1999; Sangketkit et al., 1999; Savage et al., 2008). Sin embargo, los valores determinados en Ocas de Argentina fueron inferiores reportando valores entre 73.0-76.8% de humedad (Jiménez et al., 2014) lo cual puede ser debido a que estas últimas tuvieron un tiempo mayor de almacenamiento o fueron asoleados previamente ya que son comparables con algunas muestras asoleadas en el presente estudio.

En cuanto a los valores de pH, un estudio realizado por Dubois (Dubois et al., 2007) reportó que el pH en diferentes muestras de Oca (materia seca) varía entre 5.8-6.5 y que varía ligeramente después de ser cocidas u horneadas. Otro estudio realizado por Bradbury (Bradbury et al., 2011) muestra que el pH en diferentes accesiones de Oca varía de 5.8 a 6.9, siendo 6.3 el pH más frecuente; además, concluye que la diferencia de pH entre las diferentes accesiones de Oca se atribuye a diferencias en el contenido de ácido oxálico. En el presente estudio se observa que el pH en Oca fresca varía entre 5.6 - 6.5 y que hay un incremento significativo después de la exposición solar (tabla 9); donde las muestras OB y OAM fueron las que menor cambio en el pH experimentaron. Este cambio de pH se debe a que la luz solar contribuye a que una parte de los ácidos orgánicos presentes en la

Oca sufran descomposición (Bradbury et al., 2011); lo que provoca un incremento en el pH del alimento y que paralelamente disminuya su acidez.

Luego de 10 días de exposición solar se presenta un aumento en el contenido de sólidos solubles, lo que provoca una disminución en los ácidos orgánicos presentes que paralelamente ocasiona un incremento de pH y una ligera disminución de la acidez titulable, por lo cual en el presente estudio se propone que los días de asoleo para Ocas frescas (recién cosechadas) debe ser menor a 10 días, esto para que no se presente una disminución drástica de los ácidos orgánicos ya que podría promover un medio idóneo para el crecimiento de microorganismos como hongos y levaduras (Rawat, 2015); por lo tanto, es común que las Ocas asoleadas tengan una vida útil más corta (Saxena et al., 2016) ya que el excesivo asoleo (sin llegar a deshidratar por completo) provoca que la punta comience a secarse y la cascara a arrugarse (figura 1C) haciendo que sean menos atractivos para el consumo.

Los resultados de sólidos solubles en las muestras frescas y comerciales estudiadas, se asemejan a otros estudios similares donde se observa que el mayor aumento de sólidos solubles esta entre 2 a 8 días de asoleo (Venero Peralta, 2013). Pero también se observó que los °Brix pueden incrementarse de 7.5 a 15.0 después de 20 días de exposición solar, pero casi se mantiene constante entre los 3-10 días (Yenque Dedios et al., 2008). Otro estudio indica que la concentración de sólidos solubles varía de 7.0 a 13.9 °Brix, donde a partir del día 8 para adelante logra mantenerse constante (Venero Peralta, 2013). Este incremento se debe en gran medida a la intensidad de la radiación solar que ocasiona una deshidratación parcial en las Ocas con un aumento en la materia seca, donde se encuentran azúcares libres como glucosa, fructosa y sacarosa (Hermann et al., 2000). Por lo que, en el presente estudio se propone que para muestras frescas (recién cosechadas) el tiempo óptimo de asoleo estaría entre 5 a 10 días, mientras que para las muestras comerciales estarían entre 3 a 7 días, para estos últimos se debe tener en cuenta el aspecto inicial de la muestra y en principio consultar al vendedor si la muestra se encuentra asoleada previamente.

En el caso del color, estudios previos realizaron la caracterización del cambio de color de Ocas después de diferentes métodos de cocción como hervido, al horno y al vapor (Dubois

et al., 2007; Sangketkit et al., 2000), pero este sería el primer estudio donde se evalúa el cambio de color en Ocas tras exposición solar. Las diferentes variedades de Ocas presentan diversos colores que pueden ir desde blanco a morados intensos y que están regulados principalmente por la presencia de sus compuestos químicos como carotenoides, flavonoides y antocianinas (Campos et al., 2006; Mollinedo et al., 2014), que son susceptibles a cambio tras exposición al sol (Al-Farsi et al., 2005), lo que podría cambiar la apariencia de las Ocas después de ser asoleadas como es el caso de la muestra OB que pasa de tener una apariencia blanca a amarilla o la disminución de luminosidad en las muestras más coloreadas como OOV y ORO.

5.2. Cambio en las capacidad antioxidante y concentración de polifenoles

Los valores obtenidos por el método ABTS muestra que la capacidad antioxidante de la Oca fueron algo inferiores a los reportados en Ocas frescas recolectadas de Perú (Campos et al., 2006; Chirinos et al., 2009) pero fueron similares para muestras frescas comerciales de Bolivia; sin embargo, en el presente estudio se reportan valores más bajos por el método FRAP (Mollinedo et al., 2014; Peñarrieta et al., 2005). Mientras tanto que los valores de fenoles totales y flavonoides totales son comparables con estudios previos (Chirinos et al., 2009; Mollinedo et al., 2014; Peñarrieta et al., 2007). Los valores obtenidos principalmente por la Oca asoleada y liofilizada en esta investigación fueron comparables a las papas coloreadas nativas (Ercoli et al., 2021; Tejeda et al., 2020) y superiores a otros tubérculos como la arracacha, olluco (Peñarrieta et al., 2005, 2007), yacon (Khajehei et al., 2018) y camote (Musilova et al., 2020).

Por otro lado, los valores de khaya (producto deshidratado de la Oca) son comparables e incluso mayores a los productos deshidratados de la papa como el chuño (Peñarrieta et al., 2011) y la tunta (Yábar-Villanueva et al., 2023). Varios autores reportaron la presencia en la Oca de diversos compuestos como derivados del ácido cinámico, catequina pero principalmente compuestos glicosilados derivados de la apigenina, luteolina, naringerina, quercetina, kaempferol, petunidina, delfidina, malvidina, peonidina y cianidina (Alcalde-Eon et al., 2004; Chirinos et al., 2009; Mollinedo et al., 2014).

Mediante una hidrólisis previa de los extractos, en el presente estudio se pudo cuantificar los siguiente polifenoles: ácido gálico, catequina, quercetina, kaempferol, delfidina cianidina y malvidina, los cuales presentaron valores menores al de las Ocas comerciales reportadas por (Mollinedo et al., 2014), ya que se vio en este estudio que los días de asoleo pueden incrementar la cantidad de polifenoles, esto debido a la exposición de la radiación solar que está compuesta por UV-B y principalmente por UV-A lo cual está confirmado por estudios previos donde se determinó que la cantidad de polifenoles y antioxidantes se incrementan cuando se someten a radiación UV-B; tal fenómeno fue comprobado en muestras de arándanos (Nguyen et al., 2014), vid (Berli et al., 2011) y tomate (Liu et al., 2011); por lo cual el incremento en la concentración de flavonoides, antocianinas, taninos entre otros compuestos de la Oca, estaría relacionado como un mecanismo de respuesta, que activa el mecanismo de defensa debido a un factor externo como la radiación UV-B (Mukherjee, 2019).

5.3. Aumento en la concentración de azúcares

Los principales azúcares encontrados en la Oca son sacarosa, glucosa y fructosa (Lim, 2016), En el presente estudio se evidencio que los azúcares de la Oca recién cosechada presentan valores bajos pero incrementan significativamente cuando son asoleadas, la comparación entre los datos obtenidos y otros tubérculos se observa en la tabla 14. La Oca asoleada es uno de los tubérculos con mayor concentración de sacarosa respecto a otros tubérculos, mientras que glucosa y fructosa poseen relativamente concentraciones similares a la yuca y camote, pero superiores a la papa.

Se comprobó que la tendencia a incrementar los azúcares también ocurre en otros tubérculos como la yuca, se reportó que después de 5 a 8 días post cosecha experimentan un máximo incremento de glucosa y fructosa pero los cuales disminuyen al transcurrir más días (Uarrotta et al., 2016). En el caso del camote que contiene los mismos azúcares que la Oca se vio que poseen entre 4.1 – 10.8% de azúcares totales iniciales, donde el azúcar predominante es la sacarosa y se observó que a los 5 meses de almacenamiento esta aumenta considerablemente su concentración, mientras que glucosa y fructosa se mantienen o disminuyen su concentración (Adu-Kwarteng et al., 2014).

Tabla 14. Comparación de azúcares de Oca con otros tubérculos

Tubérculo	Sacarosa mg/g	Glucosa mg/g	Fructosa mg/g	Referencia
Oca (<i>Oxalis tuberosa</i>)	23.3 – 67.6	9.91 – 16.4	22.9 – 40.9	<i>Este estudio</i>
	93.0 – 258.3	18.2 – 56.8	25.0 – 97.8	<i>Este estudio**</i>
Yuca (<i>Manihot esculenta</i>)	48.5 – 112.1	15.5 – 82.3	13.7 – 69.9	(Uarrota et al., 2016)
	4.6 – 26.2	17.1 – 102.4	23.3 – 117.3	(Uarrota et al., 2016)*
Papa (<i>Solanum tuberosum</i>)	6.39 – 29.4	0.46 – 27.2	0.87 – 55.2	(Duarte-Delgado et al., 2016)
	6.40 – 21.8	2.30 – 29.7	1.2 – 25.4	(Piikki et al., 2003)
Camote (<i>Ipomoea batatas</i>)	25.2 – 77.7	3.80 – 20.2	2.40 – 10.6	(Lai et al., 2013)
	22.5 – 146.4	3.81 – 131.5	3.42 – 113.5	(Xu et al., 2023)
Yacon (<i>Smallanthus sonchifolius</i>)	20.0 – 168.0			(Campos et al., 2012)

***asoleado*; * *Postcosecha* Fuente: EP

5.4. Cambio en la concentración de ácidos orgánicos

Los ácidos orgánicos tienen un rol muy importante dentro de los alimentos, debido a que influyen en el sabor, mantienen el valor nutricional además de que cumple el rol de regular la vida útil de los alimentos (Shi et al., 2022), entre los ácidos orgánicos más comunes en alimentos se tiene al ácido cítrico, ascórbico, málico, succínico, fumárico, tartárico y oxálico (Theron et al., 2010) a este último se lo reporta como anti-nutriente debido a que si se altera y se deteriora la homeostasis de oxalato en el organismo este puede causar inflamación sistémica y localizada, enfermedad renal progresiva, formación de cálculos renales e incluso complicaciones cardíacas que podría incluir una muerte súbita (Ermer et al., 2023). La ingesta recomendada de oxalatos por día según la Asociación Dietética Americana es de 40 a 50 mg de oxalatos proveniente de los alimentos (American-Dietetic-Association, 2005).

Se realizaron estudios previos de oxalatos en Oca principalmente por investigadores de Nueva Zelanda que también estudiaron algunas accesiones de Bolivia y Argentina (Ross et al., 1999; Sangketkit et al., 2001); Los valores encontrados en este estudio comparados con estudios previos (tabla 3), muestran que los valores de oxalatos solubles son menores, mientras que para los valores de oxalatos totales son más elevados en algunas accesiones como ORO, tales valores disminuyen significativamente tras el proceso de asoleo, e incluso llegaría a reducir en mayor medida después de la cocción como lo describe Sangketkit (Sangketkit et al., 2001), donde el tratamiento de cocción de este alimento

influye ya que hervirlos o al vapor reducen la concentración de oxalatos, mientras que al hornearlos incrementa ligeramente la concentración de oxalatos.

Los niveles de oxalato que presenta la Oca son mucho menores comparado con otros alimentos como la espinaca (Jaworska, 2005), carambola (Sá et al., 2019); presenta similar concentración de oxalatos que el cacao y sus derivados (Schroder et al., 2011). La Oca presenta mayor concentración de oxalatos en comparación a frutas (Nguyễn et al., 2013), cereales (Siener et al., 2006), otros tubérculos (Choquechambi et al., 2019) y algunas verduras (Akhtar et al., 2011).

