

2019

## **Evaluación del efecto de dos métodos de deshidratación sobre las características de un snack de tubérculos andinos (*O. tuberosa*, *U. tuberosus* y *T. tuberosum*) y análisis de su vida útil**

Angie Tatiana Pérez Castañeda  
*Universidad de La Salle, Bogotá*

Erika Julieth Serrato Castillo  
*Universidad de La Salle, Bogotá*

Follow this and additional works at: [https://ciencia.lasalle.edu.co/ing\\_alimentos](https://ciencia.lasalle.edu.co/ing_alimentos)



Part of the [Food Processing Commons](#), and the [Other Food Science Commons](#)

---

### **Citación recomendada**

Pérez Castañeda, A. T., & Serrato Castillo, E. J. (2019). Evaluación del efecto de dos métodos de deshidratación sobre las características de un snack de tubérculos andinos (*O. tuberosa*, *U. tuberosus* y *T. tuberosum*) y análisis de su vida útil. Retrieved from [https://ciencia.lasalle.edu.co/ing\\_alimentos/273](https://ciencia.lasalle.edu.co/ing_alimentos/273)

This Trabajo de grado - Pregrado is brought to you for free and open access by the Facultad de Ingeniería at Ciencia Unisalle. It has been accepted for inclusion in Ingeniería de Alimentos by an authorized administrator of Ciencia Unisalle. For more information, please contact [ciencia@lasalle.edu.co](mailto:ciencia@lasalle.edu.co).

**UNIVERSIDAD DE LA SALLE  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
Programa de Ingeniería de Alimentos**

**Evaluación del efecto de dos métodos de deshidratación sobre las características de un snack de tubérculos andinos (*O. tuberosa*, *U. tuberosus* y *T. tuberosum*) y análisis de su vida útil**

**Autores: Angie Tatiana Pérez Castañeda  
Erika Julieth Serrato Castillo**

**Dirigido por: María Patricia Chaparro**

**Bogotá DC  
2019**

## DEDICATORIA

*“La paciencia y perseverancia tienen un efecto mágico ante el que las dificultades desaparecen y los obstáculos se desvanecen”*

*-John Quincy Adams*

*A Dios por ser el ser que ilumina mi vida, mi guía, mi fortaleza, mi plenitud.*

*A mis papas por creer en mí todos los días de sus vidas, por forjar en mí los mejores valores, perseverancia, amor y humildad. Porque gracias a ellos soy quien soy ahora. Porque siempre quiero ser su orgullo más grande.*

*A mis hermanos que nunca me sueltan, a ellos, por poder demostrarles que soy el ejemplo más sincero de que las cosas que se desean con el corazón, por más difíciles que sean, se logran.*

*A mi familia por estar siempre para mí, por acompañarme en todos mis logros y mis descensos.*

*A mis amigas porque de cada un recibo cosas maravillosas, porque han sido parte fundamental en todo mi proceso, personal, académico y emocional. Porque me han demostrado que hay lazos que unen más que la sangre.*

*A mi compañera de Tesis, porque siempre creyó en mí, y en lo que las dos podíamos aportar a la academia con nuestro conocimiento. Porque más que mi colega es mi amiga.*

*Es un gracias a la vida, por mantenerme fuerte, segura y rodeada de personas extraordinarias.*

**Erika Julieth Serrato**

## **DEDICATORIA**

*A Dios y Mamita María por ser quienes guían mis pasos, fortalecen mi fe y me ayudan a obrar siempre de la mejor manera.*

*A mis papitos José Pérez y Luz Dary Castañeda, por formarme como una mujer fuerte, perseverante y soñadora, por enseñarme que todo lo que uno sueña se puede alcanzar con esfuerzo y constancia, por ser el mejor ejemplo de vida y sobre todo por llenarme de amor y estar ahí en cada uno de los pasos que avanzo.*

*A mis hermanos Carol y Joan Pérez, por ser una de mis más grandes motivaciones a querer ser mejor, porque sin duda alguna quiero enseñarles a no rendirse jamás, porque sin importar la cantidad de piedras que se atraviesen en el camino, los sueños si se cumplen y deseo con mi corazón que lleguen aún más lejos que yo.*

*A mi compañero, amigo y confidente, a ti amor de mi vida por ser mi apoyo incondicional, por ser mi respaldo ante momentos de dificultad y sobre todo por ser autor principal de este bonito capítulo de mi vida que con amor hoy culminamos juntos.*

*A mis amigas y colegas por hacer parte fundamental en mi crecimiento profesional y personal, por mostrarme mundos diferentes y enseñarme a ver la vida de otra manera, esto no hubiera sido posible sin ustedes.*

*A mi compañera de tesis, porque nunca dudo de mí, porque ante problemas siempre me ayudo a buscar soluciones y porque más que mi compañera se convirtió en mi amiga.*

*A mi familia y cada una de las personas que siempre confiaron en mí una y mil Gracias.*

**Angie Tatiana Pérez Castañeda**

## TABLA DE CONTENIDO

OBJETIVOS.....	13
OBJETIVO GENERAL.....	13
OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	13
1. MARCO DE REFERENCIA.....	14
1.1. CARACTERISTICAS Y MERCADO DE LOS ALIMENTOS PROCESADOS EN COLOMBIA.....	14
1.2. SNACKS EN COLOMBIA.....	15
1.3. TUBÉRCULOS ANDINOS .....	16
1.3.1 CUBIO.....	16
1.3.2. CHUGUA .....	17
1.3.3. IBIA.....	18
1.3.4 COMPUESTOS FENOLICOS Y CAPACIDAD ANTIOXIDANTE EN TUBÉRCULOS ANDINOS .....	19
1.4. TIPOS DE DESHIDRATACIÓN .....	22
1.4.1 DESHIDRATACIÓN OSMOTICA.....	22
1.4.2 DESHIDRATACIÓN POR AIRE CALIENTE .....	24
1.4.3 DESHIDRTACIÓN POR MICROONDAS .....	26
1.5 ALTERACIONES FISICOQUIMICAS EN EL PROCESAMIENTO DE TUBERCULOS. ....	28
2 ESTADO DEL ARTE.....	30
3 MARCO LEGAL.....	33
4 METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN.....	34
4.1 OBTENCION DEL SNACK .....	35
4.2 DESCRIPCION DEL PROCESO .....	35
4.3 DETERMINACION DE LAS CARACTERISTICAS FISICOQUIMICAS ...	37
4.4 ANALISIS SENSORIAL DE LOS PRODUCTOS OBTENIDOS .....	38
4.5 ANALISIS ESTADISTICO .....	38
4.6 DETERMINACION DE FORMULACION DEL SNACK .....	39

4.7 DETERMINACION DE CONTENIDO FENOLICO Y CAPACIDAD ANTIOXIDANTE. ....	39
4.7.1 ELABORACIÓN DEL EXTRACTO: .....	39
4.7.2 DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO FENÓLICO TOTAL: .....	39
4.7.3 DETERMINACIÓN DEL % DE CAPACIDAD ANTIOXIDANTE: .....	40
4.8 DETERMINACION DE VIDA UTIL .....	40
5.1 DETERMINACIÓN DE CARACTERÍSTICAS FISICOQUÍMICAS .....	44
5.1.1 DETERMINACIÓN DE HUMEDAD .....	44
5.1.2 DETERMINACIÓN DE COLOR .....	46
5.2 ANÁLISIS SENSORIAL .....	51
5.3 DETERMINACIÓN DE LA PROPORCIÓN DEL SNACK .....	56
5.4 DETERMINACIÓN DE COMPUESTOS FENÓLICOS Y CAPACIDAD ANTIOXIDANTE .....	57
5.5 DETERMINACIÓN DE TIEMPO DE VIDA ÚTIL .....	59
CONCLUSIONES .....	62
RECOMENDACIONES .....	63
BIBLIOGRAFIA.....	64
ANEXOS.....	72

## LISTA DE TABLAS

<b>Tabla 1.</b> Composición química, % de actividad antioxidante medida por DPPH, y Compuestos fenólicos de tres tubérculos Andinos .....	21
<b>Tabla 2.</b> Porcentaje de humedad inicial de los tubérculos en diferentes condiciones de tratamiento.....	44
<b>Tabla 3.</b> Color inicial en coordenadas CIELAB en los tubérculos con diferentes tratamientos.....	46
<b>Tabla 4.</b> Análisis estadístico de las coordenadas CIELAB para cada una de las muestras obtenidas.....	47
<b>Tabla 5.</b> Valor P del tratamiento estadístico aplicado a los tubérculos obtenidos por medio de secado convectivo.....	51
<b>Tabla 6.</b> Valor P del tratamiento estadístico aplicado a los tubérculos obtenidos por medio de secado con microondas.....	52
<b>Tabla 7.</b> Valor P del tratamiento estadístico aplicado a los tubérculos obtenidos por ambos medios de deshidratación (comparación).....	54
<b>Tabla 8.</b> Determinación de la proporción final del snack.....	57
<b>Tabla 9</b> Determinación de la capacidad antioxidante y contenido fenólico de snack de ibias, chuguas y cubio.....	57
<b>Tabla 10.</b> Valores de la regresión lineal realizada y determinación de vida útil del snack a tres temperaturas de almacenamiento.....	60

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Flujo de solutos y de agua en el producto alimenticio inmerso en la solución hipertónica.....	23
<b>Figura 2.</b> Procesos que intervienen en el secado de sólidos por evaporación.....	25
<b>Figura 3.</b> Calentamiento de un sólido por microondas.....	27
<b>Figura 4.</b> Diagrama de flujo –Elaboración del Snack.....	37
<b>Figura 5.</b> Diagrama de flujo -Desarrollo del proyecto de investigación.....	43

## LISTA DE GRAFICOS

<b>Grafica 1.</b> Principales segmentos de la industria de alimentos procesados en Colombia (2016).....	14
<b>Grafica 2.</b> Coordenada $b^*$ vs Tratamiento de deshidratación aplicado en láminas de Cubio.....	48
<b>Grafica 3.</b> Coordenada $L^*$ vs Tratamiento de deshidratación aplicado en láminas de Chugua.....	48
<b>Grafica 4.</b> Evaluación de la textura de los chips obtenidos por deshidratación MW .....	50
<b>Grafica 5.</b> Evaluación de la textura de los chips obtenidos por deshidratación SC.....	50
<b>Grafica 6.</b> Media de los valores de aceptación de color de los chips obtenidos por SC.....	52
<b>Grafica 7.</b> Media de los valores de aceptación de textura de los chips obtenidos por SC. ....	52
<b>Grafica 8.</b> Media de los valores de aceptación de apariencia de los chips obtenidos por SC.....	52
<b>Grafica 9.</b> Media de los valores de aceptación de sabor de los chips obtenidos por SC.....	52
<b>Grafica 10.</b> Media de los valores de aceptación de color de los chips obtenidos por MW .....	53
<b>Grafica 11.</b> Media de los valores de aceptación de textura de los chips obtenidos por MW.....	53



<b>Grafica 12.</b> Media de los valores de aceptación de apariencia de los chips obtenidos por MW.....	53
<b>Grafica 13.</b> Media de los valores de aceptación de sabor de los chips obtenidos por MW.....	53
<b>Grafica 14.</b> Media de los valores de aceptación de color de los chips obtenidos por ambos medios de deshidratación.....	55
<b>Grafica 15.</b> Media de los valores de aceptación de textura de los chips obtenidos por ambos medios de deshidratación.....	55
<b>Grafica 16.</b> Media de los valores de aceptación de apariencia de los chips obtenidos por ambos medios de deshidratación. ....	55
<b>Grafica 17.</b> Media de los valores de aceptación de sabor de los chips obtenidos por ambos medios de deshidratación. ....	55
<b>Grafica 18.</b> Degradación de vitamina C en el tiempo a temperaturas de almacenamiento de 25, 40 y 55°C.....	59
<b>Grafica 19.</b> Determinación de humedad del snack obtenido en función del tiempo.....	61

## RESUMEN

Durante los últimos años, la tendencia del consumo de productos saludables ha venido incrementando de manera significativa, los snack saludables se están convirtiendo en alimentos de consumo diario, es por esto que la inclusión de snack a base de productos autóctonos, como los tubérculos andinos, los cuales son poco conocidos pero con muy buenas características funcionales surgen como una gran oportunidad para que el consumidor conozca los productos colombianos y se logre impulsar el mercado nacional e internacional. Se realizó un snack de 3 clases de tubérculos andinos, aplicando dos métodos de deshidratación (microondas y secado convencional) utilizando deshidratación osmótica como pre-tratamiento. Se efectuó un análisis fisicoquímico determinando la humedad, el color y la textura de cada uno de los tubérculos deshidratados, adicional a esto, se llevó a cabo un análisis sensorial con una prueba hedónica a 60 panelistas no entrenados, con el fin de determinar la proporción final del snack, de acuerdo a las características alcanzadas en el producto. Al producto final obtenido se le determinó su contenido fenólico y la capacidad antioxidante, finalmente, se determinó el tiempo de vida útil del producto almacenado en bolsas de polipropileno biorientado metalizado (BOPP/metalizado), teniendo como índice de falla la degradación del contenido de vitamina C y el aumento de humedad. Se obtuvo una humedad promedio de 3,44% para los productos deshidratados con microondas y un promedio de 4,48% para los productos obtenidos por medio de secado convectivo, no se evidenciaron diferencias significativas entre las muestras; en cuanto al color, se pudo evidenciar que, las muestras tratadas con microondas tuvieron un mayor valor de L\* que las tratadas por secado convencional, esto se debe posiblemente a un aumento de exposición térmica de las muestras. En cuanto a la textura se pudo evidenciar que el valor más alto fue para las chuguas obtenidas por deshidratación por microondas. Al efectuar el análisis sensorial, se determinó que los tubérculos obtenidos por microondas tuvieron una mayor aceptación debido a

las características texturales de los mismos. La proporción final del snack fue de un 34% de Cubios, 33% de Ibias y 33% de Chuguas deshidratados por microondas. La capacidad antioxidante del producto obtenido fue de 43,85  $\mu\text{mol Trolox/ 100 g}$  y 88,14 AG/100 g muestra, lo que representa un valor alto al ser comparado con otro tipo de snacks. Se fijó un tiempo de vida útil de 30 días para el snack almacenado a 25°C.

Finalmente se concluyó que el tipo de deshidratación aplicado incide directamente sobre las características texturales del producto debido a la forma de acción en la microestructura del alimento. Por otro lado, se recomienda cambiar el envase del producto, ya que el tiempo de vida útil del producto tiende a reducirse debido a la ganancia de humedad.

## GLOSARIO

**Antioxidantes:** Es una molécula capaz de retardar o prevenir la oxidación de un sustrato oxidable, actuando como donador de electrones (agente reductor). Todos los seres vivos que utilizan el oxígeno para obtener energía liberan radicales libres, lo cual es incompatible con la vida a menos que existan mecanismos celulares de defensa que los neutralice. A estas defensas se las denomina antioxidantes.

**Deshidratación Osmótica:** Tratamiento no térmico que tiene como fundamento reducir la actividad de agua, empleando la fuerza osmótica de una solución de azúcar, sal u otros materiales.

**Escaldado:** El escaldado es un tratamiento térmico corto que involucra la exposición de los tejidos vegetales a alguna forma de calor, usualmente por exposición a vapor o agua caliente por un tiempo predeterminado a una temperatura específica. Esta operación se utiliza con el fin de limpiar la materia prima, inhibir reacciones enzimáticas no deseables, mejora de sabores y textura, inactivación de carga microbiana.

**Secado:** Se describe como un proceso de eliminación de sustancias volátiles (humedad) para producir un producto sólido y seco. La humedad se presenta como una solución líquida dentro del sólido, es decir, en la microestructura de este.

**Snack:** Un snack está definido como un alimento que se consume fuera del horario de comida principal, por lo general en la calle y en un período corto de tiempo.

**Tubérculo:** Tallos carnosos engrosados; áreas de almacenamiento de almidón después de que las hojas elaboren carbohidratos; los brotes u ojos forman nuevas plantas.