Mientras que el ácido orgánico más alto presente en la Oca expresado en malato es mucho mayor comparado con otros tubérculos como el isaño, yacon y arracacha (Choquechambi et al., 2019). Un estudio en accesiones de yuca realizado por Uarrota (Uarrota et al., 2016) muestra que los valores de ácido málico respecto a yuca recién cosechada disminuye cuando transcurren los días de post-cosecha, mientras que la concentración de ácido succínico no sufre cambios significativos (Uarrota et al., 2016). La concentración de malatos en papa presente varía entre 250 – 710 mg por cada 100 g de muestra pero disminuye cuando se realiza el tratamiento con ozono (Piikki et al., 2003).

5.5 Posibles mecanismos de endulzamiento

Hasta la fecha no se conoce con certeza como ocurre el endulzamiento en los tubérculos después de ser cosechados, excepto para la papa ya que su endulzamiento es provocado principalmente por el almacenamiento a bajas temperaturas y que activa su expresión génica y provoca la acumulación de azúcares como glucosa y fructosa generados por la degradación de su almidón (Knowles et al., 2009; Tai et al., 2020). En el caso de la Oca posee un proceso peculiar ya que su endulzamiento es estimulado en pocos días por la radiación solar, lo cual no se observa en otros tubérculos. Por lo que surge la pregunta ¿De dónde y cómo aumentan los azúcares después de la exposición solar? Uno de los mecanismos más citados en algunos manuscritos, indican que el dulzor de la Oca proviene de la degradación de su almidón, provocada por enzimas (Chuquilin-Goicochea et al., 2021; Hermann et al., 2000).

Según Hermann y Erazo (Hermann et al., 2000) después de 10 días de exposición solar se reporta la reducción de aproximadamente la tercera parte del almidón inicial e incrementa la concentración de azúcares comprobando así el aumento de sus sólidos solubles, donde la sacarosa aumenta considerablemente mientras que la concentración de fructosa y glucosa en algunas variedades se mantiene y en otras se incrementa ligeramente.

Como se sabe, el almidón está compuesto por unidades de glucosa con enlaces α -(1,4) y α -(1,6) (Bertoft, 2017) por lo que si existiera una degradación del almidón, la concentración de glucosa debería aumentar considerablemente y no así la de sacarosa, por lo que esta teoría debe ser investigarla con mayor profundidad.

Por otra parte, tampoco se debe descartar que un incremento de fructosa en la Oca podría ser debido a la degradación de los fructooligosacáridos presentes en accesiones de Oca similares al del presente estudio, donde se evidenció la presencia de fructooligosacáridos entre 7.27 a 7.61 g por cada 100 g de Oca (Jiménez et al., 2014).

Otra mecanismo posible que se propone es que el endulzamiento de la Oca está en función a la radiación, estudios previos demostraron que los entornos de luz o de radiación solar influye en la composición química de azúcares mediante la regulación y estimulación enzimática y se evidenció un incremento significativo de azúcares solubles como glucosa, fructosa y sacarosa en plantines de lechuga y tomate después de la iluminación emitida por un diodo emisor de luz (LED) roja monocromática, debido a que se promueve la actividad de enzimas como la invertasa ácida e invertasa neutra (Xiao-li Chen et al., 2019; Xiao li Chen et al., 2021; Y. Li et al., 2017). Es necesario realizar mayores estudios para describir este fenómeno.

Si bien hasta la fecha se desconoce el mecanismo de endulzamiento de la Oca; uno de los mecanismos de endulzamiento más estudiado en tubérculos es de la papa donde se sabe que este se endulza por la inactivación de las enzimas como la fosfofructoquinasa y catalizada por la enzima sacarosa fosfato sintasa, donde la mayor acumulación de sacarosa es más pronunciada a temperaturas $< 4\text{ }^{\circ}\text{C}$ (Hammond et al., 1990; Pollock et al., 1975).

Mediante el análisis de diferentes rutas metabólicas que implican a azúcares y ácidos orgánicos en otros alimentos (Benkeblia, N., Alexopoulos, A.A. and Passam, 2008; Cai et

al., 2018; Koshiro et al., 2015; Ma et al., 2019), se pudo combinar y se presenta una propuesta biosintética (figura 13) para la Oca, que de cierta manera explicaría y daría un pensamiento lógico al incremento de los azúcares y el cambio de concentración en los ácidos orgánicos.

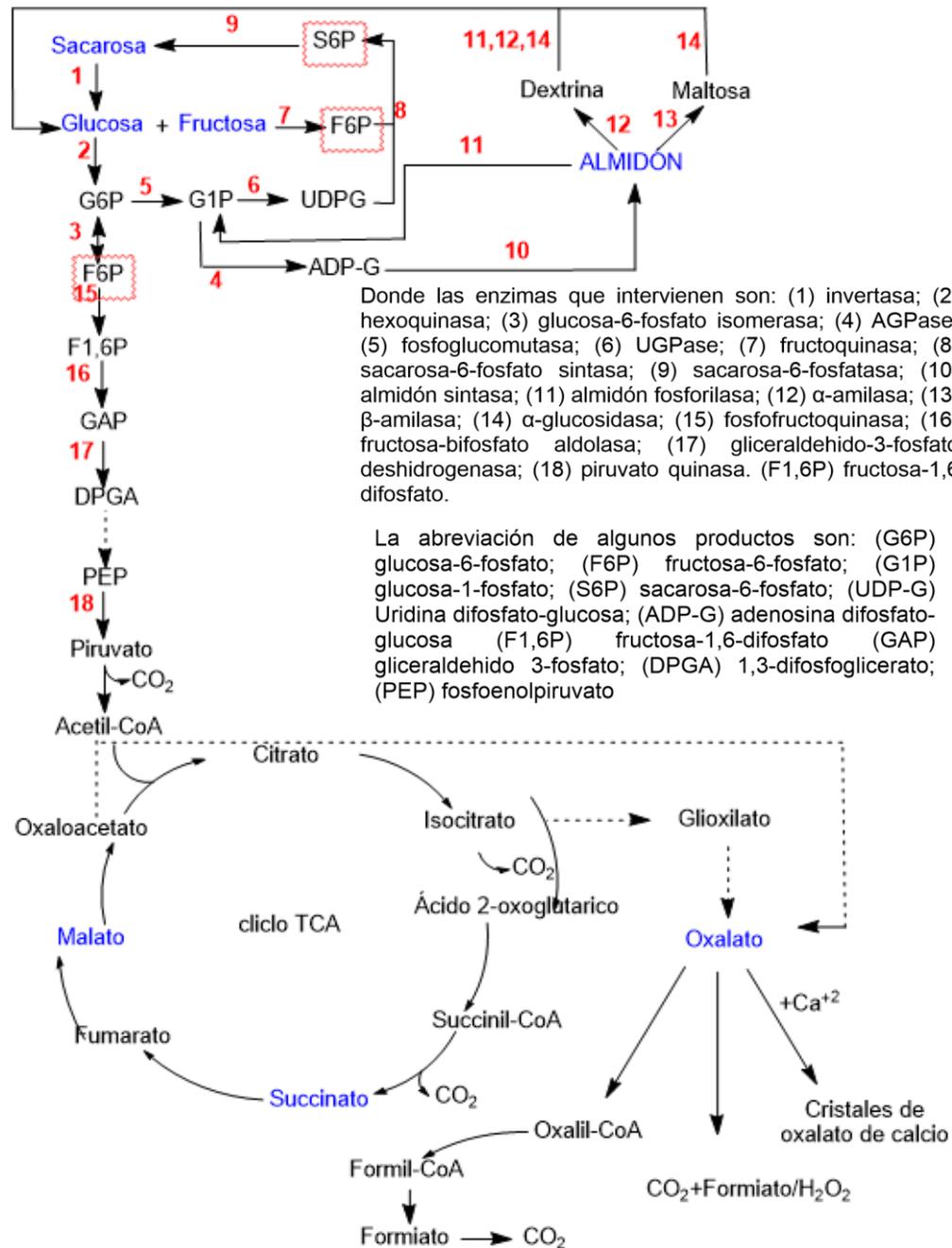


Figura 13. Posible ruta biosintética que atraviesan los azúcares y ácidos orgánicos.

Fuente: EP

5.6 Análisis estadístico

Se realizó un análisis de componentes principales, que se presenta en la figura 14, donde están consideradas todas las muestras y los 20 parámetros estudiados. PC1 y PC2 mostraron un 68% de varianza total, se observa que los polifenoles, oxalatos, ensayo FRAP y oxalatos poseen cierta correlación, pero son inversas a amilopectina y malato.

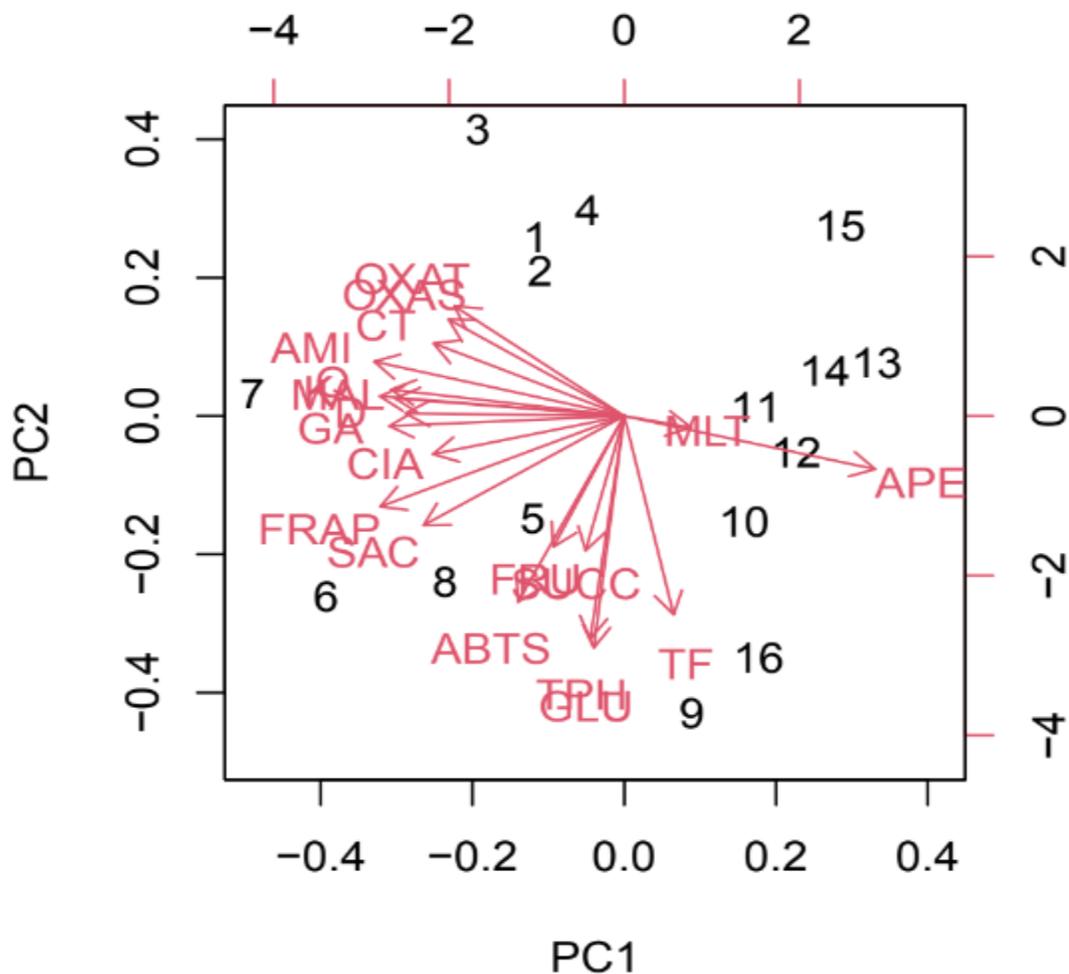


Figura 14. Distribución PCA representado por 16 muestras. Fuente EP.

1-4 (Ocas frescas), 5-8 (asoleadas), 9-12 (K. blanca), 13-16 (K. Negra). *Abreviaciones: OXAS (oxalatos solubles), OXAT (Oxalatos totales), SAC (sacarosa), GLU (glucosa), FRU (Fructosa), TPH (fenoles totales), TF (Flavonoides totales), SUCC (succinatos), MLT (malatos), APE (amilopectina), AMI (amilosa), GA (ácido gálico), CT (catequina), Q (quercetina), K (kaempferol), MAL (malvidina), CIA (cianidina), D (delfidina).

Tabla 15. Correlaciones más significativas

<i>Relación</i>	Coefficiente de correlación	de Valor de <i>p</i>
<i>FRAP-ABTS</i>	0.699	<0.0001
<i>FRAP-TPH</i>	0.539	0.001
<i>ABTS-TPH</i>	0.752	<0.0001
<i>ABTS-TF</i>	0.750	<0.0001
<i>TPH-TF</i>	0.866	<0.0001
<i>Ácido gálico-FRAP</i>	0.633	<0.0001
<i>Catequina-FRAP</i>	0.519	0.002
<i>Quercetina-FRAP</i>	0.739	<0.0001
<i>Kaempferol-FRAP</i>	0.778	<0.0001
<i>Delfidina-FRAP</i>	0.689	<0.0001
<i>Cianidina-FRAP</i>	0.501	0.003
<i>Malvidina-FRAP</i>	0.768	<0.0001
<i>Amilosa-FRAP</i>	0.605	<0.0001
<i>Amilopectina-FRAP</i>	0.605	<0.0001
<i>Glucosa-ABTS</i>	0.560	0.001
<i>Sacarosa-ABTS</i>	0.621	<0.0001
<i>Glucosa-TPH</i>	0.527	0.02
<i>Glucosa-Fructosa</i>	0.710	<0.0001
<i>Sacarosa-FRAP</i>	0.722	<0.0001
<i>Sacarosa-Acido Gálico</i>	0.622	<0.0001
<i>Sacarosa-Quercetina</i>	0.550	0.001
<i>Sacarosa-Kaempferol</i>	0.518	0.002
<i>Sacarosa-Delfidina</i>	0.472	0.006
<i>Sacarosa-Cianidina</i>	0.531	0.002
<i>Sacarosa-Malvidina</i>	0.490	0.004
<i>Ácido gálico-Catequina</i>	0.75	<0.0001
<i>Ácido gálico-Quercetina</i>	0.656	<0.0001
<i>Ácido gálico-Kaempferol</i>	0.513	0.003
<i>Ácido gálico-Cianidina</i>	0.855	<0.0001
<i>Ácido gálico-amilosa</i>	0.673	<0.0001
<i>Ácido gálico-amilopectina</i>	-0.673	<0.0001

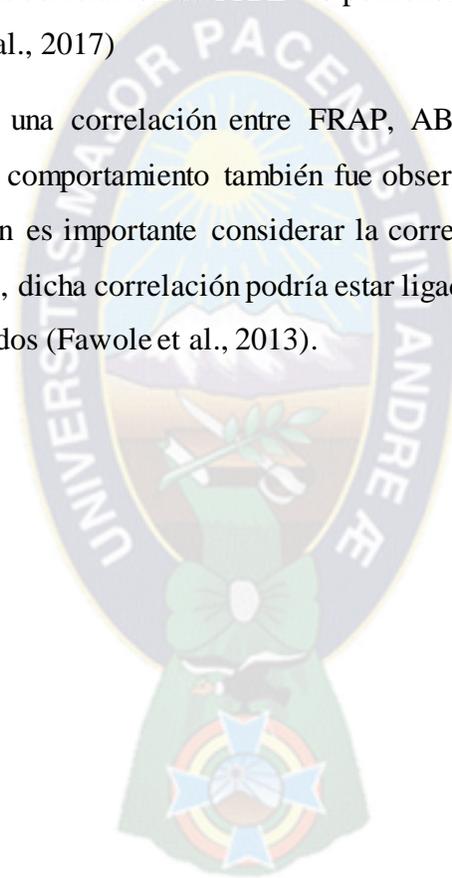
Fuente: EP

Se puede evidenciar en la figura 14 y tomando en cuenta sus numeraciones, las Ocas frescas 1-4 tienden a formar un clúster, con tendencia a una mayor concentración de oxalatos, mientras que en el grupo de Ocas asoleadas 5-8 se podrían relacionar con una mayor afinidad a los ensayos antioxidantes y a los azúcares, excepto por la Oca fresca 7 (ORO) que aparentemente se sale de este grupo. Mientras que los datos para khaya blanca 9-12, están relacionadas con mayor contenido de amilopectina y malatos excepto 9 (KB) que presenta afinidad con flavonoides totales, por último las khayas negras 13-16, están

contrariamente a la mayoría de las variables, pero van relacionados con la amilosa y amilopectina.

También se realizaron las correlaciones estadísticas de mayor significancia a $p < 0.05$ como se observa en la tabla 15, los valores que mayor correlación lineal poseen son ABTS vs FRAP, ABTS vs TPH, TF vs TPH, como también se reportó en estudios previos (Fawole et al., 2013; Peñarrieta et al., 2008) también se evidenció una buena correlación entre los diferentes polifenoles Vs FRAP pero no ocurrió lo mismo con ABTS, estudios previos indican que la correlación de FRAP vs polifenoles es mejor que la de ABTS vs polifenoles (D. Li et al., 2017)

También se observó una correlación entre FRAP, ABTS, FT TPH con los azúcares sacarosa y glucosa tal comportamiento también fue observado en otros alimentos (Fawole et al., 2013). También es importante considerar la correlación de sacarosa con diversos compuestos fenólicos, dicha correlación podría estar ligado a que la sacarosa proviene de compuestos glicosilados (Fawole et al., 2013).



CAPITULO VI

6. CONCLUSIONES

- A partir de los resultados obtenidos en el presente estudio se pudo determinar que el proceso de asoleo y de deshidratación en muestras de Oca, influye de manera positiva en sus propiedades químicas y nutricionales, entre ellas se puede mencionar la reducción de amilosa en las Ocas después de la deshidratación (khaya), lo que podría convertir a la Oca en un alimento más tolerable para personas que sufren diabetes o con algún trastorno metabólico. La reducción de los anti-nutrientes como el oxalato tras el asoleo, evita de cierta manera el riesgo de este alimento por la presencia de oxalatos. El incremento de azúcares libres tras el asoleado, contribuiría a que este alimento sea más aceptado por los consumidores y de esta forma tratar de iniciar su proceso de exportación a otros países fuera la región andina. La capacidad antioxidante de la Oca y su incremento después del asoleo a través de sus diferentes polifenoles, podría ayudar a la homeostasis del organismo de los consumidores y de esta manera contribuir a la prevención de enfermedades crónicas y metabólicas.
- El cambio de las propiedades de este alimento por el proceso de asoleo, podrían estar estrechamente ligado con la ruta metabólica presente en este alimento, dónde el incremento de los azúcares estaría relacionado con la degradación del almidón y que, mediante las características de cada tubérculo, regula la concentración de glucosa, sacarosa y fructosa. Pero para que este mecanismo se active lo más probable que esté relacionado a una estimulación externa como podría ser la radiación o un proceso térmico. Lo mismo para la disminución de oxalatos e incremento de malatos y succinatos.
- El proceso de deshidratación natural para la obtención de khayas, fue realizado de manera satisfactoria, donde evidentemente la khaya negra es la que posee mayor pérdida de sus propiedades respecto a la Oca fresca ya que es sometido a un

proceso más extenuante por los 50 días que debe permanecer bajo el agua, donde varios compuestos solubles como los azúcares, polifenoles se extraen de manera involuntaria. Pero lo más interesante es que la khaya negra no presenta rastros de sacarosa y fructosa, pero sí de glucosa, la cual podría obtenerse por la radiación durante el proceso de secado al aire libre. Mientras que la khaya blanca que debe soportar temperaturas bajo cero para su liofilización natural pierde sus antocianinas principales, debido a que están varios días expuestos a la radiación solar.

- Una de las características más interesantes fue que todas las muestras tienden a aumentar en gran medida sus azúcares libres (sólidos solubles) después de un tiempo determinado de exposición solar; por lo tanto, en muestras frescas de Oca se estima que el tiempo de endulzamiento óptimo estaría entre 5-10 días, mientras que para muestras de Oca comerciales estaría entre 3-7 días dependiendo su estado inicial; por lo que el uso del refractómetro de mano se podría convertir en una herramienta útil para productores y comerciantes de Oca, ya que mostrarían a sus clientes que sus productos están en un grado de endulzado óptimo ($> 11^{\circ}\text{Brix}$) para consumo.

CAPÍTULO VII

7. RECOMENDACIONES

- La Oca es un alimento milenario que actualmente se encuentra infravalorado pero que cuenta con diversas propiedades nutricionales y funcionales, por lo tanto, se recomienda continuar con su revalorización a través de la difusión e investigación científica.
- Se recomienda realizar el mismo estudio con las variedades luki, que son Ocas difíciles de encontrar, pero son característicos por ser muy amargas debido a su mayor nivel de oxalatos
- Se recomienda realizar un análisis fotoquímico riguroso para encontrar que tipo de radiación es la causante de la activación de las enzimas de este alimento.
- Se recomienda realizar un análisis térmico controlado para descartar o confirmar si la activación de las enzimas de este alimento se debe a la temperatura.
- Se recomienda realizar un análisis de carotenoides y antocianinas totales antes y después del proceso de asoleado esto con el fin de ver si el cambio de color que se observó en las Ocas está relacionado con estos colorantes naturales.
- Se recomienda realizar estudios proteómicos en Ocas, para poder determinar que proteínas y enzimas contiene este alimento y de esta manera realizar una ruta biosintética más acertada.
- Realizar un estudio más profundo de las khayas y analizar si las enzimas siguen activas durante este proceso.
- Se podría realizar un análisis más robusto de la relación amilosa/amilopectina, por ejemplo, por AF4, ya que los análisis espectrofotométricos poseen ciertas falencias.
- Se debe aislar la proteína que causa la disminución de oxalatos, y aplicarlos en otros alimentos con alto nivel de oxalatos como la espinaca, almendra y chocolate.