## **PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

El crecimiento exponencial de la población y el incremento en la demanda de alimentos han abierto la necesidad de abastecer el mercado con productos accesibles, asequibles y de alta calidad, que suplan las necesidades alimenticias a las que la población tiene que enfrentarse hacia el año 2050. La introducción al mercado de productos nativos de la cordillera andina, cultivados en Colombia, son una buena alternativa para cubrir las necesidades nutricionales existentes, sin embargo, la difusión en los países desarrollados de la revolución agrícola moderna (caracterizada por la motorización, la mecanización a gran escala y la utilización de productos químicos) y la falta de conocimiento sobre las propiedades bioactivas que estos tienen, han dejado atrás el aprovechamiento de estos alimentos.

Un estudio realizado por (Forero, Gambasica, & Mojica, 2012) sobre el sistema de producción de tubérculos andinos en Colombia, indicó que más de la mitad de productores son adultos mayores, además que el 84,4% de esta producción se destina para el autoconsumo y encuestas realizadas a jóvenes indicaron que más del 72 % de los encuestados no identifican los tubérculos (Forero et al, 2012). Por lo que el consumo tiene una tendencia decreciente, provocando la disminución de las áreas de cultivo, sin importar que la mayoría de estos tubérculos se caracterizan por tener grandes niveles de carotenos, flavonoles, antocianinas entre otros compuestos que podrían tener un efecto antioxidante en el cuerpo humano, sin dejar a un lado su alto contenido de vitaminas como el ácido ascórbico, algunos minerales y su gran contenido en fibra.

## **OBJETIVOS**

### **OBJETIVO GENERAL**

Evaluar el efecto del secado convencional y por microondas sobre las características sensoriales, bioactivas y vida útil de un snack de tubérculos andinos (*O. tuberosa*, *U. tuberosus* y *T. tuberosum*).

### **OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Establecer la relación de componentes del snack, según las características físicas (color, textura y humedad) y la aceptación sensorial de cada uno de los tubérculos andinos deshidratados de manera convencional y por microondas.
- Determinar el contenido fenólico y la capacidad antioxidante del snack formulado.
- Determinar la vida útil del snack envasado en un empaque de polipropileno biorientado metalizado (BOPP/metalizado), teniendo como índice de falla el contenido de vitamina C.

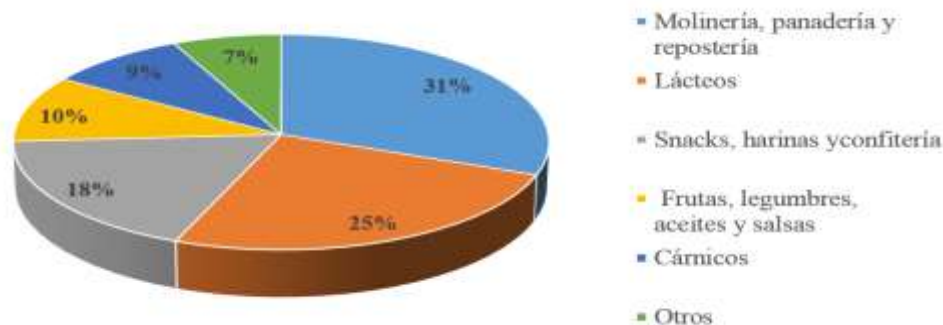
## 1. MARCO DE REFERENCIA

En este capítulo se presentan algunas generalidades del consumo de snack en Colombia, así como de las materias primas que pueden ser potencialmente aprovechadas, como es el caso de los tubérculos andinos. También se exponen los métodos de conservación más utilizados para la obtención de snacks deshidratados.

### 1.1. CARACTERÍSTICAS Y MERCADO DE LOS ALIMENTOS PROCESADOS EN COLOMBIA

El mercado de alimentos en Colombia es dinámico, ya que obedece a tendencias globales de consumo. Se estima que el sector de alimentos y bebidas tendrá ventas anuales por más de US\$ 29.000 millones en 2021 (Invest in Bogotá, 2019). Este crecimiento supone múltiples retos, principalmente para los países con tradición en el uso de alimentos y para aquellos con una vasta biodiversidad por aprovechar, como es el caso de Colombia. En este punto, la biotecnología emerge como una excelente alternativa para apoyar la generación de valor agregado de los alimentos y su orientación a proclamas de la salud, satisfaciendo las necesidades del consumidor que demanda productos más saludables para una mejor calidad de vida (Euromonitor, 2017).

**Grafico 1.** Principales segmentos de la industria de alimentos procesados en Colombia (2016)



**Fuente:** Fuente: Euromonitor International, 2017. Proceso Invest in Bogotá.

Viendo la proyección de crecimiento de mercado colombiano, la industria tiene grandes retos, entre los que se encuentra fortalecer la capacidad innovadora con productos competitivos que permitan abastecer nuevos mercados nacionales e internacionales. El estudio realizado por Invest in Bogotá, (2019) afirma que debido a las tendencias de consumo y dinámicas de crecimiento, los subsectores con mayor potencial para la inversión en la industria de bebidas y alimentos en Colombia son productos de molinería, panadería y repostería; lácteos; y harinas, confitería y snacks.

La cadena de valor de la industria alimentaria está establecida por la capacidad que tiene para adoptar procesos de investigación y desarrollo en pro de la innovación de productos, la disponibilidad de productos de primera calidad, la incorporación de ingredientes y metabolitos extraídos de fuentes naturales con bioactividad en el organismo y la alta capacidad de sofisticación del sector. Esta cadena comienza con el suministro de materias primas provenientes de las actividades agrícolas relacionadas con producción, cosecha y postcosecha, seguido la producción intermedia de ingredientes que sirven como base para la posterior creación de los productos terminados como los alimentos procesados (Castrillón, 2018).

## **1.2.SNACKS EN COLOMBIA**

El mercado de macro snacks está ganando cada vez más terreno en Colombia, los macro snacks son productos que hacen parte del diario vivir de todos los colombiano. Como es bien sabido, en el mundo y en Colombia, en los últimos años se ha incrementado una tendencia de consumo hacia un estilo de vida más saludable, y activo, en el que la alimentación sana ha dado cabida a un nuevo nicho de mercado. En este sentido, los snacks saludables han cobrado gran relevancia. En el estudio “La revolución de los alimentos en América Latina” realizado por Nielsen (2017) – una de las principales firmas de investigación de mercados– se comprueba que los hábitos de



consumo de los colombianos han cambiado, pues las ventas de productos alimenticios saludables crecieron un 4,2% de septiembre de 2015 al mismo mes de 2016.

Haciendo un recorrido por la industria de pasabocas en Colombia, en general el comportamiento ha sido el más destacado y positivo para el procesamiento nacional de papa, plátano y yuca y el que mejor ha competido con los productos importados. De acuerdo con Brand Aid Team Colombia, especialistas en la planeación estratégica de mercados, en el país los snacks de mayor consumo son las papas fritas, les sigue los productos surtidos, los extruidos, las tortillas de maíz, el maní, los productos fabricados con harina de trigo y los plátanos (IALIMENTOS, 2015).

Es pertinente resaltar que, la tendencia demuestra que los consumidores en el país buscan productos con connotaciones saludables y por eso los más jóvenes se inclinan hacia las barras de snacks que permiten niveles energéticos más elevados y prometen beneficios de salud.

De este modo, y teniendo como referente la industria colombiana, se piensa en la fabricación de un snack deshidratado, con aprovechamiento de tubérculos autóctonos colombianos, dando así un valor agregado, entre los productos se encuentran:

### **1.3. TUBÉRCULOS ANDINOS**

#### **1.3.1 CUBIO**

Este tubérculo es una planta herbácea originaria de la región andina, los hallazgos arqueológicos demuestran que sus tubérculos eran consumidos desde hace más de 7.500 años, siendo su expansión desde Colombia hasta el norte de Argentina debido a las óptimas condiciones edafoclimáticas para su desarrollo, entre los 2400 hasta los 4300 msnm, y desde hace algunas décadas es cultivada en algunas regiones de Nueva Zelanda y Canadá. Las mayores áreas de

siembra se encuentran en Perú y Bolivia, donde generalmente se cultivan en asociación con otros tubérculos, aunque el cubio es la siembra de menor área (Manrique *et al.*, 2014).

Malice & Baudoin (2009) afirman que al cubio también se le conoce con el nombre de mashua proviene de Maswa o mashwa quechua. Pertenece a la familia *Tropaeolaceae* que incluye 86 especies distribuidas en toda América del Sur siendo *Tropaeolum* el género más grande. Se reconocen dos subespecies la *T tuberosum ssp* que es la cultivada y la *T tuberosum silvestre* la que no produce tubérculos. Los autores además sostienen que el cubio es una planta anual herbácea de 20-80 cm de altura; el color de sus tubérculos es variable, van desde el amarillo-blanco a púrpura-gris y negro. La Mashua es auto-fertil.

Manrique *et al.*, (2014) mencionan que el cubio es una especie rústica, la cual crece bien en temperaturas bajas y suelos pobres, por lo que no necesita fertilizantes. Es resistente a nemátodos, insectos y algunas plagas como el gorgojo de la papa (*Premnotrypes spp.*). Por esta razón, en los Andes se siembra habitualmente como cerco perimétrico para la protección de otros cultivos. Su ciclo de cultivo varía entre 6 y 9 meses, teniendo rendimientos superiores a los de otras tuberosas andinas.

La composición química de este tubérculo varía según su especie, sin embargo, se destaca por su alto contenido de carbohidratos y contenido de vitamina C. En la [tabla 1](#) se muestra dicha composición.

### **1.3.2. CHUGUA**

*Ullucus tuberosus*, es el nombre científico que recibe el comúnmente denominado ulloco, olluco, melloco, ruba o chugua, una planta de cultivo popular de los Andes, de origen muy antiguo. El

género *Ullucus* contiene solo una especie, que se conoce en cultivos desde Venezuela hasta el noroeste de Argentina (Surco Laos, 2004).

La planta es herbácea, compacta, de 20 a 30 cm dependiendo la variedad; sus tubérculos comestibles varían desde esféricos a cilíndricos, de cascara delgada, pulpa amarillenta y mucilaginosa. La coloración de los tubérculos es variada, generando atracción para quién los consume, en Colombia por ejemplo el color característico de estos tubérculos alargados es purpura (Buxton et al., 2013).

Se cultiva entre los 2 500 y 4 250 m de altitud (Parra-Quijano, Panda, Rodríguez, & Torres, 2012), adaptándose a zonas templadas y altas, frías y húmedas con cierta tolerancia a sequias y heladas; tolera una amplia gama de condiciones del suelo, sin embargo, su crecimiento es mejor en suelos arcillosos, fértiles ricos en materia orgánica (Lim & Lim, 2014).

Según Barrera *et al.*, (2008) en Ecuador es el segundo tubérculo en importancia después de la papa, hace parte de la alimentación de la población y genera muchas veces un ingreso adicional para los agricultores andinos. Desde una perspectiva nutricional, este producto presenta bajo contenido de grasa, alto contenido en hidratos de carbono y un % apreciable de minerales, pero además presenta un contenido elevado de proteína (Ver [tabla 1](#)).

### **1.3.3. IBIA**

Las ibias pertenecen a la clase Dicotyledonae, orden Geraniales, familia Oxalidaceae y al género *Oxalis*, es probablemente después de la papa, el tubérculo andino más conocido. Es originario de altiplano Peruano-Boliviano, cultivada en Venezuela, Perú, Bolivia, Chile, Argentina y Colombia como también en México y Nueva Zelanda en donde es apreciada por presentar colores y sabores muy particulares. Las plantas de *O. tuberosa* pueden llegar a medir hasta 50 cm

de altura, son rastreras, sus tubérculos se caracterizan por ser de forma cilíndrica u ovoide, y de gran variabilidad de colores, entre los que se destaca el color blanco, naranja, rojo, rosado, violeta y casi negro. Tiene Tolerancia a estrés bióticos y abióticos, por ende son tolerantes a ambientes extremos (Ugarte & Baudoin, 2004).

Sus tubérculos son ricos en carbohidratos, minerales, ácidos orgánicos los cuales le permiten su uso industrial, alimenticio y medicinal (Bradbury & Emshwiller, 2011).

Espinosa (1997) informa que el cultivo de la oca es muy importante en los Andes Centrales, sobre todo en lugares húmedos entre 2.800 y 4.100 msnm desde Venezuela hasta Chile y Argentina, pero particularmente en Ecuador, Perú y Bolivia.

Algunas de las características por las que se destacan los tubérculos anteriormente mencionados son por su alto contenido en compuestos fenólicos y propiedades antioxidantes, que los hacen alimentos bioactivos, de este modo, se muestra a continuación la importancia de estos componentes y su relación con los tubérculos originarios de los Andes.

#### **1.3.4 COMPUESTOS FENOLICOS Y CAPACIDAD ANTIOXIDANTE EN TUBÉRCULOS ANDINOS**

Los compuestos fenólicos son compuestos químicos que constituyen uno de los grupos de micronutrientes presentes en el reino vegetal, siendo parte importante de la dieta tanto humana como animal. Constituyen un amplio grupo de sustancias químicas, considerados metabolitos secundarios de las plantas, con diferentes estructuras químicas y actividad, englobando más de 8.000 compuestos distintos, su forma más común es la de polímeros o lignina insoluble (Martínez-Valverde, Periago, & Ros, 2000). Su actuación principal en las células vegetales es la de actuar como metabolitos esenciales para el crecimiento y reproducción de las plantas, y como

agentes protectores frente a la acción de patógenos, siendo secretados como mecanismo de defensa, además, cabe resaltar que estos compuestos tienen acción antimicrobiana (E Haslam, 1974).

Por otra parte, se destaca la relación que tienen los compuestos fenólicos con las características sensoriales de los alimentos, tanto frescos, como procesados. La pigmentación de productos vegetales está claramente reconocida a través de las antocianidinas, destacadas por conferir el color rojo, azul, naranja y púrpura de la mayoría de las plantas, sin embargo, estos pigmentos son muy inestables, lo que genera muchas veces la pérdida de color durante el procesamiento o almacenamiento del alimento (Martínez-Valverde et al., 2000). Según Haslam & Lilley (1988) Otra de las características que confieren estos metabolitos es el sabor, principalmente el astringente, que va a depender del peso molecular del compuesto presente en el alimento, entre mayor peso molecular, la astringencia también lo será.

La capacidad antioxidante se puede considerar como la actividad biológica responsable del efecto preventivo sobre enfermedades cardiovasculares y distintos tipos de cáncer (H. Wang, Cao, & Prior, 1996). Los antioxidantes inhiben o retrasan la oxidación de otras moléculas. El comportamiento antioxidante de los compuestos fenólicos está relacionado con su propiedad para quelar metales, inhibir la lipoxigenasa, y atrapar radicales libres (Decker, 2009).

Según Gupta & Sharma (2006) para que un compuesto fenólico sea considerado como antioxidante, debe cumplir dos condiciones básicas, la primera es que cuando se encuentre en una concentración baja respecto al sustrato que va ser oxidado, pueda retrasar o prevenir la auto-oxidación o la oxidación mediada por un radical libre; la segunda, es que el radical formado tras el secuestro no pueda actuar en oxidaciones posteriores.

Entre los antioxidantes más reconocidos se encuentran: los flavonoides, los ácidos fenólicos, taninos, calconas, y cumarinas (Pratt & Hudson, 1990). Es relevante resaltar que los antioxidantes provenientes de los compuestos fenólicos, tienen gran interés desde el punto de vista tecnológico y nutricional.

Los tubérculos andinos se han destacado por su potencial antioxidante, según expone Chirinos et al., (2009), el cubio ha sido comparado con el arándano y otras bayas por su alto contenido en flavonoides; por otra parte, a tubérculos como el ulluco, se le han encontrado betalainas en forma ácida de betaxantinas y betacianinas. Debido a esto, se han realizado diferentes estudios donde se ha cuantificado la cantidad de compuestos fenólicos, así como la capacidad antioxidante de estos alimentos, además de su composición química en general.

**Tabla 1.** Composición química, % de actividad antioxidante medida por DPPH, y Compuestos fenólicos de tres tubérculos Andinos.