REFERENCIAS

- Adu-Kwarteng, E., Sakyi-Dawson, E. O., Ayernor, G. S., Truong, V. Den, Shih, F. F., & Daigle, K. (2014). Variability of sugars in staple-type sweet potato (*Ipomoea batatas*) cultivars: The effects of harvest time and storage. *International Journal of Food Properties*, 17(2), 410–420. doi: 10.1080/10942912.2011.642439
- Akhtar, M. S., Israr, B., Bhatti, N., & Ali, A. (2011). Effect of Cooking on Soluble and Insoluble Oxalate Contents in Selected Pakistani Vegetables and Beans. *International Journal of Food Propertie*, 14(1), 241–249. doi: <https://doi.org/10.1080/10942910903326056>
- Al-Farsi, M., Alasalvar, C., Morris, A., Baron, M., & Shahidi, F. (2005). Comparison of antioxidant activity, anthocyanins, carotenoids, and phenolics of three native fresh and sun-dried date (*Phoenix dactylifera* L.) varieties grown in Oman. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 53(19), 7592–7599. doi: 10.1021/jf050579q
- Albihn, P. B. E., & Savage, G. P. (2001). The effect of cooking on the location and concentration of oxalate in three cultivars of New Zealand-grown Oca (*Oxalis tuberosa* Mol). *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 81(10), 1027–1033. doi: 10.1002/jsfa.890
- 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. doi: 10.1016/j.chroma.2004.08.074
- American-Dietetic-Association. (2005). Urolithiasis/Urinary Stones. In ADA Nutrition Care Manual. Chicago, IL, USA.
- Aristizábal, J., & Sánchez, T. (2007). Guía técnica para producción y análisis de almidón de yuca. In FAO (Vol. 163). doi: 9253056770-9789253056774
- Benkeblia, N., Alexopoulos, A.A. and Passam, H. C. (2008). Physiological and biochemical regulation of dormancy and sprouting in potato tubers (*Solanum tuberosum* L.). *Fruit, Veg Cereal Sci Biotechnol. Fruit, Vegetable and Cereal Science and Biotechnology*, 2(1), 54–68.
- Berli, F. J., Fanzone, M., Piccoli, P., & Bottini, R. (2011). Solar UV-B and ABA are involved in phenol metabolism of *Vitis vinifera* L. Increasing biosynthesis of berry skin polyphenols. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 59(9), 4874–4884. doi: 10.1021/jf200040z
- Bertoft, E. (2017). Understanding starch structure: Recent progress. In *Agronomy* (Vol. 7, Issue 3, p. 56). doi: 10.3390/agronomy7030056
- Bradbury, E. J., & Emshwiller, E. (2011). The Role of Organic Acids in the Domestication of *Oxalis tuberosa*: A New Model for Studying Domestication Resulting in Opposing Crop Phenotypes. *Economic Botany*, 65(1), 76–84. doi: 10.1007/s12231-010-9141-0
- Brito, B., Espin, S., Villacrés, E., Merino, F., & Soto, L. (2003). *El endulzamiento de la Oca (Oxalis tuberosa) una alternativa para la agroindustria rural en el Ecuador*.
- Cai, X., Ge, C., Xu, C., Wang, X., Wang, S., & Wang, Q. (2018). Expression analysis of oxalate metabolic pathway genes reveals oxalate regulation patterns in spinach. *Molecules*, 23(6), 1286. doi: 10.3390/molecules23061286

- Campos, D., Betalleluz-Pallardel, I., Chirinos, R., Aguilar-Galvez, A., Noratto, G., & Pedreschi, R. (2012). Prebiotic effects of yacon (*Smallanthus sonchifolius* Poepp. & Endl), a source of fructooligosaccharides and phenolic compounds with antioxidant activity. *Food Chemistry*, *135*(3), 1592–1599. doi: 10.1016/j.foodchem.2012.05.088
- 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* (1st ed., Vol. 84, pp. 287–343). Elsevier Inc. doi: 10.1016/bs.afnr.2017.12.005
- Campos, D., Noratto, G., Chirinos, R., Arbizu, C., ROca, W., & Cisneros-Zeballos, L. (2006). Antioxidant capacity and secondary metabolites in four species of Andean tuber crops: native potato (*Solanum* sp.), mashua (*Tropaeolum tuberosum* Ruiz & Pav 'on), Oca (*Oxalis tuberosa* Molina) and ulluco (*Ullucus tuberosus* Caldas). *Journal of the Science of Food and Agriculture*, *86*, 1481–1488. doi: <https://doi.org/10.1002/jsfa.2529>
- Castañeta, G., Castañeta, R., & Peñarrieta, J. M. (2022). Cambios fisicoquímicos por exposición a la radiación solar en tubérculos de *Oxalis tuberosa*, “Oca” cultivados en Bolivia. *Rev. Bol. Quim.*, *39*(2), 44–55. doi: 10.34098/2078-3949.39.2.3
- Chen, Xiao-li, Wang, L., Li, T., Yang, Q., & Guo, W. (2019). Sugar accumulation and growth of lettuce exposed to different lighting modes of red and blue LED light. *Scientific Reports*, *April*, 1–10. doi: 10.1038/s41598-019-43498-8
- Chen, Xiao li, Li, Y. li, Wang, L. chun, & Guo, W. zhong. (2021). Red and blue wavelengths affect the morphology, energy use efficiency and nutritional content of lettuce (*Lactuca sativa* L.). *Scientific Reports*, *11*(1), 1–12. doi: 10.1038/s41598-021-87911-7
- 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. doi: 10.1016/j.foodchem.2008.08.015
- Choquechambi, L. A., Callisaya, I. R., Ramos, A., Bosque, H., Mújica, A., Jacobsen, S. E., Sørensen, M., & Leidi, E. O. (2019). Assessing the nutritional value of root and tuber crops from Bolivia and Peru. *Foods*, *8*(11), 526. doi: 10.3390/foods8110526
- Chuquilin-Goicochea, R. C., Carolim, M., & Teodoro, J. (2021). Propiedades funcionales de productos tradicionales congelados y secados al sol de Oca (*Oxalis tuberosa* Molina) y ulluco (*Ullucus tuberosus* Caldas): Una revisión. *Puriq*, *2*(3), 363–387.
- Clemens, R. A., Jones, J. M., Kern, M., Lee, S. Y., Mayhew, E. J., Slavin, J. L., & Zivanovic, S. (2016). Functionality of Sugars in Foods and Health. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, *15*(3), 433–470. doi: 10.1111/1541-4337.12194
- Condori, P., Almanza, J., Gonzales, R., & García, W. (2003). *Producción de Oca (Oxalis tuberosa), papalisa (Ullucus tuberosus) e isaño (Tropaeolum tuberosum): Desarrollo de estrategias de manejo de plagas y enfermedades*. Cochabamba, Bolivia: PROIMPA.
- Cornejo Yujra, C. R. (2016). *Evaluación de variables cuantitativas y cualitativas de tubérculos frescos y asoleados de diez clones de Oca (oxalis tuberosa) en el centro experimental Kiphakiphani*. Universidad Mayor de San Andrés.
- Duarte-Delgado, D., Núñez-López, C. E., Narváez-Cuenca, C. E., Restrepo-Sánchez, L. P., Melo, S. E., Sarmiento, F., Kushalappa, A. C., & 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. doi: 10.1002/jsfa.7783
- Dubois, M., Savage, G. P., & Martin, R. J. (2007). The effect of cooking on the composition and colour of New Zealand grown Oca. *Food Chemistry*, 104(2), 768–773. doi: 10.1016/j.foodchem.2006.12.022
- Emshwiller, E., Theim, T., Grau, A., Nina, V., & Terrazas, F. (2009). Origins of domestication and polyploidy in Oca (*Oxalis tuberosa*; Oxalidaceae). 3. AFLP data of Oca and four wild, tuber-bearing taxa. *American Journal of Botany*, 96(10), 1839–1848. doi: 10.3732/ajb.0800359
- Ercoli, S., Parada, J., Bustamante, L., Hermosín-Gutiérrez, I., Contreras, B., Cornejo, P., & Ruiz, A. (2021). Noticeable quantities of functional compounds and antioxidant activities remain after cooking of colored fleshed potatoes native from southern Chile. *Molecules*, 26(2), 314. doi: 10.3390/molecules26020314
- Ermer, T., Nazzal, L., Tio, M. C., Waikar, S., Aronson, P. S., & Knauf, F. (2023). Oxalate homeostasis. *Nature Reviews Nephrology*, 19, 123–138. doi: <https://doi.org/10.1038/s41581-022-00643-3>
- Fawole, O. A., & Opara, U. L. (2013). Effects of maturity status on biochemical content, polyphenol composition and antioxidant capacity of pomegranate fruit arils (cv. 'Bhagwa'). *South African Journal of Botany*, 85, 23–31. doi: 10.1016/j.sajb.2012.11.010
- Flores, T., Alape-giro, A., Flores-di, M., Flores, H. E., Medicina, F. De, Rica, U. D. C., Jose, S., & A, C. R. A. (2002). Ocatin . A Novel Tuber Storage Protein from the Andean Tuber Crop Oca with Antibacterial and Antifungal Activities 1. *Plant. Physiol.*, 128(April), 1291–1302. doi: 10.1104/pp.010541.(1988)
- 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. doi: 10.1016/0308-8146(89)90030-7
- Hames, B., Ruiz, R., Scarlata, C., Sluiter, A., Sluiter, J., & Templeton, D. (2008). *Preparation of Samples for Compositional Analysis Laboratory Analytical Procedure (LAP)*. Colorado, USA.
- Hammond, J. B. W., Burrell, M. M., & Kruger, N. J. (1990). Effect of low temperature on the activity of phosphofructokinase from potato tubers. *Planta*, 180(4), 613–616. doi: 10.1007/BF02411461
- Harrill, R. (1994). *Using a refractometer to test the quality of fruits and vegetables* (Pineknoll (ed.)).
- Hermann, M., & Erazo, C. (2000). Compositional Changes of Oca Tubers Following Postharvest Exposure to Sunlight. In Scientist and farmer partners in research for the 21st century Program Report: 1999–2000 (pp. 391–396).
- Huanca Lopez, S. (2017). *Determinación de la relación entre estructura y rendimiento de jarabe de glucosa a partir de almidón extraído de diferentes tubérculos del departamento de La Paz* [Universidad Mayor de San Andrés]. Retrieved from <https://repositorio.umsa.bo/handle/123456789/23010>
- INE. (2022). *Bolivia – Producción Año Agrícola por Departamento, 1984 – 2021*. Retrieved from <https://www.ine.gob.bo/>

- Ipgr/Cip. (2001). *Descriptores de Oca Oxalis tuberosa Mol.* (I.-C. I. de la P. Instituto Internacional de recursos Fitogenéticos, Roma (ed.)). Lima, Perú.
- Jaworska, G. (2005). Content of nitrates, nitrites, and oxalates in New Zealand spinach. *Food Chemistry*, 89(2), 235–242. doi: 10.1016/j.foodchem.2004.02.030
- Jiménez, M. E., & Sammán, N. (2014). Caracterización química y cuantificación de fructooligosacáridos, compuestos fenólicos y actividad antirradical de tubérculos y raíces andinos cultivados en el noroeste de Argentina. *Archivos Latinoamericanos de Nutrición*, 64(2), 131–138.
- Kays, S. J., Gaines, T. P., & Kays, W. R. (1979). Changes in the composition of the tuber crop *Oxalis tuberosa* Molina during storage. *Scientia Horticulturae*, 11(1), 45–50. doi: 10.1016/0304-4238(79)90053-0
- Khajehei, F., Merkt, N., Claupein, W., & Graeff-Hoeningner, S. (2018). Yacon (*smallanthus sonchifolius* poepp. And endl.) as a novel source of health promoting compounds: Antioxidant activity, phytochemicals and sugar content in flesh, peel, and whole tubers of seven cultivars. *Molecules*, 23(2), 1–18. doi: 10.3390/molecules23020278
- Kim, D. J., Kim, H., Kim, M., & Lee, J. (2007). Analysis of oxalic acid of various vegetables consumed in Korea. *Food Science and Biotechnology*, 16(4), 650–654.
- King, S. R., & Gershoff, S. N. (1987). Nutritional evaluation of three underexploited andean tubers: *Oxalis tuberosa* (Oxalidaceae), *Ullucus tuberosus* (Basellaceae), and *Tropaeolum tuberosum* (Tropaeolaceae). *Economic Botany*, 41(4), 503–511. doi: 10.1007/BF02908144
- Knowles, N. R., Driskill, E. P., & Knowles, L. O. (2009). Sweetening responses of potato tubers of different maturity to conventional and non-conventional storage temperature regimes. *Postharvest Biology and Technology*, 52(1), 49–61. doi: 10.1016/j.postharvbio.2008.08.015
- Koshiro, Y., Jackson, M. C., Nagai, C., & Ashihara, H. (2015). Changes in the content of sugars and organic acids during ripening of Coffea arabica and Coffea canephora fruits. *European Chemical Bulletin*, 4(8), 378–383. Retrieved from <https://www.researchgate.net/publication/281217195>
- Lai, Y. C., Huang, C. L., Chan, C. F., Lien, C. Y., & Liao, W. C. (2013). Studies of sugar composition and starch morphology of baked sweet potatoes (*Ipomoea batatas* (L.) Lam). *Journal of Food Science and Technology*, 50(6), 1193–1199. doi: 10.1007/s13197-011-0453-6
- Leidi, E. O., Altamirano, A. M., Mercado, G., Rodriguez, J. P., Ramos, A., Alandia, G., Sørensen, M., & Jacobsen, S. E. (2018). Andean roots and tubers crops as sources of functional foods. *Journal of Functional Foods*, 51(October), 86–93. doi: 10.1016/j.jff.2018.10.007
- León Marroú, E. M., Villacorta González, M. Y., & Pagador Flores, S. E. (2011). Composición química de “Oca” (*Oxalis tuberosa*), “arracacha” (*Arracacia xanthorrhiza*) y “tarwi” (*Lupinus mutabilis*). Formulación de una mezcla base para productos alimenticios. *Revista Venezolana de Ciencia y Tecnología de Alimentos*, 2(2), 239–252.
- Li, D., Li, B., Ma, Y., Sun, X., Lin, Y., & Meng, X. (2017). Polyphenols, anthocyanins, and flavonoids contents and the antioxidant capacity of various cultivars of highbush and half-high blueberries. *Journal of Food Composition and Analysis*, 62, 84–93. doi: 10.1016/j.jfca.2017.03.006
- Li, Y., Xin, G., Wei, M., Shi, Q., Yang, F., & Wang, X. (2017). Carbohydrate accumulation and

- sucrose metabolism responses in tomato seedling leaves when subjected to different light qualities. *Scientia Horticulturae*, 225(March), 490–497. doi: 10.1016/j.scienta.2017.07.053
- Lim, T. K. (2016). *Oxalis tuberosa*. In Edible Medicinal and Non-Medicinal Plants (Vol. 11, pp. 1–392). Springer International Publishing Switzerland. doi: 10.1007/978-3-319-26062-4
- Liu, C., Han, X., Cai, L., Lu, X., Ying, T., & Jiang, Z. (2011). Postharvest UV-B irradiation maintains sensory qualities and enhances antioxidant capacity in tomato fruit during storage. *Postharvest Biology and Technology*, 59(3), 232–237. doi: 10.1016/j.postharvbio.2010.09.003
- Ma, B., Ding, Y., Li, C., Li, M., Ma, F., & Yuan, Y. (2019). Comparative proteomic analysis reveals key proteins linked to the accumulation of soluble sugars and organic acids in the mature fruits of the wild *Malus* species. *Plants*, 8(11), 488. doi: 10.3390/plants8110488
- Medina Ochoa, M. A. (2021). *Efectos del tiempo de soleado de la Oca (oxalis tuberosa), sobre la capacidad antioxidante y concentración de los azúcares*. Universidad Nacional de Juliaca.
- Míguez Bernárdez, M. M., De la Montaña Miguélez, J., & García Queijeiro, J. (2004). HPLC determination of sugars in varieties of chestnut fruits from Galicia (Spain). *Journal of Food Composition and Analysis*, 17(1), 63–67. doi: 10.1016/S0889-1575(03)00093-0
- Mollinedo, P., & Peñarrieta, J. M. (2014). Anthocyanins, Antioxidant Capacity and Content of Flavonoids and Other Phenolic Compounds Oca (*Oxalis Tuberosum*) an Andean Tuber. *Austin Journal of Nutrition & Metabolism*, 1(2), 4.
- Morales Garzón, F. J. (2007). Sociedades precolombinas asociadas a la domesticación y cultivo de la papa (*Solanum tuberosum*) en Sudamérica. *Revista Latinoamericana de La Papa*, 14(1), 1–9. Retrieved from <http://ojs.papaslatinas.org/index.php/rev-alap/article/view/139/142>
- Mukherjee, P. K. (2019). Quality Evaluation of Herbal Medicines: Challenges and Opportunities. In *Quality Control and Evaluation of Herbal Drugs* (pp. 53–77). doi: 10.1016/b978-0-12-813374-3.00003-x
- Musilova, J., Lidikova, J., Vollmannova, A., Frankova, H., Urminska, D., Bojnanska, T., & Toth, T. (2020). Influence of Heat Treatments on the Content of Bioactive Substances and Antioxidant Properties of Sweet Potato (*Ipomoea batatas* L.) Tubers. *Journal of Food Quality*, 8856260. doi: 10.1155/2020/8856260
- Nguyen, C. T. T., Kim, J., Yoo, K. S., Lim, S., & Lee, E. J. (2014). Effect of prestorage UV-A, -B, and -C radiation on fruit quality and anthocyanin of “Duke” blueberries during cold storage. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 62(50), 12144–12151. doi: 10.1021/jf504366x
- Nguyễn, H. V., & Savage, G. P. (2013). Oxalate content of New Zealand grown and imported fruits. *Journal of Food Composition and Analysis*, 31(2), 180–184. doi: 10.1016/j.jfca.2013.06.001
- Nina Gutiérrez, A. P., & Murillo García, R. (2018). Evaluación del comportamiento agronómico de tres Ecotipos de Oca (*Oxalis tuberosa*) y revalorización de las prácticas alimenticias ancestrales de la comunidad Huatapampa del municipio de Tito Yupanqui. *Apthapi*, 4(3), 1324–1333.
- Ore Areche, F., Aguirre Huayhua, L. L., & Ticsihua Huaman, J. (2020). Efecto del tiempo y temperatura en la deshidratación de Oca (*Oxalis Tuberosa* Mol.) Mediante lecho fluidizado

- para la obtención de harina. *Alfa, Revista de Investigación En Ciencias Agronómicas y Veterinarias*, 4(12), 200–210. doi: 10.33996/revistaalfa.v4i12.84
- Paniagua-Zambrana, N. Y., Bussmann, R. W., & Romero, C. (2020). *Oxalis tuberosa* Molina Oxalidaceae. In *Ethnobotany of Mountain Regions* (pp. 1345–1351). doi: 10.1007/978-3-319-77093-2_216-1
- Peñarrieta, J. M., Alvarado, J. A., Åkesson, B., & Bergenståhl, B. (2008). Total antioxidant capacity and content of flavonoids and other phenolic compounds in canihua (*Chenopodium pallidicaule*): An Andean pseudocereal. *Molecular Nutrition and Food Research*, 52(6), 708–717. doi: 10.1002/mnfr.200700189
- Peñarrieta, J. M., Alvarado, J. A., Åkesson, B., & Bergenståhl, B. (2005). Total Antioxidant Capacity in Andean Food Species From Bolivia. *Rev. Bol. Quim.*, 22(1), 89–93. Retrieved from <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=426339667014>
- Peñarrieta, J. M., Alvarado, J. A., Bergenståhl, B., & Åkesson, B. (2007). Spectrophotometric Methods for the Measurement of Total Phenolic Compounds and Total Flavonoids in Foods. *Rev. Bol. Quim.*, 24(1), 5–9.
- Peñarrieta, J. M., Alvarado K, J. A., Bravo, J. A., & Bergenståhl, B. (2012). Chuño and tunta; The traditional andean sun-dried potatoes. In *Potatoes: Production, Consumption and Health Benefits* (pp. 1–12). Nova Science Publishers, Inc.
- Peñarrieta, J. M., Salluca, T., Tejada, L., Alvarado, J. 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. doi: 10.1016/j.jfca.2010.10.006
- Piikki, K., Vorne, V., Ojanperä, K., & Pleijel, H. (2003). Potato tuber sugars, starch and organic acids in relation to ozone exposure. *Potato Research*, 46, 67–79. doi: 10.1007/bf02736104
- Pissard, A., Arbizu, C., Ghislain, M., Faux, A. M., Paulet, S., & Bertin, P. (2008). Congruence between morphological and molecular markers inferred from the analysis of the intramorphotype genetic diversity and the spatial structure of *Oxalis tuberosa* Mol. *Genetica*, 132(1), 71–85. doi: 10.1007/s10709-007-9150-9
- Pollock, C. J., & ap Rees, T. (1975). Activities of enzymes of sugar metabolism in cold-stored tubers of *Solanum tuberosum*. *Phytochemistry*, 14(3), 613–617. doi: 10.1016/0031-9422(75)83003-2
- Purugganan, M. D., & Fuller, D. Q. (2009). The nature of selection during plant domestication. *Nature*, 457(7231), 843–848. doi: 10.1038/nature07895
- Rawat, S. (2015). Food Spoilage: Microorganisms and their prevention. *Asian Journal of Plant Science and Research*, 5(4), 47–56. Retrieved from www.pelagiaresearchlibrary.com
- Ross, A. B., Savage, G. P., Martin, R. J., & Vanhanen, L. (1999). Oxalates in Oca (New Zealand yam) (*Oxalis tuberosa* Mol.). *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 47(12), 5019–5022. doi: 10.1021/jf990332r
- Sá, R. D., Vasconcelos, A. L., Santos, A. V., Padilha, R. J. R., Alves, L. C., Soares, L. A. L., & Randau, K. P. (2019). Anatomy, histochemistry and oxalic acid content of the leaflets of *Averrhoa bilimbi* and *Averrhoa carambola*. *Revista Brasileira de Farmacognosia*, 29(1), 11–16. doi: 10.1016/j.bjp.2018.09.005

- Sanchez de Lozada, D. (1996). *Heat and moisture dynamics in raised fields of the Lake Titicaca region, Bolivia* [University Microfilms International]. Retrieved from <https://www.proquest.com/openview/bda6da996de85d54635af783ecd46ca3/1?pq-origsite=gscholar&cbl=18750&diss=y>
- Sangketkit, C., Savage, G. P., Martin, R. J., & Mason, S. L. (2001). Oxalate content of raw and cooked Oca (*Oxalis tuberosa*). *Journal of Food Composition and Analysis*, 14(4), 389–397. doi: 10.1006/jfca.2000.0982
- Sangketkit, C., Savage, G. P., Martin, R. J., Mason, S. L., & Vanhanen, L. (1999). Food Contains more than nutrients Oxalates in Oca: a Negative Feature? *2nd South-West Pacific Nutrition and Dietetic Conference*, 44–50.
- Sangketkit, C., Savage, G. P., Martin, R. J., Searle, B. P., & Mason, S. L. (2000). Sensory evaluation of new lines of Oca (*Oxalis tuberosa*) grown in New Zealand. *Food Quality and Preference*, 11(3), 189–199. doi: 10.1016/S0950-3293(99)00050-6
- Savage, G. P., Mason, S. L., & Vanhanen, L. (2008). The effect of storage on the oxalate content of New Zealand grown Oca. *International Journal of Food Science and Technology*, 43(12), 2130–2133. doi: 10.1111/j.1365-2621.2008.01807.x
- Saxena, A. K., Fuentes, X. C., Herbas, R. G., & 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. doi: 10.3389/fpubh.2016.00020
- Schroder, T., Vanhanen, L., & Savage, G. P. (2011). Oxalate content in commercially produced cocoa and dark chocolate. *Journal of Food Composition and Analysis*, 24(7), 916–922. doi: 10.1016/j.jfca.2011.03.008
- Shi, Y., Pu, D., Zhou, X., & Zhang, Y. (2022). Recent Progress in the Study of Taste Characteristics and the Nutrition and Health Properties of Organic Acids in Foods. In *Foods* (Vol. 11, Issue 21). doi: 10.3390/foods11213408
- Siener, R., Honow, R., Voss, S., Seidler, A., & Hesse, A. (2006). Oxalate Content of Cereals and Cereal Products. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 54, 3008–3011. doi: <https://doi.org/10.1021/jf052776v>
- Stegemann, H., Majino, S., & Schmiediche, P. (1988). Biochemical Differentiation of Clones of Oca (*Oxalis tuberosa*, Oxalidaceae) by Their Tuber Proteins and the Properties of These Proteins I. *Economic Botany*, 42(1), 37–44.
- Tai, H. H., Lagüe, M., Thomson, S., Arousseau, F., Neilson, J., Murphy, A., Bizimungu, B., Davidson, C., Deveaux, V., Bègue, Y., Wang, H. Y., Xiong, X., & Jacobs, J. M. E. (2020). Tuber transcriptome profiling of eight potato cultivars with different cold-induced sweetening responses to cold storage. *Plant Physiology and Biochemistry*, 146(November 2019), 163–176. doi: 10.1016/j.plaphy.2019.11.001
- Tapia, M. E., & Fries, A. M. (2007). *Guía de Campo de los Cultivos Andinos*. Lima: FAO y ANP.
- Tejeda, L., Mollinedo, P., Aliaga-Rossel, E., & Peñarrieta, J. M. (2020). Antioxidants and Nutritional Composition of 52 Cultivars of Native Andean Potatoes. *Potato Research*, 63(4), 579–588. doi: 10.1007/s11540-020-09458-w
- Theron, M. M., & Lues, J. F. R. (2010). *Organic acids and food preservation*. New York, USA: CRC Press Taylor & Francis.