Parámetro	Tubérculo		
	Cubio/Mashua <i>T. tuberosum</i>	Ibia/Oca <i>O. tuberosa</i>	Chugua/Ulloco <i>U. tuberosus</i>
% Humedad	88,7	77,73	84,34
% Carbohidrato Total	75,4	88,19	80,12
% Proteína	9,17	4,6	10,01
% Cenizas	4,81	3,39	5,93
% Vitamina C (mg/100 g mf)	77,37	34,53	26,03
Actividad Antioxidante ( $\mu\text{mol}$ trolox/100 g muestra)	2486	1732	2713
Compuestos fenólicos (mg AG/100 g)	128,26	390,98	-

**Fuente:** (Jiménez, M., Sammaán, 2014), (Espín et al., 2001) & (Mejía Lotero, Salcedo Gil, Vargas Londoño, Serna Jiménez, & Torres Valenzuela, 2019), (Chirinos, Pedreschi, Rogez, Larondelle & Campos, 2013), (Catunta, 2016).

Para dar un valor agregado a los alimentos autóctonos se han empleado diferentes metodologías que buscan ofrecer el producto con procesos que otorgan características agradables al paladar del consumidor, entre estos métodos se encuentran:

#### **1.4. TIPOS DE DESHIDRATACIÓN**

##### **1.4.1 DESHIDRATACIÓN OSMOTICA**

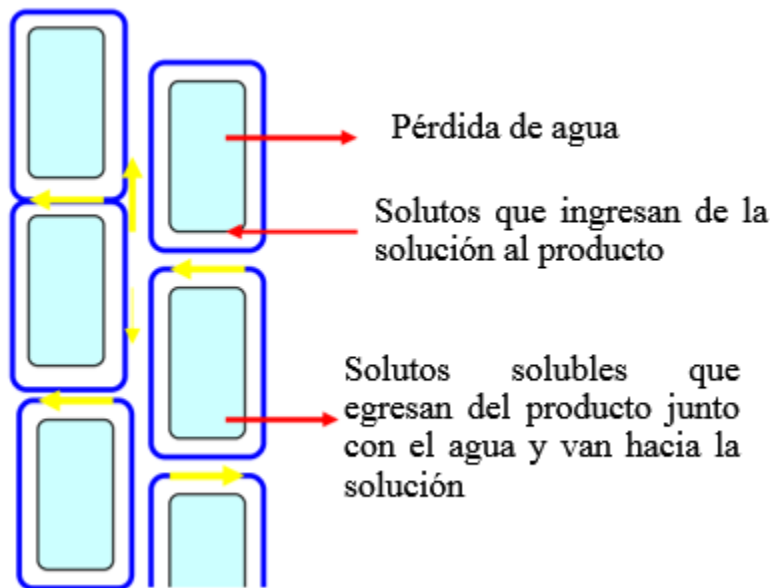
La deshidratación osmótica es una técnica que permite eliminar parcialmente el agua de los tejidos de los alimentos por inmersión en una solución hipertónica, sin dañar el alimento y afectar desfavorablemente su calidad (Rastogi, Raghavarao, Niranjana, & Knorr, 2002).

La fuerza impulsora para la difusión del agua desde los tejidos a la solución es la diferencia de actividad acuosa (presión osmótica) entre el alimento y la solución. Los medios de deshidratación son generalmente soluciones acuosas concentradas de una sal, azúcar o mezclas de ellos. Es importante resaltar que se produce una eliminación parcial de agua del alimento, pero también se produce la pérdida de algunos solutos solubles del mismo, que son arrastrados por el agua y una ganancia de solutos por parte del alimento desde la solución ([Figura 1](#)).

Tanto la capacidad de este fenómeno como la pérdida de agua dependen de las características del producto alimenticio: forma, tamaño, estructura, composición y tratamiento previo (pelado, escaldado, tratamiento de la superficie); de la solución: tipos de solutos, concentración de los mismos y de las condiciones de proceso: temperatura, grado de agitación de la solución, presión de trabajo y relación masa de solución a masa de producto. Por lo general, la deshidratación osmótica no disminuye la actividad acuosa del alimento de manera tal de estabilizarlo totalmente, sino que sólo extiende su vida útil. Por ello la necesidad de aplicar otros procesos posteriores como secado, congelado o liofilizado, entre otros posibles. La pérdida de agua puede

ser aproximadamente del 50-60% de su contenido inicial, existiendo entonces la posibilidad de producir significativas modificaciones en el volumen, forma y estructura del alimento. Así como también variaciones apreciables en los valores de los coeficientes de difusión y de transferencia de masa, etc., durante el transcurso del proceso

**Figura 1.** Flujo de solutos y de agua en el producto alimenticio inmerso en la solución hipertónica.



**Fuente:** Autores

Por otro lado, es relevante mencionar que, la pérdida de agua y la velocidad de secado aumentan con el incremento de la concentración de la solución osmótica, ya que la actividad de agua de la solución decrece con un aumento en la concentración de solutos (Sablani, Shafiur Rahman, & Al-Sadeiri, 2002). Otro de los factores a mencionar es la temperatura, ya que es el parámetro más importante que tiene afectación sobre la cinética de pérdida de agua y la ganancia de solutos. La ganancia de solutos es menos afectada que la pérdida de agua por la temperatura ya que, a altas temperaturas el soluto no puede difundir tan fácilmente como el agua a través de la



membrana celular de los tejidos del producto. La temperatura presenta dos efectos. Uno de ellos es que el aumento de temperatura favorece la agitación molecular y por consiguiente mejora la velocidad de difusión. El otro es la modificación de la permeabilidad de la membrana celular con un incremento de la temperatura.

Las propiedades fisicoquímicas del soluto empleado tienen gran influencia, ya que el proceso osmótico dependen de estas: pesos moleculares, estado iónico y solubilidad del soluto en el agua. Esta última es muy importante pues define la máxima concentración del soluto que puede emplearse en la solución (Bonghi & Trainotti, 2006). Cuando se utilizan soluciones con solutos de mayor peso molecular, la pérdida de agua se incrementa y la ganancia de solutos resulta despreciable respecto de cuando se usa un soluto de menor peso molecular. De este modo, en el proceso osmótico, la pérdida de agua se favorece con el empleo de solutos de peso molecular alto y la impregnación es superior con solutos de bajo peso molecular.

#### **1.4.2 DESHIDRATACIÓN POR AIRE CALIENTE**

La deshidratación por flujo de aire caliente es una técnica que por medio del calor se elimina el agua que contienen algunos alimentos mediante la evaporación. El proceso de secado de los sólidos por evaporación se puede considerar como dos procesos que se realizan de forma simultánea: un proceso de transferencia de calor, en el que el calor se transfiere al sólido húmedo con el fin de evaporar el líquido, y un proceso de transferencia de masa, en el cual el líquido o vapor se mueve dentro del sólido y el vapor sale de la superficie sólida (Brammer & Bridgwater, 1999). Estos procesos se representan en la [Figura 2](#).

**Figura 2.** Procesos que intervienen en el secado de sólidos por evaporación.



**Fuente:** Autores

El proceso de secado de alimentos no sólo afecta al contenido en agua del alimento, sino también a otras de sus características físicas y químicas (Fito, Albors, & Barat, 2001).

En el proceso de deshidratación por aire caliente se deben tener en cuenta factores que regulan este proceso, la velocidad de secado depende de:

- Velocidad del aire: Aumenta los coeficientes globales de transmisión de calor y de masa, disminuyendo el tiempo de secado (Fito et al., 2001). Sin embargo, es importante resaltar que este fenómeno solo ocurre en la primera parte del secado.
- Temperatura y tiempo: la velocidad de secado aumenta al aumentar la temperatura, y por tanto, el tiempo disminuye (Simal, Deyá, Frau, & Rosselló, 1997). En este caso, hay que tener en cuenta que a mayor temperatura ( $>60^{\circ}\text{C}$ ) puede verse afectado el alimento, ya

que tienen lugar fenómenos de encostramiento superficial, pérdida nutrientes termosensibles y en muchos casos pardeamiento no enzimático (Reacción de Maillard).

- Humedad del aire: cuanto más seco esté el aire, mayor será la velocidad de deshidratación ya que aumenta la fuerza impulsora para el transporte de masa.
- Influencia del tejido vegetal: las propiedades naturales del tejido son un factor determinante en el proceso de deshidratación. Así, los cambios que se producen durante la maduración del fruto afectarán a la evolución del proceso de deshidratación obteniéndose resultados diferentes según el estado de madurez del fruto. La velocidad y el tiempo total del secado están influenciados por estos factores y además se deben tener en cuenta las propiedades del producto, especialmente tamaño y geometría de la partícula, su ordenación geométrica en relación con el medio de transferencia y las características del equipo de secado (Tulasidas, Raghavan, & Mujumdar, 1995).

### **1.4.3 DESHIDRATACIÓN POR MICROONDAS**

Las microondas pertenecen a la gama de ondas del espectro electromagnético y su frecuencia se sitúa entre la de los rayos infrarrojos y la de las ondas de radio y televisión. Habitualmente, en este tipo de mecanismos, se manejan frecuencias de 300 MHz a 300 GHz. Calentar y secar con energía microondas es totalmente diferente al calentamiento y secado convencional (Gutiérrez, Ana; Infantes, Marcos; Pascual, Gloria; Zamora, 2015). En el calentamiento de alimentos por microondas, los campos eléctricos interaccionan con las moléculas de agua e iones en el alimento, generando calor en forma volumétrica en el interior del mismo. Una molécula de agua es un dipolo eléctrico que, cuando se lo somete a un campo eléctrico oscilante de elevada frecuencia, los dipolos se reorientan con cada cambio de polaridad. Así se produce la fricción dentro del alimento que hace posible que el mismo se caliente. El calentamiento por microondas

es un calentamiento global, debido a la interacción del campo electromagnético con el material como un todo. En la [Figura 3](#) se esquematiza el calentamiento de un sólido por microondas. El agua en estado líquido y el vapor de agua se transportan en el alimento por dos mecanismos principales; el agua lo hace por capilaridad y diferencia de presión y el vapor por difusión y diferencia de presión (Contreras, 2006).

**Figura 3.** Calentamiento de un sólido por microondas.



**Fuente:** Autores

El calentamiento sucede casi instantáneamente y puede ser muy rápido; la rapidez de calentamiento puede ser una ventaja y puede realizarse en segundos o en minutos, lo que podría tardar horas o incluso días con un método de secado convencional (Arballo, Campañone, & Mascheroni, 2010).

Entre las ventajas de utilizar hornos microondas para operaciones de secado se encuentran:

- Mayor eficiencia energética debido a que en la mayoría de los casos, la energía interactúa con el disolvente y no con el sustrato

- Reducción de la migración que el solvente, puesto que generalmente, se elimina en forma de vapor, por lo que no arrastra otros materiales a la superficie
- Velocidad, ya que los tiempos de secado se pueden disminuir en un 50% o más
- Mejora la calidad del producto, en algunos casos elimina el endurecimiento, las tensiones internas y otros problemas como eliminación de nutrientes termosensibles

En los sistemas de microondas, la transferencia de masa es debida principalmente al gradiente total de presión establecido a causa de la rápida generación de vapor dentro del alimento, de este modo se generan deshidrataciones con gran rapidez; sin embargo, se deben tener precauciones, ya que un calentamiento excesivamente rápido, puede ser destructivo.

### **1.5 ALTERACIONES FISICOQUIMICAS EN EL PROCESAMIENTO DE TUBERCULOS.**

El mercado de alimentos deshidratados tiene gran cabida a nivel mundial, sin embargo, el secado de alimentos conlleva una serie de inconvenientes ya que este proceso ocasiona alteraciones en las características químicas y físicas del producto, las cuales repercuten en la calidad final del mismo. Según Bonazzi & Dumoulin (2014) un mayor procesamiento supone una mayor seguridad del alimento, pero habitualmente suele ir asociado a mayor pérdida de características nutricionales y organolépticas. Entre las alteraciones sufridas por el secado se incluyen el endurecimiento superficial del alimento, debido principalmente a un exceso de calentamiento de las capas superficiales durante la eliminación de la humedad del núcleo más interno, junto con una disminución del volumen o retracción. Por otro lado, se pueden producir cambios en cuanto a pérdida de sabor y olor, deterioro de color y textura, y una pérdida general del valor nutricional.

Cabe resaltar que los cambios en el alimento también se ven antes de iniciar el proceso de deshidratación, y van a depender de la operación a la que se sometan, y a las características organolépticas del mismo. Para deshidratar las hortalizas deben someterse a distintos procedimientos que tienen afectación directa sobre su calidad sensorial y nutricional, a continuación, se mencionan algunas de esas operaciones, y su efecto en el alimento.

- Cortado: El corte de las hortalizas antes de su proceso de secado se da fundamentalmente para facilitar, ya que se expone una mayor área superficial, aumentando de este modo la transferencia de calor y masa.
- Escaldado: Es un proceso térmico corto, donde se expone al alimento a temperaturas entre 60°C y 100°C, de 1 a 3 min, eso depende de la naturaleza y el tamaño del producto (Barrero & Sandoval, 2006). El fin del escaldado es principalmente: desactivar enzimas como la Polifenoloxidasas (PPO) responsable de coloraciones marrones cuando el alimento está expuesto al oxígeno, lipoxigenasas, lipasas y proteasas que ocasionan pérdida de sabor y pectinasas y celulasas que causan cambios en la textura. Prevenir la lixiviación del almidón, lo que evitará productos con aspecto turbio, en algunos casos también mejora el color del alimento. La reducción de la carga microbiana superficial y reducción del tiempo de cocinado (Arrazola, Alvis, & García, 2016).

El color es muy importante en el procesamiento de alimentos, ya que el consumidor lo juzga por su apariencia (Badui Dergal, 2006). Los alimentos pueden adquirir su color por medio de diversas fuentes, por ejemplo y la más importante es la de los pigmentos vegetales. En el caso de los tubérculos, entre los principales, se encuentran los carotenoides, que por su carácter lipofílico, no se disuelven en el agua de cocción, por lo que las pérdidas durante el proceso de industrialización de los tubérculos que los contienen son, en este aspecto, pequeñas. Sin

embargo, se alteran fácilmente por oxidación que supone un pardeamiento del producto y una disminución del valor vitamínico (Hernández, Candelas, Meza, & Minjares, 2010).

Como lo indica (Barajas, Martínez, & Rodríguez, 2010) respecto al efecto de la composición nutricional de los productos vegetales sometidos al proceso de secado, el análisis más frecuente que realiza los investigadores que trabajan en este campo es la evaluación de la retención de vitamina C (ácido ascórbico) tras el proceso de secado. Este elemento es seleccionado como un indicador de calidad, debido a su naturaleza termolábil. Su deterioro depende de la temperatura del aire, la potencia del microondas y el contenido de humedad del alimento.

Según Khraisheh, McMinn, & Magee (2004) el contenido de ácido ascórbico total decrece progresivamente con el incremento del tiempo de procesado, a una temperatura o potencia constante. La estabilidad y retención de la vitamina C no depende únicamente de las condiciones de secado, sino también del porcentaje de humedad de la muestra. Las muestras secadas en microondas retienen una concentración mayor de ácido ascórbico en comparación con las muestras secadas por convección, para un contenido específico de humedad.

## **2. ESTADO DEL ARTE**

De acuerdo a las últimas investigaciones o estudios sobre los temas pertinentes del presente trabajo de grado se pueden enunciar los siguientes:

Wais (2011) evaluó el efecto sobre el secado de manzanas frescas combinado deshidratación osmótica y microondas. Durante el proceso se trabajó con cubos de manzana los cuales fueron sometidos a procesos de deshidratación osmótica de (0,1,2,4,12 y 24) h y una potencia en el microondas de 160W 350W 500W 650W. En los resultados obtuvo que el tiempo de secado disminuye cuando aumenta la potencia de secado para un mismo tiempo de deshidratación

osmótica, además se requieren períodos de secado más cortos cuanto más larga ha sido el proceso de deshidratación osmótica, por otra parte las mejores productos con características óptimas en cuanto a características de color y textura se obtuvieron aplicando tratamiento a 160 W y 350 W, sin embargo encontraron que a 160 W obtuvieron productos macizos y uniformes a diferencia de los productos obtenidos a 350 W que fueron productos huecos. Se destaca el uso de deshidratación osmótica como tratamiento previo para obtener las mejores características de calidad en productos deshidratados, además señala que el uso de microondas como tecnología emergente es una alternativa óptima para reducir costos energéticos y mantener las características organolépticas y nutricionales del producto.