- Torres Santa Cruz, E. M., & Torrico Aguilar, J. M. (2004). Caracterización de Diez Variedades de *Oxalis tuberosa* Molina (Oca) y Alternativas de Industrialización. *Investigación & Desarrollo*, 4(1), 75–84. doi: 10.23881/idupbo.004.1-10i
- Uarrotta, V. G., Nunes, E. da C., Peruch, L. A. M., Neubert, E. D. O., Coelho, B., Moresco, R., Domínguez, M. G., Sánchez, T., Meléndez, J. L. L., Dufour, D., Ceballos, H., Becerra Lopez-Lavalle, L. A., Hershey, C., Rocha, M., & Maraschin, M. (2016). Toward better understanding of postharvest deterioration: biochemical changes in stored cassava (*Manihot esculenta* Crantz) roots. *Food Science and Nutrition*, 4(3), 409–422. doi: 10.1002/fsn3.303
- Ugarte, M., & Baudoin, J. P. (2004). *Conservation ex situ de tubérculos andinos y analisis de datos de la diversidad genética de la Oca (Oxalis tuberosa Mol.)*.
- Valdivia, G., Devaux, A., Gonzáles, S., Herbas, J., & Hijmans, R. J. (1999). Desarrollo y Producción de Oca (*Oxalis tuberosa*) e Isaño (*Tropaeolum tuberosum*) Bajo Dos Niveles de Fertilización. *Revista Latinoamericana de La Papa*, 11, 121–135. doi: 10.37066/ralap.v11i1.99
- Venero Peralta, E. (2013). *Determinación de parámetros tecnológicos para la elaboración de mermelada a partir de Oca (Oxalis tuberosa) y Manzana (Pyrus malus)*. Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann.
- Vera, N. G., Espino Manzano, S. O., & Hernandez Hernandez, H. M. (2018). Use of *Oxalis tuberosa* in Gluten-free Baked Goods Manufacture. In *Alternative and Replacement Foods* (Vol. 17, Issue 2009, pp. 167–175). Elsevier Inc. doi: 10.1016/B978-0-12-811446-9.00006-X
- Vieira Araujo, M. M., Braga Caneppele, M. A., & Assis Bianchini, M. de G. (2016). Total alcoholic acidity and pH tests as quality parameters in stored soybean grains 1. *Pesquisa Agropecuária Tropical*, 46(2), 191–196.
- Xu, X., Wu, S., Chen, K., Zhang, H., Zhou, S., Lv, Z., Chen, Y., Cui, P., Cui, Z., & Lu, G. (2023). Comprehensive Evaluation of Raw Eating Quality in 81 Sweet Potato (*Ipomoea batatas* (L.) Lam) Varieties. *Foods*, 12(2), 161. doi: 10.3390/foods12020261
- Yábar-Villanueva, E., Huicho-Espinoza, W., Suazo-Peña, A., Rojas-Zacarías, E., & Álvarez-tolentino. (2023). Biocomponentes y capacidad antioxidante de papas nativas como chuño y tunta bajo diferentes condiciones de temperatura de congelación. *Cienc. Technol. Agropecuaria*, 24(1), e2958. doi: https://doi.org/10.21930/rcta.vol24_num1_art:2958
- Yenque Dedios, J., Lavado Soto, M., & Santos de la Cruz, E. (2008). Proceso de Industrialización a nivel de Planta Piloto de la Oca (*Oxalis Tuberosa*). *Industrial Data*, 11(1), 9–13. doi: 10.15381/idata.v11i1.6042

ANEXOS



ANEXO I

➤ Produccion intelectual a partir del presente trabajo

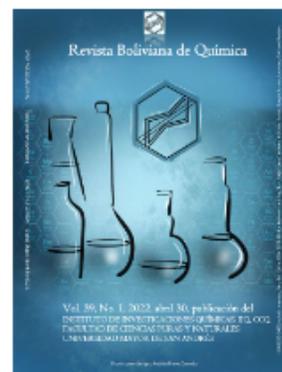
REVISTA BOLIVIANA DE QUÍMICA
ISSN 0250-5460 Rev. Bol. Quím. Paper edition
ISSN 2078-3949 Rev. boliv. quim. Electronic edition
Grover Castañeta et al. RBQ Vol.39, No.2, pp. 44-55, 2022

Received 06 17 2022 39(2); May./Jun. 2022
Accepted 06 26 2022
Published 06 30 2022; DOI:10.34098/2078-3949.39.2.3



CAMBIOS FÍSICOQUÍMICOS POR EXPOSICIÓN A LA RADIACIÓN SOLAR EN TUBÉRCULOS DE *OXALIS TUBEROSA*, “OCA” CULTIVADOS EN BOLIVIA

Received 06 17 2022
Accepted 06 26 2022
Published 06 30 2022
Vol. 39, No.2, pp. 00-00, May./Jun. 2022
Revista Boliviana de Química
39(2), 00-00, May./Jun. 2022
Bolivian Journal of Chemistry
DOI: 10.34098/2078-3949.39.2.3



Full original article

Peer-reviewed

Grover Castañeta¹, Ruddy Castañeta², J. Mauricio Peñarrieta^{1,*}

¹Food Chemistry Laboratory, Instituto de Investigaciones Químicas IIQ, Chemical Sciences Department, Facultad de Ciencias Puras y Naturales FCPN, Universidad Mayor de San Andrés UMSA, P.O. Box 303, Calle Andrés Bello s/n, Ciudad Universitaria Cota-Cota, phone +59122795878, La Paz, Bolivia, gcastaneta1@gmail.com; jmpenarrieta1@umsa.bo; www.umsa.bo.

²Carrera de Física, Facultad de Ciencias Puras y Naturales FCPN, Universidad Mayor de San Andrés UMSA, Calle Andrés Bello s/n, Ciudad Universitaria Cota-Cota, La Paz, Bolivia, rcastaneta@fcpn.edu.bo; www.umsa.bo.

Keywords: Andean food, ^oBrix, Sweetening, Oxalidaceae, Solar radiation, Sunlight, Tuber

Palabras clave: Alimento andino, ^oBrix, Endulzamiento, Oxalidaceae, Radiación solar, Asoleo, Tubérculo

VARIATIONS IN ANTIOXIDANT CAPACITY, CHEMICAL AND NUTRITIONAL PROPERTIES FROM *OXALIS TUBEROSA* (OCA) TUBERS, AS INFLUENCED BY EFFECTS OF SUNLIGHT AND DEHYDRATION

Grover Castañeta¹, Daniela Miranda-Flores¹, Atma-Sol Bustos¹, Rocio García², Patricia Mollinedo¹, Cristhian Carrasco², J. Mauricio Peñarrieta^{1,*}

¹ Instituto de investigaciones Químicas, School of Chemistry, Faculty of Sciences, Universidad Mayor de San Andrés (UMSA), PO Box 303, La Paz, Bolivia.

ANEXO II

- **Formula para la determinación de la capacidad antioxidante por FRAP**

$$TAC (\mu\text{mol/g}) = \frac{Abs}{m} * \left(\frac{S+B}{H}\right) * \left(\frac{H-P}{S}\right) * f.d. * 0.001$$

- **Formula para la determinación de la capacidad antioxidante por ABTS**

$$\% \text{ de Inhibición} = \frac{(Abs_{Blanco} - Abs_{Muestra})}{Abs_{Blanco}} * 100$$

$$TAC (\mu\text{mol/g}) = \frac{\% I}{m} * \left(\frac{S+B}{H}\right) * \left(\frac{H-P}{S}\right) * f.d. * 0.001$$

- **Formula para la determinación de fenoles totales y flavonoides totales**

$$GAE (\mu\text{mol/g}) = \frac{Abs}{m} * \left(\frac{S+B}{H}\right) * \left(\frac{H-P}{S}\right) * \frac{f.d}{P.M}$$

- **Formula para la determinación de la concentración de polifenoles, azúcares y ácidos orgánicos**

$$\% ST = 100 - \% \text{ Humedad}$$

$$ODW (g) = \frac{\text{Peso de muestra seca (g)} * \% ST}{100\%}$$

$$[M](g/L) = \frac{\text{Area (HPLC)}}{m}$$

$$[M] \left(\frac{g}{g}\right) = [M] \left(\frac{g}{L}\right) * \frac{1L}{1000mL} * \frac{V_t}{ODW} * f.d.$$

Donde:

- ❖ Abs = Absorbancia de muestra
- ❖ m = Pendiente
- ❖ S = Peso de muestra inicial (g)
- ❖ B = Peso de metanol añadido (g)
- ❖ H = Peso de homogenizado en el tubo después del sonicado(g)
- ❖ P = Peso de pulpa seca (g)
- ❖ f.d. = Factor de dilución de la muestra
- ❖ 0.001 = factor de conversión de L a g
- ❖ P.M = masa molecular del compuesto equivalente (g/mol)
- ❖ ST = Sólidos totales
- ❖ V_t = Volumen total de extracción (mL)
- ❖ M = Concentración del analito

ANEXO III

➤ Obtención de muestras de Oca



➤ Obtención de khayas

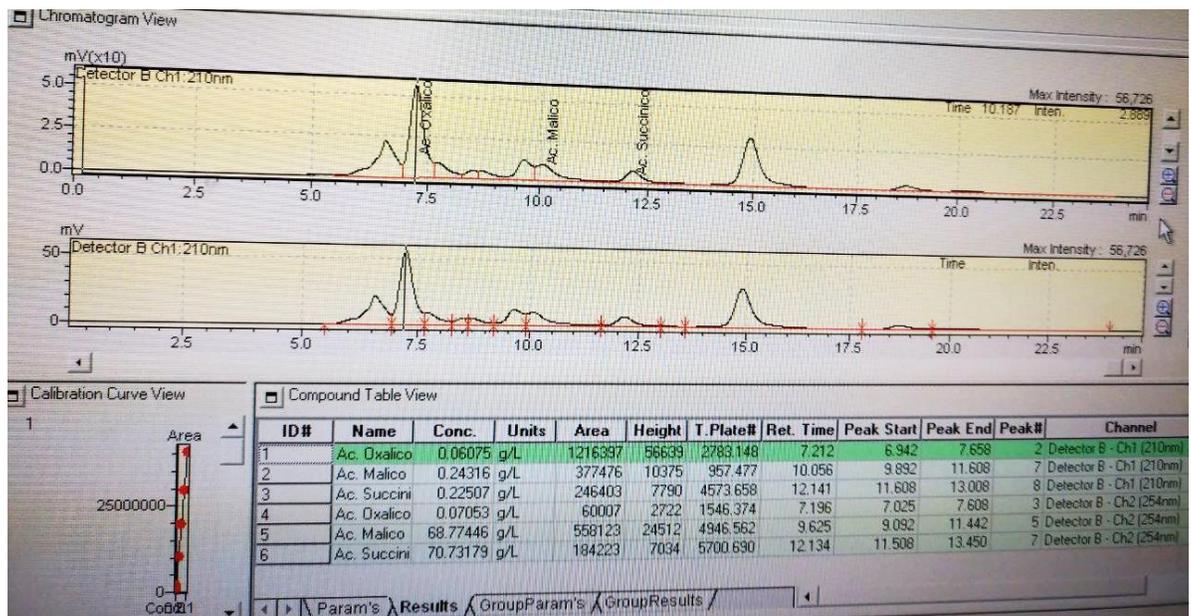


ANEXO IV

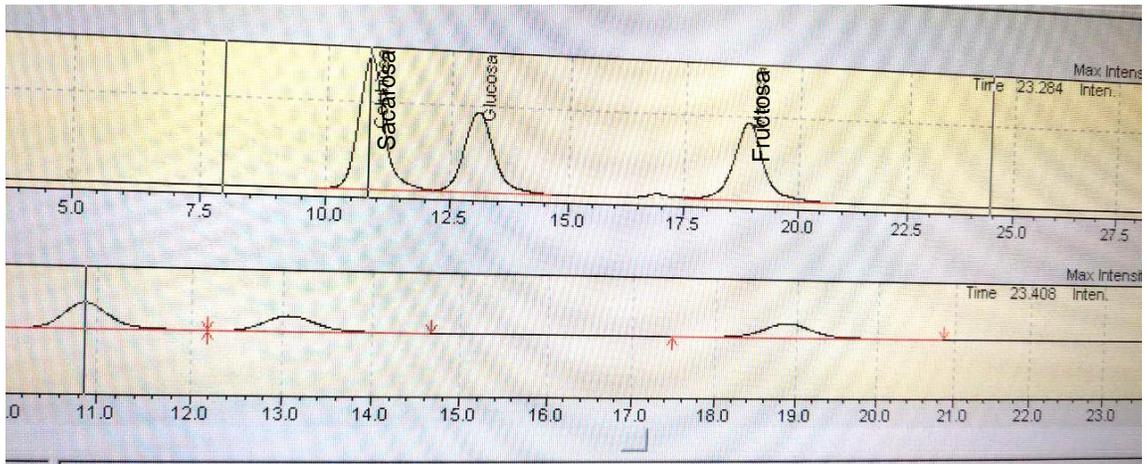
➤ Equipo de HPLC para la determinación de azúcares