Villacrés, Quelal, & Alvarez (2016) reportan en su libro “Redescubriendo la oca y la mashua: Desarrollo de nuevos snacks” la obtención de un snack a base de oca (*Oxalis tuberosa*) y mashua (*Tropaeolum tuberosum*), los objetivos planteados en este estudio se centraron en la obtención del snack empleando la combinación de diferentes tratamientos (escaldado, deshidratación osmótica y fritura) con el fin de reducir al máximo la concentración de los compuestos anti nutricionales de los tubérculos que pueden afectar la calidad sensorial del producto final, además realizaron la caracterización fisicoquímica de los tubérculos en crudo y al snack, realizaron un análisis sensorial para conocer la aceptabilidad del producto y finalmente evaluaron la vida útil del producto empleando dos materiales de envase diferentes (empaques de aluminio y empaques de polipropileno), además de aplicar una concentración de nitrógeno del 2% en ambos materiales. Como conclusión de este estudio encontraron que a través de la aplicación de un escaldado (80 °C, 5 min) seguido de una deshidratación osmótica (50°Brix, 1 % Sal, 65 °C y 1 h), una fritura (170 °C y 300 s) y finalmente el envasado en empaques de aluminio se lograba obtener la mejor aceptación sensorial y el mayor tiempo de vida útil (111 días) en la



Oca, en cuanto a la Mashua encontraron que requiere de una cocción inicial ( 90 °C,15 min), seguido de la deshidratación osmótica (: 50 °Brix, 60 °C y 20 min), la aplicación de un pre secado (60 °C, 1 h), fritura (170 °C, 40 s) y finalmente envasado en empaques de aluminio para obtener la mejor aceptación del consumidor y garantizar una vida útil de 90 días. Finalmente, como recomendación indican implementar la fritura al vacío para preservar en mayor medida las componentes nutricionales de los tubérculos.

Pazos (2017) presentó en su tesis el desarrollo de un prototipo de snack crocante salado con tres tubérculos andinos, el objetivo de la investigación fue establecer las condiciones de transformación para tres tubérculos andinos: papa bar. Leona Negra (*Solanum tuberosum ssp. andigenum*), Melloco (*Ullucus tuberosus Loz.*) y Oca (*Oxalis tuberosa Mol.*), que permitieron la obtención de un snack crocante salado, adecuado a las preferencias de los potenciales consumidores. Se evaluaron dos tipos de corte con dos procesos, arreglados en cuatro tratamientos, con tres repeticiones en una misma materia prima. Cada tratamiento se almacenó en bolsas de polietileno de baja densidad para evaluar la estabilidad del color y la textura en tres días consecutivos. Para el análisis estadístico se realizaron pruebas de normalidad, análisis de varianza, y separación de medias de Tukey. Se realizó un análisis sensorial con el uso de pruebas de preferencia pareada con condición placebo para evaluar dos sabores: hierbas secas y pimienta. Se determinó la proporción que generó mayor utilidad y se realizó un análisis de costo beneficio del prototipo. Se definió que el tipo de corte chip y el proceso de horneado mantuvieron la crocancia y el color por más días (Valor  $P > 0,05$ ). La proporción menos costosa fue de 50% de papa bar. Leona Negra, 25% de melloco y 25% de oca. Los consumidores prefirieron un sabor a hierbas en el producto. Como prototipo se obtuvo un snack de un color amarillo pálido y sabor a hierbas secas, en el cual se controlaron las reacciones de pardeamiento Enzimático y no

enzimático con inhibidores físicos y químicos. El autor como recomendación sugirió continuar con el desarrollo y escalamiento del producto en estudios de vida útil y aceptación por parte del consumidor.

Quelal, Chicano, Villacrés, Álvarez, & Ruales (2017) Presentaron en el VII Congreso Ecuatoriano de la Papa la presentación de su artículo titulado ‘‘Obtención de un snack de papa nativa aplicando la tecnología de horneado por microondas’’, en este estudio se aplicó el horneado por microondas como un proceso alternativo a la fritura convencional para preservar los compuestos funcionales (fenoles, ácido ascórbico, carotenoides, antocianinas, taninos y flavonoides) presentes en las variedades nativas. El proceso térmico y la deshidratación osmótica influyeron en la disminución de los compuestos antioxidantes, en relación a la papa cruda, sin embargo, la retención de nutrientes en los chips horneados en microondas es mayor con relación a la fritura convencional, la cual induce una mayor degradación de estos elementos.

### **3. MARCO LEGAL**

En relación a la legislación colombiana, no existen normas y reglamentos que apliquen de forma directa al snack como tal, debido a que este término es amplio, y puede ser aplicado a varios alimentos. Para fines de este documento se menciona normativa que puede incluir este tipo de productos dentro de su contenido.

- La resolución 0719 de 2015 establece que los Snack obtenidos a partir de tubérculos son considerados de riesgo bajo para salud pública, por lo cual si se llegasen a comercializar dentro del territorio colombiano deberán contar con una notificación sanitaria.
- Resolución 2674 de 2013 que tiene por objeto establecer los requisitos sanitarios que deben cumplir las personas naturales y/o jurídicas que ejercen actividades de fabricación,

procesamiento, preparación, envase, almacenamiento, transporte, distribución y comercialización de alimentos y materias primas de alimento

- Resolución 2155 de 2012 por la cual se establece el reglamento técnico sobre los requisitos sanitarios que deben cumplir las hortalizas que se procesen, empaquen, transporten, importen y comercialicen en el territorio nacional.
- Resolución 5109 de 2005, por la cual se establece el reglamento técnico sobre los requisitos de rotulado o etiquetado que deben cumplir los alimentos envasados y materias primas de alimentos para consumo humano.
- Resolución 14712 de 1984, por lo cual se reglamenta lo relacionado con producción, procesamiento, transporte, almacenamiento y comercialización de vegetales como frutas y hortalizas elaboradas.
- Reglamento (CE) N° 258/97 del Parlamento Europeo y del Consejo (Unión Europea, 2015). Donde se expresan los criterios que deben seguir los alimentos e ingredientes alimentarios nuevos.

#### **4. METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN**

En este capítulo se relacionan todas las actividades realizadas durante la experimentación para la obtención de los tubérculos deshidratados por dos metodologías distintas, así como las técnicas empleadas para su caracterización. Por otra parte, también se muestran los procedimientos que se llevaron a cabo para establecer la relación del snack final, la determinación de sus componentes bioactivos y su vida útil.

#### 4.1 OBTENCION DEL SNACK

Para la elaboración del snack se trabajó con Cubios variedad Amarilla, Chuguas variedad Pastusa e Ibias Rosadas, las cuales se obtuvieron de una finca localizada en el municipio de Ventaquemada-Boyacá. Fueron procesados con 3 días de cosecha.

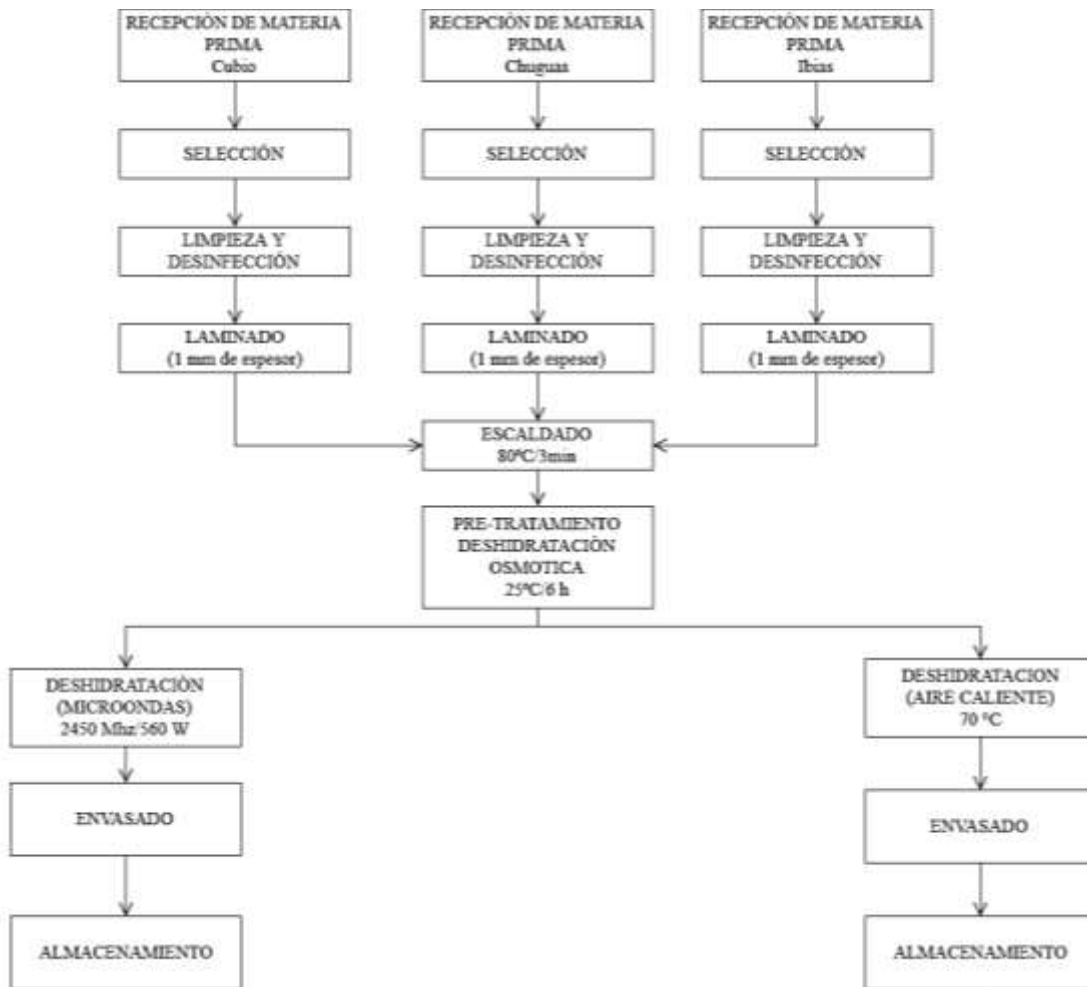
#### 4.2 DESCRIPCION DEL PROCESO

- **Selección:** Cada uno de los tubérculos seleccionados para realizar el snack se sometieron por separado a un proceso de selección con el fin de eliminar toda la materia prima que viniera con daños mecánicos o fisiológicos y residuos orgánicos.
- **Limpieza y desinfección:** Los tubérculos previamente seleccionados se llevaron a un proceso de lavado por inmersión en agua para retirar los residuos de polvo, tierra y residuos orgánicos. En seguida se realizó la desinfección empleando desinfectante comercial Timsen teniendo como compuesto activo amonios cuaternarios, empleando una concentración de 200 ppm durante 3 min.
- **Laminado:** Teniendo la materia prima limpia y desinfectada, se procedió a realizar cortes transversales en los tubérculos dejando un espesor de 1 mm, el diámetro de los chips vario de acuerdo con la morfología de cada tubérculo.
- **Escaldado:** Los tubérculos se sumergieron en agua a temperatura constante de 80°C durante 3 minutos, con el fin de inactivar enzimas y aumentar la permeabilidad del producto.
- **Pre-Tratamiento por deshidratación osmótica (DO):** Para este tratamiento osmótico se utilizó una solución que estaba compuesta por 5 % de NaCl y 1 % de especias. Posteriormente las láminas se sumergieron en la solución durante 6 horas a temperatura

ambiente. Una vez culminado el tiempo del tratamiento, la muestra deshidratada se escurrió en un colador para eliminar el exceso de solución osmótica

- **Deshidratación por microondas (MW):** Siguiendo la metodología de García, Alvis & García (2015) se utilizó un horno microondas con una frecuencia de 2450 MHz. Inicialmente se tomaron 100g de muestra y se distribuyeron uniformemente en el plato del microondas a una potencia de 560 W. Este proceso se finalizó al cabo de 4 min, realizando un control al paso de los 2 min con el fin de eliminar el vapor generado dentro de la cabina del microondas.
- **Deshidratación por secado convectivo (SC):** Para este proceso se utilizó un deshidratador de bandejas por aire caliente marca Maquipres, la temperatura de secado fue de 70°C, se mantuvo a una velocidad promedio de 1.2 m/s y se llevó a cabo durante 30 minutos.
- **Envasado:** Los tubérculos deshidratados que se obtuvieron se envasaron en bolsas de polipropileno biorientado metalizado y se sellaron inmediatamente para evitar que recogieran humedad del ambiente.
- **Almacenamiento:** Las bolsas se almacenaron a temperatura ambiente, en un lugar fresco y protegidas de focos de luz intensa, para continuar con los posteriores análisis.

**Figura 4.** Diagrama de flujo –Elaboración del Snack



### 4.3 DETERMINACION DE LAS CARACTERISTICAS FISICOQUIMICAS

Teniendo los tubérculos deshidratados por ambos métodos se procedió a determinar las características fisicoquímicas (color, textura y humedad) de cada uno por separado.

- **Color:** La determinación de color se efectuó a través de un colorímetro de marca Konica Minolta, el cual proporciona datos del espacio CIELAB, donde "L\*" representa la luminosidad, "a\*" representa la variación de verde a rojo y "b\*" muestra la variación entre los colores azul amarillo (Ruiz, Reich, Bureau, Renard, & Audergon, 2008).

- **Textura:** La determinación de textura se llevó a cabo empleando un texturómetro, utilizando la celda de Kramer, se trituraron las muestras realizando una compresión parcial. Se tomaron 12 g de cada uno de los tubérculos y se adecuó el equipo con una fuerza de 1kN con una velocidad de 50mm/min con el fin de obtener la fuerza máxima de cizallamiento.
- **Determinación del contenido humedad:** El contenido de humedad se determinó siguiendo el método N° 950.46B (a) (AOAC, 2005) empleando una termo balanza marca MA 35 Sartorius.

#### **4.4 ANALISIS SENSORIAL DE LOS PRODUCTOS OBTENIDOS**

El análisis sensorial se realizó empleando una prueba hedónica utilizando una escala de 5 puntos (donde 1 es me disgusta mucho y 5 me gusta muchísimo) a un panel sensorial no entrenado de 60 personas de diferentes edades. La evaluación se realizó a cada uno de los tubérculos obtenidos por diferentes métodos de deshidratación.

#### **4.5 ANALISIS ESTADISTICO**

Primero se realizó una prueba de normalidad con el fin de determinar si las muestras seguían una distribución normal. Si las muestras seguían una distribución normal, se aplicó la prueba estadística paramétrica ANOVA, por el contrario, para aquellas pruebas que no presentaban dicha distribución, se aplicó la prueba no paramétrica de Kruskal-Wallis para más de dos muestras independientes. Este análisis se realizó con el fin de determinar la existencia o no de diferencias significativas entre las muestras, respecto a cada uno de los parámetros evaluados. Teniendo en cuenta el nivel de significancia del 95%, se planteó una hipótesis nula siendo ( $H_0$ ): Los métodos de secado no generan diferencias significativas entre las muestras y una hipótesis alterna siendo ( $H_1$ ): Al menos un tratamiento de secado en las muestras presenta diferencias

significativas. La muestra de cada tubérculo escogida para el snack fue la que mostro la media más alta en comparación con las otras.

#### **4.6 DETERMINACION DE FORMULACION DEL SNACK**

Teniendo los resultados estadísticos de la aceptación de cada uno de los tubérculos por parte del panel sensorial y su respectiva caracterización fisicoquímica, se determinó la formulación del snack.

#### **4.7 DETERMINACION DE CONTENIDO FENOLICO Y CAPACIDAD**

##### **ANTIOXIDANTE.**

Se tomó una muestra representativa, se molió y con la harina obtenida se llevó a cabo la cuantificación del contenido fenólico y capacidad antioxidante por triplicado.

**4.7.1 Elaboración del extracto:** Inicialmente se pesaron 100 mg de la harina del snack procesado, se adicionaron 2 mL de etanol 50% v/v, se agito esta mezcla durante 30 min a 50°C y posteriormente se centrifugo a 500 rpm durante 10 min a 4°C. Se recuperó el sobrenadante y se siguió con los análisis.