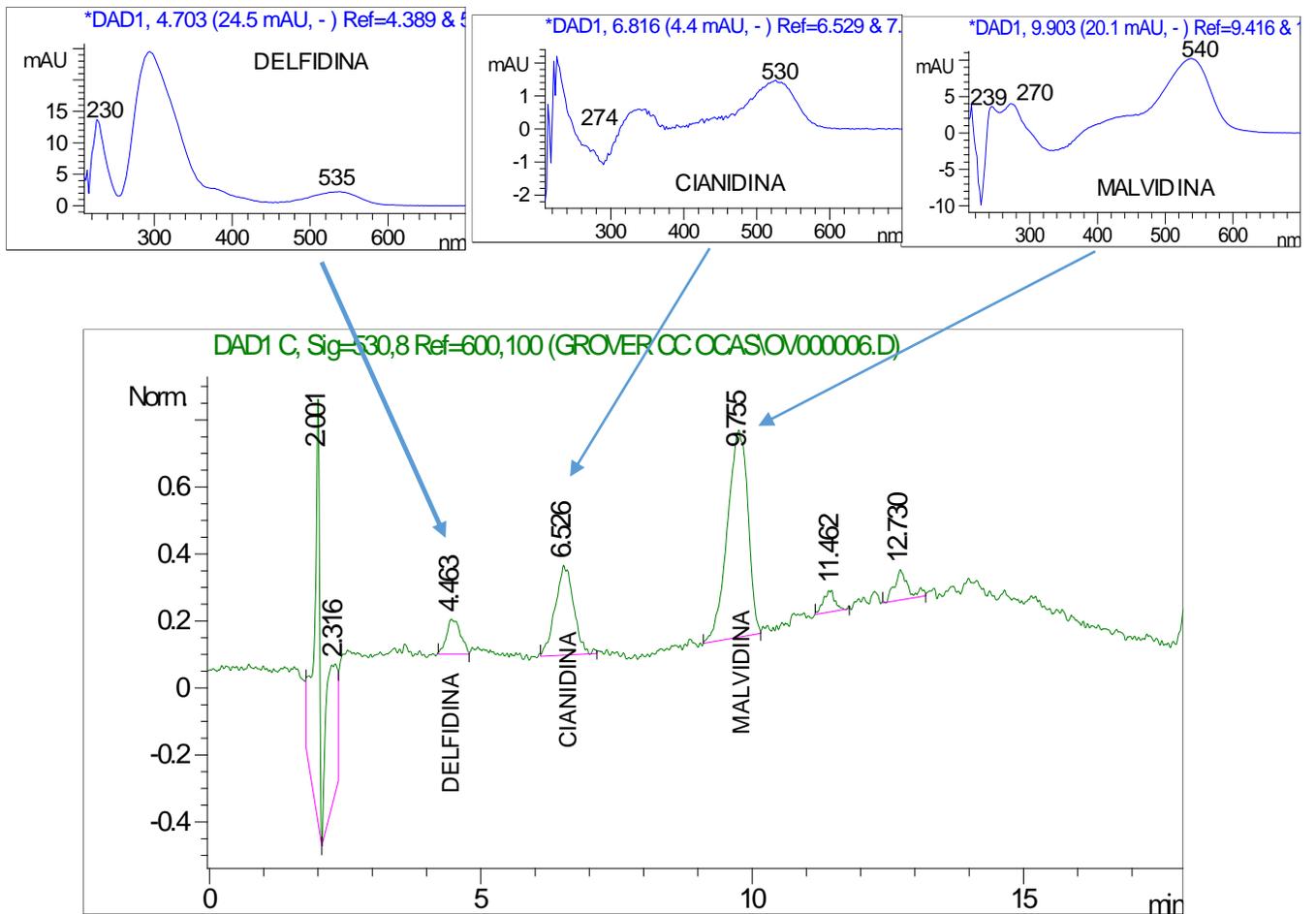
➤ Cromatograma de muestra con la presencia de ácidos orgánicos 210 nm



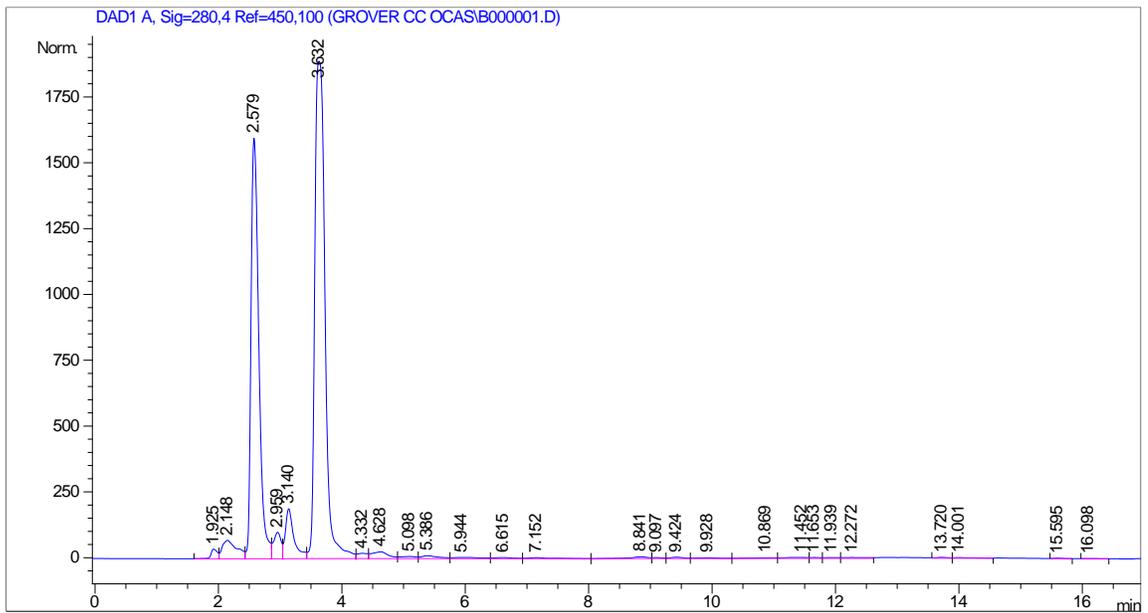
➤ **Cromatograma de muestra con la presencia de azúcares**



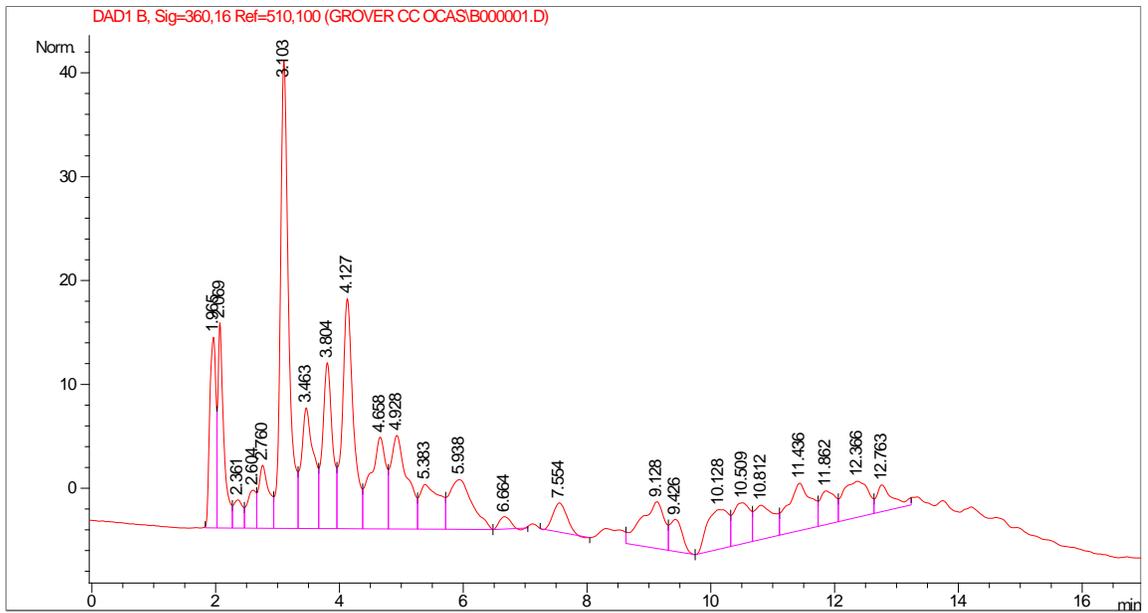
➤ **Cromatograma de muestra con la presencia de antocianidinas 530 nm**



➤ **Cromatograma de muestra con la presencia de polifenoles simples a 280 nm**

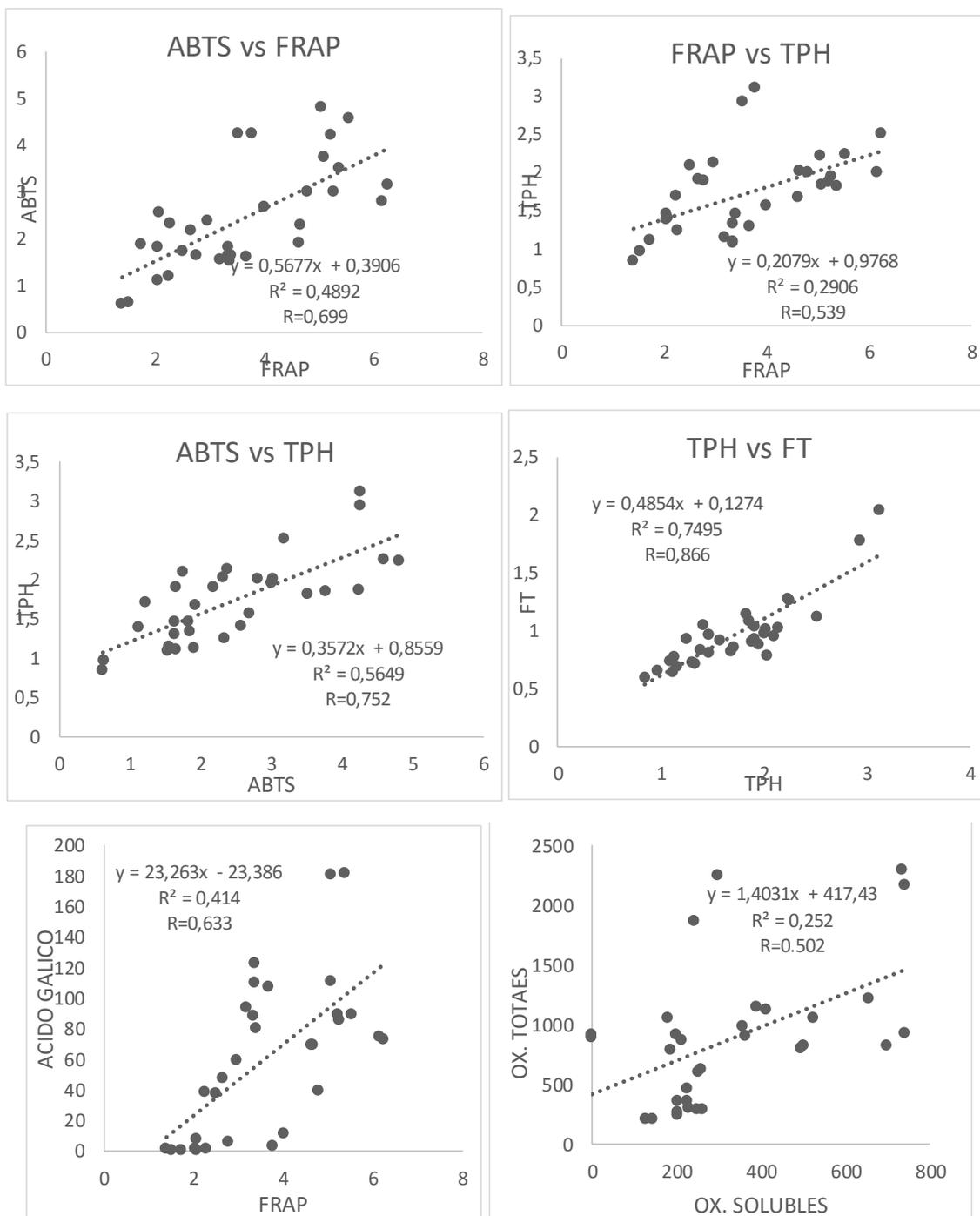


➤ **Cromatograma de muestra con la presencia de flavonoides a 360 nm**



ANEXO V

Correlación de pearson con los promedios de las variables medidas



Correlaciones

		FRAP	ABTS	TPH	TF	SACAROSA	GLUCOSA	FRUCTOSA	GALLIC_ACID	CATECHIN	QUERCETIN	KAEMPFERO L	DELIFIDIN	CIANIDIN	MALVIDIN	OXA_SOLUB LES	OXA_TOTAL	MALATES	SUCCINATES	AMILOSA	AMILOPECTI NA
FRAP	Correlación de Pearson Sig. (bilateral) N	1 32 32	.699** .000 32	.539** .001 32	.302 .093 32	.722** .000 32	.271 .134 32	.354 .047 32	.633** .000 32	.519** .002 32	.739** .000 32	.778** .000 32	.689** .000 32	.501** .003 32	.768** .000 32	.392 .026 32	.401** .023 32	.595** .000 32	-.172 .348 32	.605** .000 32	-.605** .000 32
ABTS	Correlación de Pearson Sig. (bilateral) N	.699** .000 32	1 32 32	.752** .000 32	.750** .000 32	.621** .000 32	.560** .001 32	.190 .298 32	.306 .088 32	.109 .552 32	.382** .031 32	.277 .125 32	.266 .142 32	.335 .061 32	.373** .035 32	.019 .919 32	-.069 .709 32	.264 .145 32	-.133 .469 32	.158 .389 32	-.158 .389 32
TPH	Correlación de Pearson Sig. (bilateral) N	.539** .001 32	.752** .000 32	1 32 32	.866** .000 32	.333 .063 32	.527** .002 32	.163 .374 32	.018 .921 32	-.120 .514 32	.239 .187 32	.275 .128 32	.247 .173 32	-.001 .995 32	.325 .069 32	.013 .942 32	-.017 .928 32	.286 .113 32	.121 .510 32	.113 .539 32	-.113 .539 32
TF	Correlación de Pearson Sig. (bilateral) N	.302 .093 32	.750** .000 32	.866** .000 32	1 32 32	.205 .261 32	.480** .005 32	-.121 .509 32	-.114 .535 32	-.318 .076 32	-.022 .904 32	.014 .938 32	.069 .709 32	.044 .812 32	.093 .612 32	-.088 .631 32	-.291 .106 32	-.085 .643 32	-.017 .927 32	-.048 .792 32	.048 .792 32
SACAROSA	Correlación de Pearson Sig. (bilateral) N	.722** .000 32	.621** .000 32	.333 .063 32	.205 .261 32	1 32 32	.392** .026 32	.341 .056 32	.662** .000 32	.373** .035 32	.550** .001 32	.518** .002 32	.472** .006 32	.531** .002 32	.490** .004 32	.306 .088 32	.119 .517 32	.675** .000 32	.248 .172 32	.440** .012 32	-.440** .012 32
GLUCOSA	Correlación de Pearson Sig. (bilateral) N	.271 .134 32	.560** .001 32	.527** .002 32	.480** .005 32	.392** .026 32	1 32 32	.710** .000 32	-.107 .223 32	-.047 .799 32	-.025 .894 32	.047 .779 32	-.052 .132 32	.272 .132 32	-.110 .550 32	-.341 .056 32	-.196 .052 32	.253 .779 32	.346 .052 32	-.047 .796 32	.047 .796 32
FRUCTOSA	Correlación de Pearson Sig. (bilateral) N	.354** .047 32	.190 .298 32	.163 .374 32	-.121 .509 32	.341 .056 32	.710** .000 32	1 32 32	.393** .026 32	.329 .066 32	.218 .230 32	.171 .350 32	.069 .707 32	.217 .234 32	.034 .852 32	-.216 .235 32	.176 .335 32	.472** .006 32	.278 .123 32	-.097 .599 32	-.097 .599 32
GALLIC_ACID	Correlación de Pearson Sig. (bilateral) N	.633** .000 32	.306 .088 32	.018 .921 32	-.114 .535 32	.662** .000 32	.221 .223 32	.393** .026 32	1 32 32	.750** .000 32	.656** .000 32	.513** .003 32	.425 .015 32	.855** .000 32	.412** .019 32	.426 .015 32	.508** .003 32	.494** .004 32	-.073 .690 32	.673** .000 32	-.673** .000 32
CATECHIN	Correlación de Pearson Sig. (bilateral) N	.519** .002 32	.109 .552 32	-.120 .514 32	-.318 .076 32	.373** .035 32	-.107 .562 32	.329 .066 32	.750** .000 32	1 32 32	.538** .001 32	.389 .028 32	.283 .116 32	.455** .009 32	.394** .026 32	.451** .010 32	.662** .000 32	.345 .053 32	-.247 .173 32	.581** .000 32	-.581** .000 32
QUERCETIN	Correlación de Pearson Sig. (bilateral) N	.739** .000 32	.382** .031 32	.239 .904 32	-.022 .904 32	.550** .001 32	.047 .799 32	.218 .230 32	.656** .000 32	.538** .001 32	1 32 32	.704** .000 32	.481** .005 32	.497** .004 32	.646** .000 32	.524** .002 32	.682** .000 32	.672** .000 32	-.024 .898 32	.599** .000 32	-.599** .000 32
KAEMPFEROL	Correlación de Pearson Sig. (bilateral) N	.778** .000 32	.277 .125 32	.275 .128 32	.014 .938 32	.518** .002 32	-.025 .894 32	.171 .350 32	.513** .003 32	.389** .028 32	.704** .000 32	1 32 32	.931** .000 32	.377** .033 32	.920** .000 32	.574** .001 32	.480** .005 32	.636** .000 32	-.044 .812 32	.726** .000 32	-.726** .000 32
DELIFIDIN	Correlación de Pearson Sig. (bilateral) N	.689** .000 32	.266 .142 32	.247 .173 32	.069 .709 32	.472** .006 32	-.052 .779 32	.069 .707 32	.481** .015 32	.931** .116 32	.931** .000 32	1 32 32	.387** .029 32	.924** .000 32	.412** .019 32	.271 .133 32	.511** .003 32	-.129 .483 32	.683** .000 32	-.683** .000 32	
CIANIDIN	Correlación de Pearson Sig. (bilateral) N	.501** .003 32	.335 .061 32	-.001 .995 32	.044 .812 32	.531** .002 32	.272 .132 32	.217 .234 32	.855** .000 32	.455** .009 32	.497** .004 32	.377** .033 32	.387** .029 32	1 32 32	.290 .108 32	.238 .189 32	.238 .142 32	.266 .335 32	-.176 .335 32	.575** .001 32	-.575** .001 32
MALVIDIN	Correlación de Pearson Sig. (bilateral) N	.768** .000 32	.373** .035 32	.325 .069 32	.093 .612 32	.490** .004 32	-.110 .550 32	.034 .852 32	.412** .019 32	.394** .026 32	.646** .000 32	.920** .000 32	.924** .000 32	.290 .108 32	1 32 32	.442 .011 32	.419** .017 32	.592** .000 32	-.140 .444 32	.657** .000 32	-.657** .000 32
OXA_SOLUBLES	Correlación de Pearson Sig. (bilateral) N	.392 .026 32	.019 .919 32	.013 .942 32	-.088 .631 32	.306 .088 32	-.341 .056 32	-.216 .235 32	.426** .015 32	.451** .010 32	.524** .002 32	.574** .001 32	.412** .019 32	.238 .189 32	.442** .011 32	1 32 32	.502** .003 32	.262 .147 32	-.065 .723 32	.566** .001 32	-.566** .001 32
OXA_TOTAL	Correlación de Pearson Sig. (bilateral) N	.401** .023 32	-.069 .709 32	-.017 .928 32	-.291 .106 32	.119 .517 32	-.196 .282 32	.176 .335 32	.598** .003 32	.662** .000 32	.682** .000 32	.480** .005 32	.271 .133 32	.238 .189 32	.419** .017 32	.502** .003 32	1 32 32	.464** .007 32	-.068 .712 32	.584** .000 32	-.584** .000 32
MALATES	Correlación de Pearson Sig. (bilateral) N	.595** .000 32	.264 .145 32	.286 .113 32	-.085 .643 32	.675** .000 32	.253 .162 32	.472** .006 32	.494** .004 32	.345 .053 32	.672** .000 32	.636** .000 32	.511** .003 32	.266 .142 32	.592** .000 32	.262 .147 32	.464** .007 32	1 32 32	.478** .006 32	.446** .010 32	-.446** .010 32
SUCCINATES	Correlación de Pearson Sig. (bilateral) N	-.172 .348 32	-.133 .469 32	.121 .510 32	-.017 .927 32	.248 .172 32	.346 .052 32	.278 .123 32	-.073 .690 32	-.247 .173 32	-.024 .898 32	-.044 .812 32	-.129 .483 32	-.176 .335 32	-.140 .444 32	-.065 .723 32	-.068 .712 32	.478** .006 32	1 32 32	-.060 .746 32	.060 .746 32
AMILOSA	Correlación de Pearson Sig. (bilateral) N	.605** .000 32	.158 .389 32	.113 .539 32	-.048 .792 32	.440** .012 32	-.047 .796 32	.097 .599 32	.673** .000 32	.581** .000 32	.599** .000 32	.726** .000 32	.683** .000 32	.575** .001 32	.657** .000 32	.566** .001 32	.584** .000 32	.446** .010 32	-.060 .746 32	1 32 32	-1.000** .000 32
AMILOPECTINA	Correlación de Pearson Sig. (bilateral) N	-.605** .000 32	-.158 .389 32	-.113 .539 32	.048 .792 32	-.440** .012 32	.047 .796 32	-.097 .599 32	-.673** .000 32	-.581** .000 32	-.599** .000 32	-.726** .000 32	-.683** .000 32	-.575** .001 32	-.657** .000 32	-.566** .001 32	-.584** .000 32	-.446** .010 32	.060 .746 32	-1.000** .000 32	1 32 32

** La correlación es significativa en el nivel 0,01 (2 colas).

* La correlación es significativa en el nivel 0,05 (2 colas).