**4.7.2 Determinación del Contenido Fenólico Total:** El contenido fenólico total se determinó mediante el método de Folin-Ciocalteu siguiendo la metodología propuesta por (Ortiz,2019). Inicialmente se realizó una curva de calibración elaborada a partir de una solución estándar de ácido gálico (0,1 mg/mL) de la cual se tomaron volúmenes de 0 µL a 160 µL y se completó el volumen de 500 µL para cada uno. De los extractos realizados anteriormente se tomaron 500 µL. A cada una de estas muestras se le añadió 250 µL de reactivo de Folin-Ciocalteu 1N, se llevó a baño con ultrasonido por 5 min, posteriormente se adicionaron 250 µL de Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> al 20% y se dejó en reposo por 2h en oscuridad.



Transcurrido dicho tiempo se realizó la medición de absorbancia por medio de un espectrofotómetro a 760 nm. Los resultados fueron expresados en  $\mu\text{g}$  de ácido gálico por g de extractos, utilizando la curva de calibración (Anexo 2).

**4.7.3 Determinación del % de Capacidad Antioxidante:** La capacidad de captura de radicales libres se determinó utilizando el método de 1,1-difenil. -2-picrihidrazilo (DPPH). Se utilizó la metodología propuesta por (Brand-Williams, Cuvelier, & Berset, 1995) con algunas modificaciones (Ortiz, 2019). Inicialmente se realizó la preparación del radical DPPH con 0,00394g en 100 mL de etanol, al igual que el patrón Trolox del cual se pesaron 0,0035 g en 100 mL de etanol. Posteriormente se realizó una curva de calibración a partir de esta última con volúmenes de 0  $\mu\text{L}$  a 160  $\mu\text{L}$  completando 500  $\mu\text{L}$  con la adición de agua destilada, se añadió 2 mL de la solución de DPPH. Las muestras se llevaron a oscuridad por 30 min para que se diera la reacción. De los extractos obtenidos se tomó un volumen de 500  $\mu\text{L}$ , añadiendo 2 mL de DPPH y llevando de igual forma a la oscuridad. Luego de transcurrido el tiempo se leyó la absorbancia a 517 nm. Los resultados se expresaron en equivalente de Trolox en  $\mu\text{mol Trolox/g}$  de muestra, utilizando la curva de calibración (Anexo 2).

#### **4.8 DETERMINACION DE VIDA ÚTIL**

La vitamina C funciona como un antioxidante natural que previene los daños en las macromoléculas del cuerpo humano a causa de los radicales libres. No obstante, el ácido dehidroascórbico se caracteriza por ser uno de los constituyentes más termosensibles en los alimentos, y su disminución durante el almacenamiento de los productos es ocasionada por la exposición de los constituyentes de estos a condiciones adversas de conservación.

Generalmente, los cambios en la calidad de los alimentos son reportados en la literatura mediante modelos cinéticos de degradación de orden cero y de primer orden (Wang et al., 2006). El estudio de la cinética de degradación de la vitamina C ayuda a entender el comportamiento de un determinado producto y sus componentes, lo cual permite predecir las mejores condiciones de almacenamiento, el tiempo de vida media y la vida útil de dicho producto.

La vida media de una reacción ( $t_{1/2}$ ) es el tiempo necesario para que la concentración de un reactivo descienda a la mitad de su valor original (Brown, LeMay, Jr., & Burdge, 2004). Esta es una forma conveniente de describir la rapidez con la que una reacción ocurre; una reacción rápida tiene una vida media breve. De este modo, se medirá la vida útil del snack de acuerdo a la cinética de degradación de vitamina C.

#### **4.8.1 Cuantificación de vitamina C**

Se empleó el método de Mohr (1957), citado por Rodríguez (2017) para una muestra de 5 g de producto. La muestra se llevó a un balón aforado de 100 mL con ácido oxálico al 0,15% hasta obtener una mezcla homogénea. Posterior a ello se dejó en reposo por 15 min, con ayuda de una micropipeta se tomó una alícuota de 1.000  $\mu$ L y se llevará a un tubo de ensayo de 10 mL para adicionarle 4 mL de mezcla de 2 -nitroanilina diazotada, posterior se homogenizo la muestra y se dejó reposar por 10 min en un ambiente oscuro. Posteriormente se adicionó 1,2 mL de NaOH al 10% y 3,8 mL de agua destilada, se homogenizo y nuevamente se dejó en oscuridad por 5 min. Por último, se midió la cantidad de vitamina C utilizando un espectrofotómetro leyendo las muestras a una longitud de onda de 540 nm con una trayectoria de 1cm. Para los cálculos de la cantidad de vitamina C se empleó la [ecuación 1](#)

$$\% \text{Vit C} = \left( \frac{Am - B}{P} * \frac{Vi}{W} \right) * 100 \quad \text{Ecuación 1}$$

Donde:  $A_m$  es la absorbancia de la muestra obtenida,  $B$  el intercepto de la curva obtenida con la relación entre absorbancia y concentración de patrón (ácido ascórbico),  $P$  es la pendiente de la curva obtenida con la relación entre absorbancia y concentración de los patrones,  $V_i$  es el volumen de aforo de la muestra y  $W$  es el peso de la muestra.

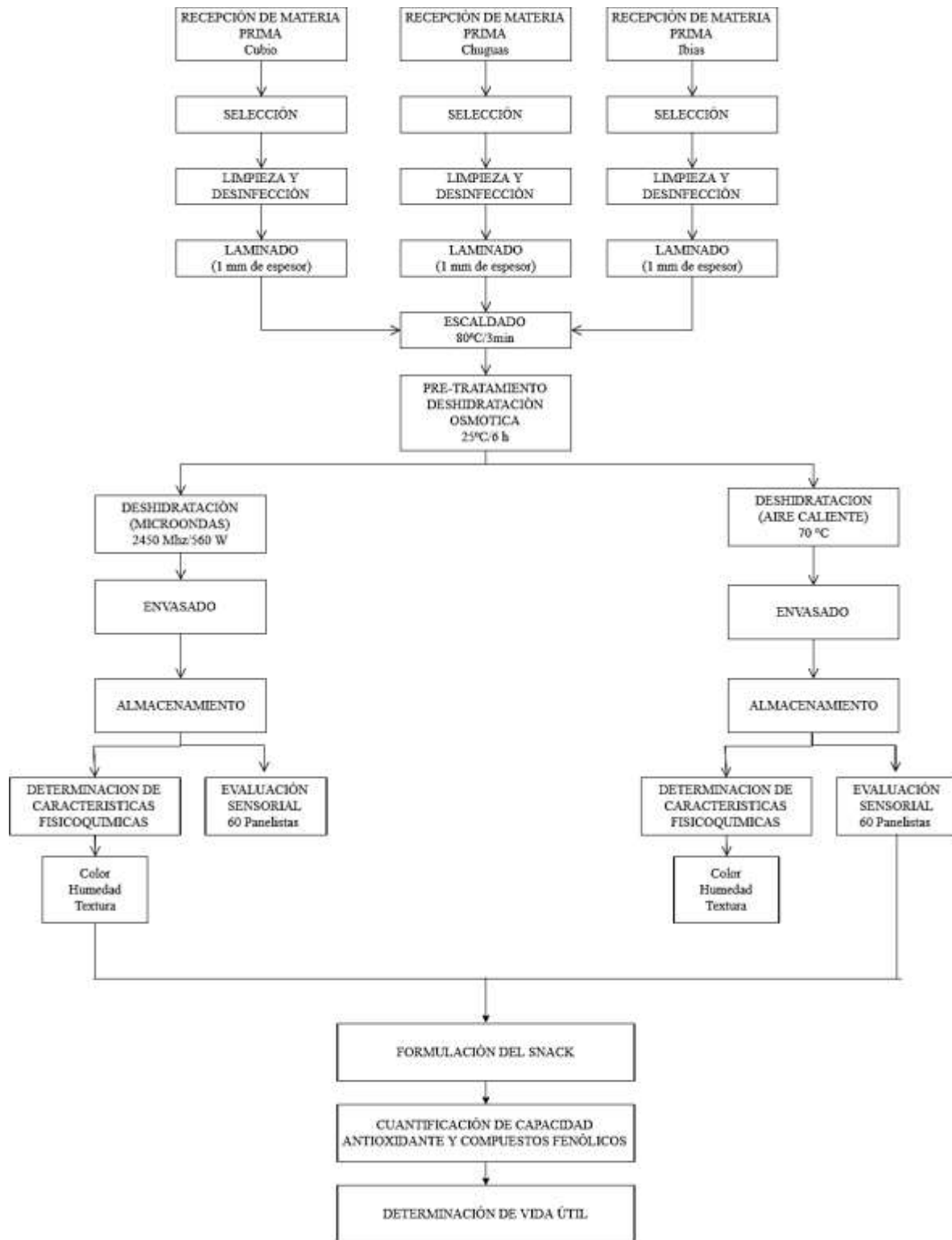
#### **4.8.2 Determinación de tiempo de vida útil**

Las muestras se almacenaron a 3 temperaturas 25°C, 40°C y 55°C. El seguimiento se llevó a cabo dependiendo de la temperatura a la que esta almacenada la muestra, a 55°C cada 3 días, a 40°C cada 5 días y a 25°C cada 7 días durante 3 semanas. Se determinó la cinética de degradación de la vitamina C, donde los datos obtenidos se sometieron a un análisis de regresión con los modelos de cinética de orden cero ([ecuación 2](#))

$$\text{Cinética de orden cero: } C = C_0 + (-K_0) t \quad \text{Ecuación 2.}$$

Donde  $C$  es la concentración de ácido ascórbico (mg/100 g) en el tiempo  $t$ ;  $C_0$  es la concentración de ácido ascórbico en el tiempo cero;  $K_0$  es la constante de velocidad de la degradación del ácido ascórbico (mg/100 g/día); y  $t$  es el tiempo de almacenamiento (días).

**Figura 5.** Diagrama de flujo -Desarrollo del proyecto de investigación



## 5 RESULTADOS Y ANÁLISIS

### 5.1 DETERMINACIÓN DE CARACTERÍSTICAS FÍSICOQUÍMICAS

#### 5.1.1 Determinación de humedad

**Tabla 2.** Porcentaje de humedad inicial de los tubérculos en diferentes condiciones de tratamiento.

<b>Tubérculo</b>	<b>% Humedad en crudo</b>	<b>% Humedad DO + MW</b>	<b>% Humedad DO + SC</b>
<b>Cubio</b>	85,33±0,24	3,48±0,23	4,51±0,35
<b>Chugua</b>	82,15±0,31	3,43±0,54	4,49±0,41
<b>Ibia</b>	84,2±0,22	3,41±0,34	4,45±0,47

DO: Deshidratación osmótica

MW: Deshidratación por microondas

SC: Deshidratación con secado convectivo

La humedad obtenida de los tubérculos en crudo representa un valor promedio con lo obtenido por Espín *et al.*, 2001 y Quelal *et al.*, 2017 sin embargo, es importante mencionar que, pueden existir variaciones en el contenido de sus componentes químicos, ya que estos van a depender en gran medida de factores como el genotipo, las condiciones de crecimiento, la madurez en la cosecha y el tratamiento postcosecha (Leidi *et al.*, 2018).

El proceso de pre-deshidratación fue utilizado con el fin de aumentar la velocidad de secado en los productos, pero además confirió características sensoriales a los mismos, generando de esta forma una mayor aceptación sensorial. El agente utilizado para el pre-tratamiento (NaCl) tuvo una incidencia favorable, ya que como lo indican Torreggiani & Bertolo (2001), al ser un agente deshidratante de bajo peso molecular favorece la ganancia de sólidos, ocasionando una mayor impregnación de solutos en la muestra.

Los resultados del contenido final de humedad en los chips obtuvieron un valor promedio de 3,44% para los productos deshidratados con microondas y un promedio de 4,48% para los productos obtenidos por medio de secado convectivo, estos resultados se encuentran en los requerimientos establecidos por la Resolución 2155 DE 2012, por la cual se establece el reglamento técnico sobre los requisitos sanitarios que deben cumplir las hortalizas que se procesen, empaquen, transporten, importen y comercialicen en el territorio nacional, que señala como máximo 12% de contenido final de humedad.

Se realizó un análisis estadístico, aplicando un nivel de significancia del 95%, donde se obtuvo un valor  $P=0,416$ , es decir que no hay diferencias estadísticamente significativas obtenidas entre los diferentes tratamientos aplicados. Sin embargo, y como se evidencia en la [Tabla 2](#) la deshidratación por microondas redujo el contenido de humedad en mayor proporción, que el proceso de deshidratación por aire caliente, lo que genera un mayor ahorro energético, y menos tiempo de tratamiento, ya que las velocidades de calentamiento son más altas. Con el proceso de secado de los tubérculos, se ve una reducción del 80% de humedad en todos los casos.

El tiempo de tratamiento empleado para la obtención del snack por microondas fue de 4 minutos, mientras que para la obtención del producto por aire caliente se empleó un tiempo aproximado de 30 minutos, justificando de este modo, el alto consumo energético en los tratamientos convencionales.

Es evidente que los snacks obtenidos por medio del microondas obtuvieron menor humedad en poco tiempo, esto pudo darse ya que el paso de ondas a través de la estructura de la lámina de los tubérculos ocasiono un calentamiento desde el centro, generando de este modo un perfil de temperatura de mayor a menor, desde el centro hacia afuera, logrando que el agua se

calentara y migrara hacia la superficie de la lámina, alcanzando la temperatura de evaporación rápidamente. Esto generó un gradiente de presión total en el alimento, lo que hizo, que la mayor parte de la humedad contenida se vaporizara antes de salir de la muestra. Wang, Xiong, & Yu (2004) indican que cuanto mayor sea la humedad inicial del producto a secar, mayor es la influencia del gradiente de presión en la eliminación de masa total, por tanto existe una acción de bombeo, que fuerza al líquido hacia la superficie, generando un secado rápido, sin la necesidad de recalentar la atmosfera, ni causar endurecimiento u otros fenómenos de sobrecalentamiento en la superficie.

### 5.1.2 Determinación de color

**Tabla 3.** Color inicial en coordenadas CIELAB en los tubérculos con diferentes tratamientos.

Tubérculo	Blanco			DO		
	L*	a*	b*	L*	a*	b*
<b>Cubio</b>	53,44±3,6	8,23±2,12	4,26±2,04	61,86±1,02	2,35±0,24	7,16±0,45
<b>Chugua</b>	59,09 ±0,22	9,10±2,94	14,01±4,18	51,56±0,72	12,84±0,46	17,16±0,84
<b>Ibia</b>	55,49±0,33	8,76±1,98	7,12±2,76	57,87±0,68	7,42±0,21	12,13±0,45
Tubérculo	DO+MW			DO+SC		
	L*	a*	b*	L*	a*	b*
<b>Cubio</b>	58,61±2,7	6,16±0,86	0,75±0,7	58,49±2,35	6,06±0,27	0,58±0,16
<b>Chugua</b>	55,1±0,31	11,62±1,10	17,22±0,94	54,05±0,57	11,54±0,8	16,97±0,87
<b>Ibia</b>	70,34 ±1,2	14,87±0,92	15,12±13,5	68,34±1,65	13,76±0,21	15,35±0,98

La [Tabla 3](#) muestra las coordenadas de luminosidad L\*, coordenadas rojo/verde a\* y coordenadas amarillo azul b\* para cada una de las muestras obtenidas. El análisis estadístico donde se analizan las diferentes muestras con distintos tratamientos se evidencia en la [Tabla 4](#). Hubo diferencias significativas para la coordenada b\* en el cubio y para la coordenada L\* en las

chugas, sin embargo, y como se puede observar en la [Gráfica 2](#) y [Gráfica 3](#) la muestra diferente fue en ambos casos, la que no tenía ningún tratamiento, mientras que la comparación entre cubio y Chugua obtenidos por microondas y secado convectivo no presentaron diferencias significativas

**Tabla 4.** Análisis estadístico de las coordenadas CIELAB para cada una de las muestras obtenidas

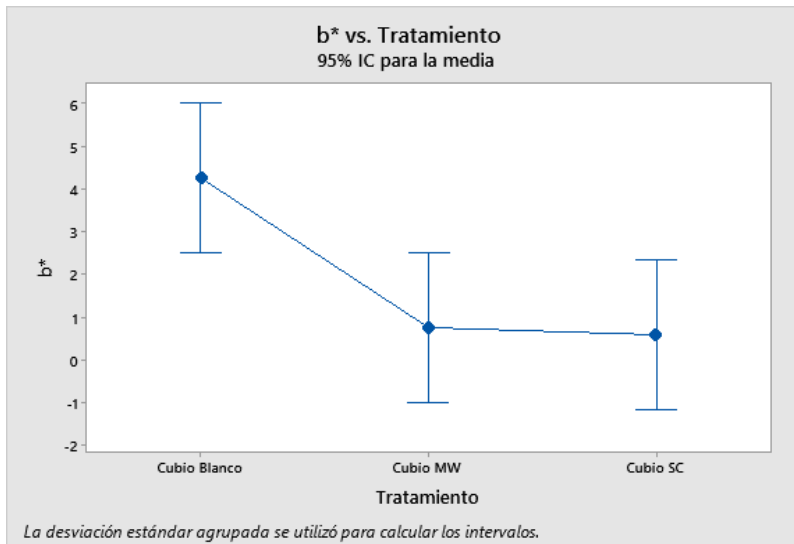
Tratamiento	Valor P (L*)	Valor P (a*)	Valor P (b*)
Cubio B vs Cubio MW vs Cubio SC	0,124	0,393	0,019
Chugua B vs Chugua MW vs Chugua SC	0,027	0,193	0,733
Ibia B vs Ibia MW vs Ibia SC	0,113	0,259	0,183

Si se realiza una comparación entre el valor de luminosidad de las muestras a las cuales se les aplicó un proceso de deshidratación, se puede evidenciar que, las muestras tratadas con microondas tienen un mayor valor de L\* que las tratadas por secado convencional, o se debe posiblemente a un aumento de exposición térmica de las muestras, lo que ocasiona la pérdida de pigmentos principalmente los carotenoides. Por otra parte, es usual que los valores de b\* disminuyan debido a la generación de los productos coloreados como melanoidinas que se forman durante la reacción de Maillard (Lara, Cortés, Briones, & Perez, 2011) como se evidencia en la [Gráfica 2](#), donde este valor desciende en las muestras a las cuales se les aplicó un tratamiento térmico.

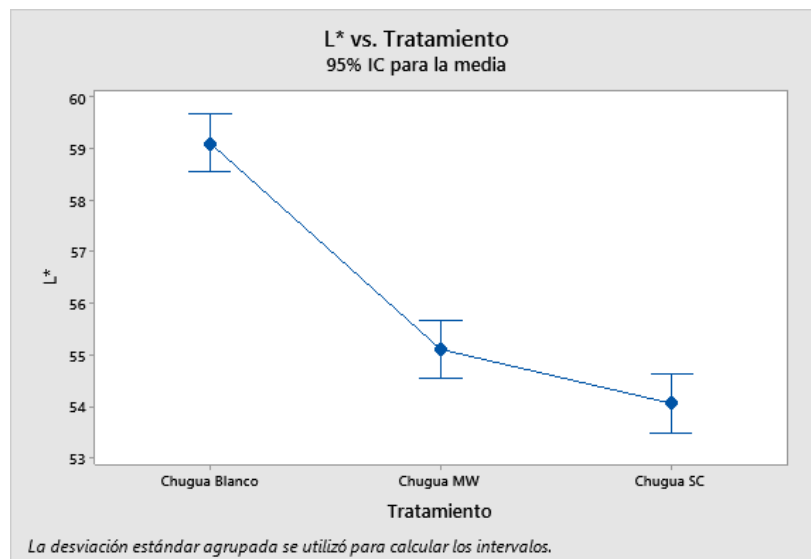
Es importante destacar que, aunque en la [Gráfica 3](#) se aprecia una diferencia entre las muestras deshidratadas por microondas y secado convencional, los análisis estadísticos indican que no existen diferencias significativas entre estas muestras.



**Gráfica 2.** Coordenada  $b^*$  vs Tratamiento de deshidratación aplicado en láminas de Cubio



**Gráfica 3.** Coordenada  $L^*$  vs Tratamiento de deshidratación aplicado en láminas de Chugua



### 5.1.3 Determinación de Textura

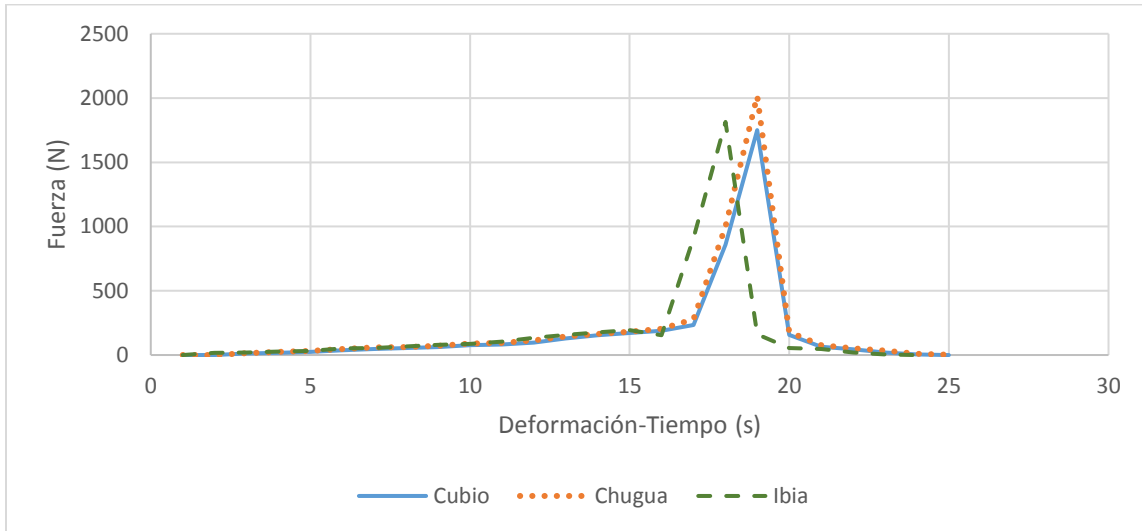
La textura es un atributo que puede denotar frescura y excelencia de un producto (Szczeniak, 2002). En este caso, se determinó la crujencia del producto, y el grado de crujencia se determina

mediante la fracturabilidad, que es la fuerza necesaria para que el material se fracture, y aplica para productos con altos valores de fuerza y baja cohesividad.

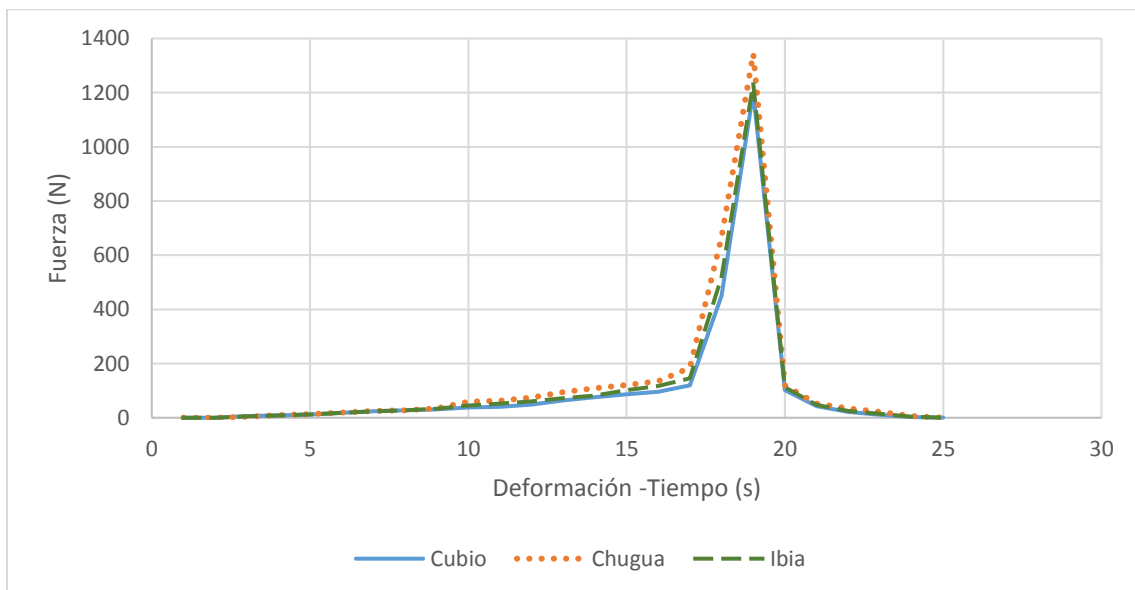
La [Gráfica 4](#) y la [Gráfica 5](#), muestran el comportamiento de la textura de los chips obtenidos por los diferentes métodos de deshidratación, se observa que el valor más alto de dureza lo obtuvo la Chugua obtenida por medio de microondas, con un valor de 2016 N, seguidos de la Ibia y el cubio obtenidos por el mismo método, con un valor de 1814 N y 1750 N respectivamente. Haciendo una comparación con los valores de textura del snack obtenido por deshidratación con un secado convectivo, se evidencia que el valor más alto fue para las Chuguas con un valor de 1344 N, lo que representa una diferencia bastante grande ( $P < 0,05$ ) de la textura conferida al alimento por los dos métodos de deshidratación. Los resultados muestran que el tiempo de exposición, como el contenido de humedad final del producto tienen una influencia directa, ya que a mayor tiempo de exposición y mayor contenido de humedad, la textura disminuye. La acción que tiene la deshidratación por microondas es beneficiosa, ya que el calentamiento desde el centro hacia la superficie crea un cambio en la microestructura de los tejidos con una gran rapidez desarrollando de este modo una costra en la superficie de la rodaja, lo que genera mayor crocancia en los productos (Anton & Luciano, 2007).

Es importante mencionar que son pocos los estudios que se han hecho acerca las propiedades mecánicas de los tubérculos andinos deshidratados, y especialmente por microondas, por lo que no se puede terminar de determinar si los valores obtenidos de fuerza máxima son anómalos o son los esperados para este tipo de productos.

**Grafica 4.** Evaluación de la textura de los chips obtenidos por deshidratación MW



**Grafica 5.** Evaluación de la textura de los chips obtenidos por deshidratación SC



## 5.2 ANÁLISIS SENSORIAL

Para determinar el nivel de aceptación de cada una de las muestras se aplicó una prueba hedónica de 5 puntos a un panel de 60 personas no entrenadas. Los resultados se analizaron primero determinando si los mismos seguían una distribución normal, de ser así, se aplicó un ANOVA, con el fin de determinar si existían diferencias significativas entre las muestras  $p < 0,05$ . Si los datos no seguían una distribución normal, se aplicó la prueba no paramétrica de Kruskal-Wallis. Se plantearon dos hipótesis:

Hipótesis:  $H_0$ : Las muestras son iguales

$H_i$ : Al menos una de las muestras es distinta

Si  $p > 0,05 \rightarrow$  Hay evidencia significativa para aceptar la hipótesis nula ( $H_0$ )

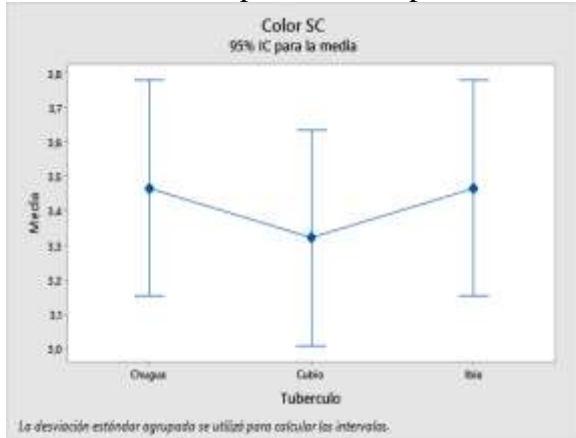
Si  $p < 0,05 \rightarrow$  Hay evidencia significativa para aceptar la hipótesis alterna ( $H_i$ )

Los resultados para todas las variables evaluadas (color, sabor, textura y apariencia) se muestran a continuación:

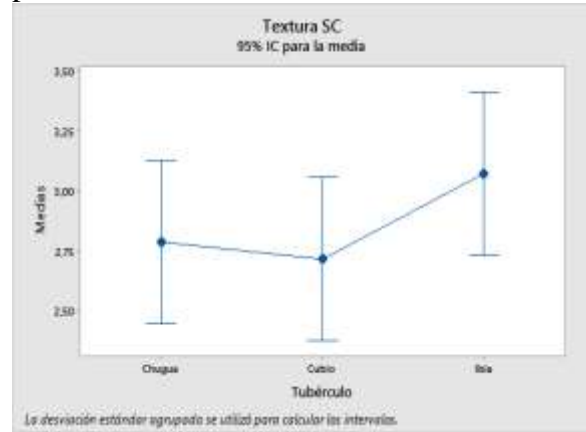
**Tabla 5.** Valor P del tratamiento estadístico aplicado a los tubérculos obtenidos por medio de secado convectivo.

Atributo	Valor P	Hipótesis aceptada
Color	0,836	$H_0$
Textura	0,169	$H_0$
Apariencia	0,741	$H_0$
Sabor	0,07	$H_0$

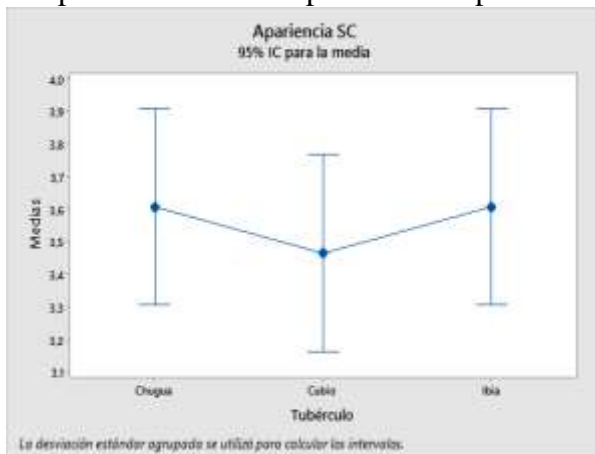
**Grafica 6.** Media de los valores de aceptación de color de los chips obtenidos por SC.



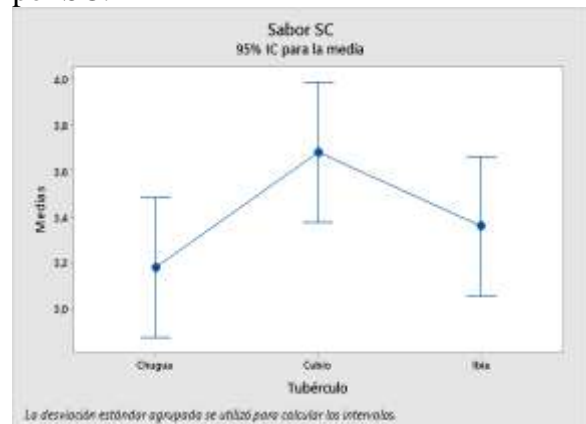
**Grafica 7.** Media de los valores de aceptación de textura de los chips obtenidos por SC.



**Grafica 8.** Media de los valores de aceptación de apariencia de los chips obtenidos por SC.



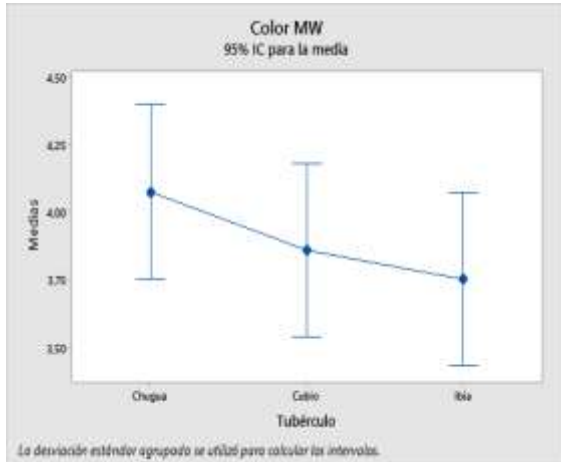
**Grafica 9.** Media de los valores de aceptación de sabor de los chips obtenidos por SC.



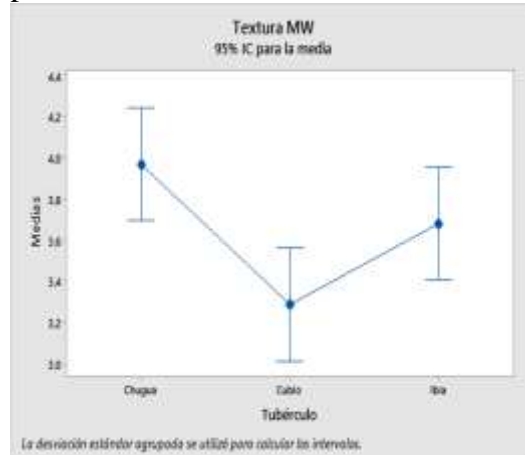
**Tabla 6.** Valor P del tratamiento estadístico aplicado a los tubérculos obtenidos por medio de secado con microondas.

Atributo	Valor P	Hipótesis aceptada
Color	0,327	H <sub>0</sub>
Textura	0,002	H <sub>i</sub>
Apariencia	0,852	H <sub>0</sub>
Sabor	0,001	H <sub>i</sub>

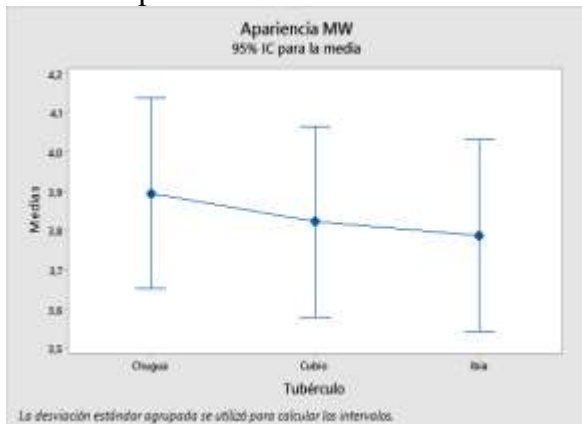
**Grafica 10.** Media de los valores de aceptación de color de los chips obtenidos por MW.



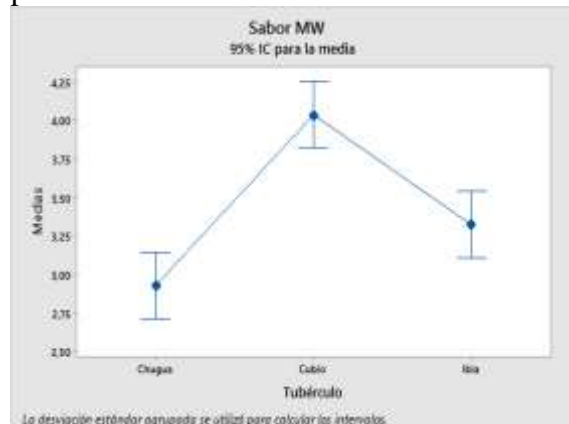
**Grafica 11.** Media de los valores de aceptación de textura de los chips obtenidos por MW.



**Grafica 12.** Media de los valores de aceptación de apariencia de los chips obtenidos por MW.



**Grafica 13.** Media de los valores de aceptación de sabor de los chips obtenidos por MW.



Como se observa en la [Tabla 5](#), no hubo diferencias significativas entre la comparación de atributos de las muestras evaluadas obtenidas por secado convectivo. Sin embargo, se obtuvo una media de aceptación de 3,5 para el color de las Chuguas y las Ibias ([Grafica 6](#)), para la textura la mayor calificación fue de 3,1 para las Ibias ([Grafica 7](#)), en el caso de la mejor aceptación en cuanto a su apariencia fue para las Chuguas y las Ibias con una calificación promedio de 3,6 ([Grafica 8](#)). Finalmente, en el caso del sabor, tuvo mayor aceptación el cubio con un valor medio de 3,7 puntos ([Grafica 9](#)).

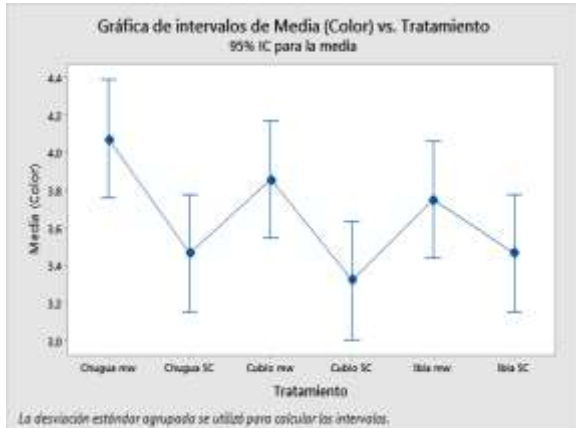
El tratamiento estadístico aplicado a los resultados alcanzados para el análisis sensorial de los tubérculos obtenidos por medio de deshidratación por microondas determinó que existen diferencias significativas en la textura y sabor de los tubérculos, siendo la muestra más aceptada la Chugua en el caso de la textura ([Grafica 10](#)), con un valor medio de aceptación de 4,1 indicando que a el panel le gusta la textura de este alimento. Por otra parte, se comprobó que la muestra más aceptada en cuanto al sabor fue el Cubio con un valor de 4,0 puntos, y la menos aceptada la Chugua con un valor de 2,9 puntos ([Grafica 13](#)).

Con el fin determinar de la proporción de los tubérculos para la formulación del snack, se realizó una comparación de cada una de las variables sensoriales de los productos obtenidos por ambos medios de deshidratación, se pudo comprobar que la única variable evaluada que no tiene diferencias significativas entre las muestras es la apariencia ([Tabla 7](#))

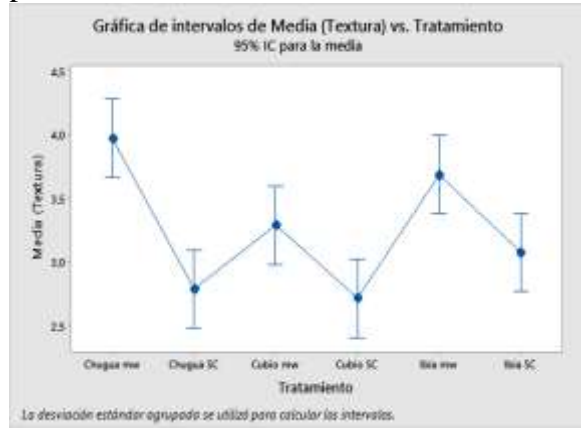
**Tabla 7.** Valor P del tratamiento estadístico aplicado a los tubérculos obtenidos por ambos medios de deshidratación (comparación).

Atributo	Valor P	Hipótesis aceptada
Color	0,024	Hi
Textura	0,001	Hi
Apariencia	0,268	H <sub>0</sub>
Sabor	0,001	Hi

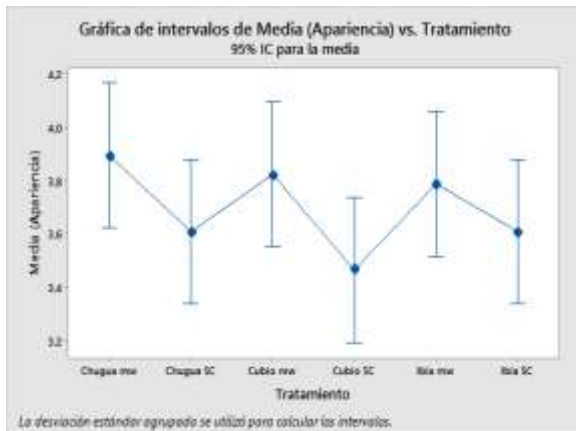
**Grafica 14.** Media de los valores de aceptación de color de los chips obtenidos por ambos medios de deshidratación.



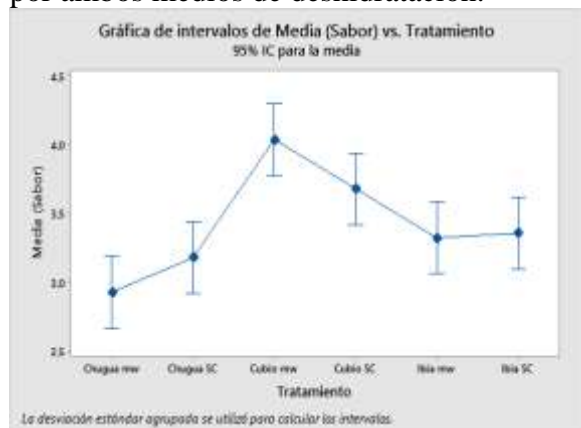
**Grafica 15.** Media de los valores de aceptación de textura de los chips obtenidos por ambos medios de deshidratación.



**Grafica 16.** Media de los valores de aceptación de apariencia de los chips obtenidos por ambos medios de deshidratación.



**Grafica 17.** Media de los valores de aceptación de sabor de los chips obtenidos por ambos medios de deshidratación.



El análisis sensorial de los consumidores indica que las muestras preferidas por los panelistas son a las cuales se les ha aplicado un proceso de deshidratación por microondas. Correlacionando los datos con las medidas instrumentales efectuadas, se observa que la muestra de Chugua MW está claramente diferenciada, en cuanto a propiedades texturales; la variable más influyente es la fracturabilidad, indicando que es una muestra más fracturable y con atributos, como la crocancia. Esto también se debe al porcentaje de humedad que presentaron estas muestras, ya que fue característico de un snack de este tipo, lo que generó una buena aceptación por el consumidor.



Los panelistas indicaron el color más dominante entre los chips fue el de la Chugua, ya que presento una tonalidad fucsia en sus bordes y amarilla/rosada en el resto del producto, lo que hace llamativo el alimento, además de ser una fuente natural de pigmentos, como las antocianinas y carotenoides . Sin embargo también se destaca su alto contenido de betalaínas (Cejudo-Bastante, Hurtado, Mosquera, & Heredia, 2014).

Aunque el sabor es un parámetro subjetivo, la mayor aceptación fue para el Cubio, esto se debe posiblemente a que es un alimento dulce, por su alto contenido en carbohidratos, que al combinarse con la sal utilizada en el proceso de deshidratación osmótica confieren un sabor característico al mismo. Por otro lado, al final de la prueba los catadores identificaron un residual picante, debido principalmente al contenido de glucosinolatos (Mejía Lotero et al., 2019).

Se determinó también que aunque las características de textura y color sean buenas en la Chugua, el sabor no es lo más agradable del producto, esto posiblemente por la presencia residual que deja el mucilago que este tubérculo contiene.

### **5.3 DETERMINACIÓN DE LA PROPORCIÓN DEL SNACK**

Como se pudo evidenciar en las Gráficas [14](#), [15](#), [16](#) y [17](#) las medias obtenidas en el análisis sensorial para los tubérculos deshidratados por medio de microondas, son mayores, indicando de este modo, que los consumidores prefirieron estas muestras por encima de los chips obtenidos por medio de secado convencional. De este modo, la formulación del snack estará dada solamente por productos obtenidos a través del microondas. Adicional a esto, se tuvo en cuenta que la humedad es menor en estos chips, lo que favorece la vida útil y las características texturales, como se describió anteriormente.

La proporción se determinó de manera matemática, dando un porcentaje a cada uno de los atributos analizados en cada tubérculo, teniendo como referencia la suma de las medidas totales obtenidas; luego, se efectuó la suma de los porcentajes de los atributos, en cada uno de los chips, teniendo en total un 100% de nuestra. La determinación

**Tabla 8.** Determinación de la proporción final del snack.

Atributo	Producto		
	Cubio	Chugua	Ibia
<i>Color</i>	9	9	8
<i>Textura</i>	7	9	8
<i>Apariencia</i>	9	9	9
<i>Sabor</i>	9	7	7
<b>Proporción en el snack</b>	<b>34%</b>	<b>33%</b>	<b>33%</b>

De acuerdo a los productos encontrados en el mercado, se puede establecer un peso promedio de 25 g por paquete, lo que se ajusta a un snack práctico a la hora de ser comercializado.

#### 5.4 Determinación de compuestos fenólicos y Capacidad antioxidante

**Tabla 9.** Determinación de la capacidad antioxidante y contenido fenólico de snack de ibias, chuguas y cubio.

Snack (Proporción)	Capacidad Antioxidante ( $\mu\text{mol Trolox}/ 100 \text{ g}$ )	Contenido Fenólico (mg AG/ 100 g)
Cubio (34%), Chuguas (33%), Ibias (33%).	$433,85 \pm 11,43$	$88,14 \pm 25,38$

De acuerdo con los resultados obtenidos se encontró un valor de capacidad antioxidante de  $433,85 \pm 11,43 \mu\text{mol Trolox}/ 100 \text{ g}$  de muestra, por otra parte, el contenido fenólico fue de  $88,14 \pm 25,38 \text{ mg ácido gálico}/ 100 \text{ g}$  de muestra. Según reportes entregados por Teves (2017), la capacidad antioxidante encontrada en un snack de oca sometido a secado por aire caliente fue de  $149 \pm 0,09 \mu\text{mol Trolox}/ 100 \text{ g}$  de muestra, por otra parte, Rubio & Ortiz (2019) reportan datos de

380,117 ± 22,263 μmol Trolox/ 100 g y 67,701 ± 6,488 mg ácido gálico/ 100 g para capacidad antioxidante y compuestos fenólicos respectivamente, los cuales se hallaron a partir de una galleta elaborada con harina de ibia, realizando una comparación con los resultados obtenidos se evidencia un contenido mayor en estos compuestos, cabe mencionar que la primera razón se debe muy posiblemente a la proporción del snack pues evidentemente cada uno de los tubérculos está aportando un porcentaje de estos compuestos y en la actualidad no existe ningún desarrollo en donde utilicen los tres tipos de tubérculo en conjunto para realizar su respectiva comparación.

Además, una de las razones por la cual se logró obtener estos resultados tan marcados fue el método de deshidratación, ya que, a partir de una deshidratación con microondas al cabo de 5 min se consiguió obtener las mismas características de los snacks deshidratados por aire caliente al cabo de 30 min. Quelal, et al (2017) en su trabajo concluyeron que, aunque el método de deshidratación haya influido en la disminución de los compuestos antioxidantes, se había logrado observar que los chips de papa obtenidos a partir de deshidratación por horneado con microondas preservaron en mayor medida sus compuestos nutricionales a diferencia de los chips obtenidos por fritura convencional, la cual induce en mayor proporción la degradación de estos componentes.

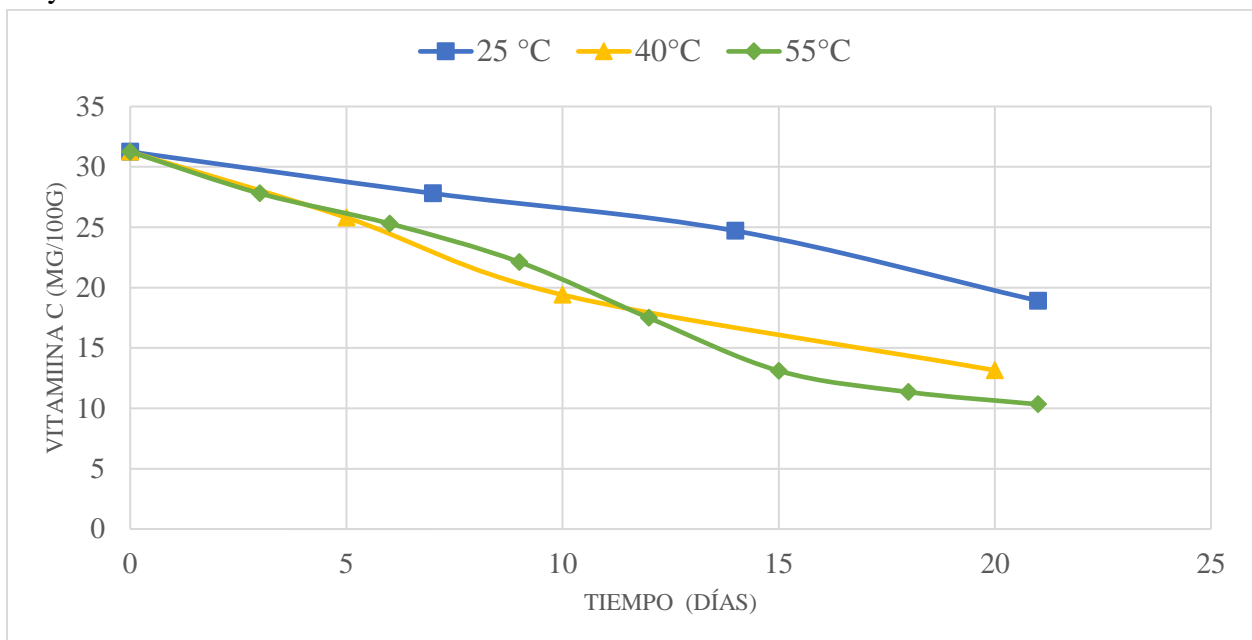
Por otra parte, la deshidratación osmótica como pretratamiento también pudo influir en la disminución de estos compuestos, ya que la mayoría de los compuestos antioxidantes son hidrosolubles y una parte de estos se pueden retener en la solución. Según Claudio y Nájera (2012) tanto la temperatura como el tiempo de cocción pueden afectar las propiedades antioxidantes de las frutas y hortalizas ya sea aumentando o disminuyendo esta actividad.

## 5.5 Determinación de tiempo de vida útil

En este estudio la vida útil se ha determinado por medio de degradación cinética empleando el modelo de Arrhenius que describe la relación de la constante de velocidad de reacción con la temperatura ([Ecuación 2](#)).

Se realizó la gráfica del comportamiento de la degradación de vitamina C, en función del tiempo de almacenamiento a diferentes temperaturas 25°C, 40°C y 55° (grafica 18).

**Grafica 18.** Degradación de vitamina C en el tiempo a temperaturas de almacenamiento de 25, 40 y 55°C



A partir de las regresiones lineales del grafico anterior se puede estimar la vida útil de las muestras a diferentes temperaturas de almacenamiento. Aplicando la [Ecuación 2](#), se pudo despejar el valor de t (tiempo de vida útil en días), sabiendo que C es la mitad del contenido de vitamina C de la muestra analizada.

**Tabla 10.** Valores de la regresión lineal realizada y determinación de vida útil del snack a tres temperaturas de almacenamiento

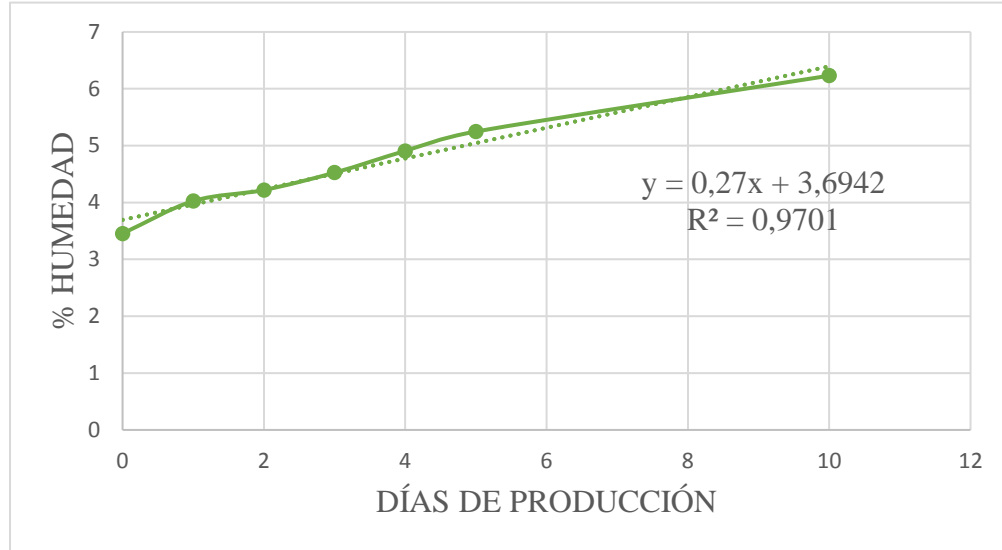
<b>T (°C)</b>	<b>K (Pendiente)</b>	<b>C0 (Intercepto)</b>	<b>Vida útil (días)</b>
25	0,57	31,68	28
40	0,91	30,32	16
55	1,07	31,76	15

De acuerdo con los resultados obtenidos en la cinética de degradación de vitamina C al 50 % como índice de fallo de vida útil se puede observar que son periodos demasiado cortos, teniendo en cuenta que se trata de un producto deshidratado que normalmente tiene un periodo de caducidad mayor a 6 meses, sin embargo es importante resaltar que aunque se encontró un porcentaje relevante de vitamina C, el ácido ascórbico es uno de los principales componentes más susceptible a los cambios durante el almacenamiento, en los que influye las características del empaque.

Como se puede observar en la tabla 10 la temperatura es uno de los principales factores que acelera la degradación de este compuesto, ya que el ácido ascórbico es la vitamina más sensible o lábil que se pierde fácilmente (Castillo & Miranda, 1995), por lo que pensar en el lugar en donde se realizara su distribución y comercialización es un factor muy importante.

Debido a que en un producto deshidratado la vitamina C no es el único parámetro que interfiere en sus características, con el fin de realizar la determinación de vida útil se realizó un análisis de humedad en el tiempo con el fin de determinar un tiempo de vida útil con otras variables, los cálculos realizados se efectuaron teniendo en cuenta que el valor máximo aceptado de humedad en un producto seco puede ser de 12%. La humedad en el tiempo del snack deshidratado se muestra a continuación:

**Grafica 19.** Determinación de humedad del snack obtenido en función del tiempo.



Con la ecuación del grafico se pudo determinar la vida de útil del snack aplicando la [Ecuación 2](#), despejando el valor de t (tiempo en días), sabiendo que la humedad máxima permitida es del 12% y la humedad inicial es la humedad del snack en el día 0 de almacenamiento, de este modo:

$$t = \frac{12 - 3,455}{3,69} = 32 \text{ días}$$

Respecto a la humedad, se determinó que la vida útil en promedio es de 32 días, siendo este un periodo demasiado corto, igual que tomando como referencia la degradación de vitamina C. A partir de estos resultados se puede deducir que el problema radica en el envase, el cual está permitiendo el paso de humedad del exterior al producto, por ende, se debe realizar más estudios con otro tipo de envase.

Si se realiza un promedio de los días de vida útil determinado por la degradación de vitamina C y el aumento de humedad, se pueden fijar 30 días de vida útil para el snack, donde se cumple con la calidad del producto, ya que visualmente no se evidencian cambios significativos.

## CONCLUSIONES

Se determinó que tanto en la caracterización fisicoquímica como en el análisis sensorial los productos mayormente aceptados fueron los sometidos a tratamiento con microondas. Por otra parte, se encontró una reducción de tiempo de procesamiento en los dos tratamientos térmicos, gastando 4 min en microondas y 30 min en deshidratación con aire caliente, alcanzando las mismas condiciones en ambos tratamientos, lo que respalda la inversión inicial de la tecnología microondas teniendo en cuenta la relación costo-beneficio. En cuanto a la aceptación sensorial de cada uno de los tubérculos se encontró que no existen diferencias significativas entre los tres tubérculos, sin embargo, el cubio presento mayor aceptación en cuanto al sabor y las chuguas en cuanto a la textura.

Se encontró una capacidad antioxidante de  $433,85 \pm 11,43$   $\mu\text{mol Trolox/ 100 g}$  de muestra y contenido fenólico de  $88,14 \pm 25,38$  mg ácido gálico/ 100 g de muestra, indicando de esta manera que el producto logro conservar en mayor proporción sus componentes nutricionales con respecto a productos sometidos a procesos de deshidratación similares, siendo este un producto que puede aportar efectos beneficiosos en la salud si se incluye en la dieta.

Se determinó una vida útil aproximadamente de 30 días tomando como índice de fallo el 50 % de pérdida de vitamina C y la ganancia de humedad, indicando de esta manera que el empaque empleado no favoreció el almacenamiento de este producto afectando rápidamente sus características.

## RECOMENDACIONES

- Se recomienda establecer un estudio del tiempo de procesamiento óptimo en microondas vs el porcentaje de humedad en el rango aceptable que permita obtener una rentabilidad en cuanto a costos de procesamiento y consumo energético.
- Se recomienda la cuantificación del contenido de sodio del snack obtenido, ya que este tipo de alimento puede poseer buenas características a nivel de antioxidantes, pero si se presenta un contenido elevado de sodio puede representar un limitante para la población consumidora.
- Teniendo en cuenta que se encontró que la vitamina C es un componente bastante susceptible a la degradación durante el almacenamiento se recomienda determinar el tiempo de vida útil del producto utilizando otras variables de análisis que sean más relevantes, así mismo evaluar otro material de empaque que permita conservar todas sus características.
- Realizar un análisis de mercado y viabilidad comercial de este tipo de productos teniendo en cuenta que podría ser muy beneficioso como idea de negocio.



## BIBLIOGRAFIA

- Anton, A. A., & Luciano, F. B. (2007). Instrumental Texture Evaluation Of Extruded Snack Foods: A Review Evaluación Instrumental De Textura En Alimentos Extruidos: Una Revisión. *Ciencia y Tecnología Alimentaria*. <https://doi.org/10.1080/11358120709487697>
- Arballo, J. R., Campañone, L. A., & Mascheroni, R. H. (2010). Simulación numérica de la deshidratación de frutas por métodos combinados: secado por impregnación y microondas. *Mecánica Computacional*.
- Arrazola-Paternina, G., Alvis-Bermúdez, A., & García-Mogollon, C. (2016). Efecto del tratamiento de escaldado sobre la actividad enzimática de la polifenoloxidasasa en dos variedades de batata (*Ipomoea batatas* Lam.). *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas*. <https://doi.org/10.17584/rcch.2016v10i1.5125>
- Baba, S. A., & Malik, S. A. (2014). Determination of total phenolic and flavonoid content, antimicrobial and antioxidant activity of a root extract of *Arisaema jacquemontii* Blume . *Journal of Taibah University for Science*. <https://doi.org/10.1016/j.jtusci.2014.11.001>
- Badui Dergal, S. (2006). Química de los Alimentos. *Proteínas de Algunos Alimentos*.
- Barajas-Ortiz, J. P., Martínez, T., & Rodríguez-Sandoval, E. (2010). Evaluación del efecto de la temperatura en el secado de polen apícola procedente de dos zonas de Cundinamarca. *Dyna*.
- Barrera, V., Brito, B., Caicedo, C., Cordova, J., Espin, S., Espinosa, P., ... Villacres, E. (2008). *Raíces y Tuberculos Andinos: Alternativas para la conservación y uso sostenible en Ecuador*. Instituto Nacional Autonomo de Investigaciones Agrarias.

<https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>

Barrero, J., & Sandoval, A. (2006). Escaldado. In *Operaciones de Alimentos por bajas Temperaturas*.

Bonazzi, C., & Dumoulin, E. (2014). Quality Changes in Food Materials as Influenced by Drying Processes. In *Modern Drying Technology*.

<https://doi.org/10.1002/9783527631728.ch14>

Bonghi, C., & Trainotti, L. (2006). Stewart Postharvest Review. *Gene Expression*.

<https://doi.org/10.2212/spr.2006.2.3>

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*. <https://doi.org/10.1007/s12231-010-9141-0>

Brammer, J. G., & Bridgwater, A. V. (1999). Drying technologies for an integrated gasification bio-energy plant. *Renewable & Sustainable Energy Reviews*. [https://doi.org/10.1016/S1364-0321\(99\)00008-8](https://doi.org/10.1016/S1364-0321(99)00008-8)

Brand-Williams, W., Cuvelier, M. E., & Berset, C. (1995). Use of a free radical method to evaluate antioxidant activity. *LWT - Food Science and Technology*.

[https://doi.org/10.1016/S0023-6438\(95\)80008-5](https://doi.org/10.1016/S0023-6438(95)80008-5)

Buxton, D. R., Shibles, R., Forsberg, R. A., Blad, B. L., Asay, K. H., Paulsen, G. M., ... Risi, J. (2013). Diverse Crops for Regional Diets and Cultural Survival: A Program for Andean Crops. <https://doi.org/10.2135/1993.internationalcropscience.c70>

Castrillón, M. (2018). Estudio sobre la Bioeconomía como fuente de nuevas industrias basadas

en el capital natural de Colombia. Retrieved from [https://www.dnp.gov.co/Crecimiento-Verde/Documents/ejes-tematicos/Bioeconomia/Informe 2/ANEXO 2\\_Análisis sector alimentos y bebidas.pdf](https://www.dnp.gov.co/Crecimiento-Verde/Documents/ejes-tematicos/Bioeconomia/Informe 2/ANEXO 2_Análisis sector alimentos y bebidas.pdf)

Cejudo-Bastante, M. J., Hurtado, N., Mosquera, N., & Heredia, F. J. (2014). Potential use of new Colombian sources of betalains. Color stability of ulluco (*Ullucus tuberosus*) extracts under different pH and thermal conditions. *Food Research International*.

<https://doi.org/10.1016/j.foodres.2014.07.036>

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*.

<https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2008.08.015>

Contreras Monzón, C. I. (2006). *Influencia del método de secado en parámetros de calidad relacionados con la estructura y el color de manzana y fresa deshidratadas*.

<https://doi.org/10.4995/Thesis/10251/1932>

Decker, A. (2009). Phenolics: Prooxidants or Antioxidants? *Nutrition Reviews*.

<https://doi.org/10.1111/j.1753-4887.1997.tb01580.x>

Espín, S., Brito, B., Villacrés, E., Rubio, A., Nieto, C., & Grijalva, J. (2001). Composición Química, Valor Nutricional y Usos Potenciales de Siete Especies de Raíces y Tubérculos Andinos. *Acta Científica Ecuatoriana*.

Espinosa, P. (1997). *Volvamos a nuestras raíces, recetario de las raíces y tubérculos andinos* (ABYA.YALA). Quito.

- Euromonitor. (2017). Euromonitor Internacional - Análisis.
- Fito, P., Andrés, A. M., Albors, A. M., & Barat, J. M. (2001). *Introducción Al Secado De Alimentos Por Aire Caliente. Introducción Al Secado De Alimentos Por Aire Caliente.*
- Forero, S. E. A., Gambasica, N. V. P., & Mojica, I. P. (2012). Sistema de producción de tubérculos andinos en Boyacá, Colombia. *Cuadernos de Desarrollo Rural*.  
<https://doi.org/10.1007/s10980-012-9782-8>
- Gooch, J. W. (2011). Arrhenius Equation. In *Encyclopedic Dictionary of Polymers*.  
[https://doi.org/10.1007/978-1-4419-6247-8\\_800](https://doi.org/10.1007/978-1-4419-6247-8_800)
- GUPTA, V. K., & SHARMA, S. K. (2006). Plants as natural antioxidants. *The Journal of Endocrinology*. <https://doi.org/10.1677/joe.0.0510359>
- Gutiérrez, Ana; Infantes, Marcos; Pascual, Gloria; Zamora, J. (2015). Secado del tarwi (*Lupinus mutabilis*) por métodos combinados: deshidratación osmótica y microondas con aire caliente. *Agroindustrial Science*. <https://doi.org/10.17268/agroind.science.2015.02.04>
- Haslam, E. (1974). Polyphenol-protein interactions. *The Biochemical Journal*.
- Haslam, E., & Lilley, T. H. (1988). Natural astringency in foodstuffs — a molecular interpretation. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*.  
<https://doi.org/10.1080/10408398809527476>
- Hernández, R. G., Candelas, C. M., Meza, V. J., & Minjares, F. R. (2010). Estabilidad en el color y la concentración de carotenos en zanahorias escaldadas a diferentes temperaturas. In *XII Congreso Nacional de Ciencia y Tecnología de Alimentos*.
- IALIMENTOS. (2015, October). El mercado de los Snacks. Retrieved from

<https://revistaalimentos.com/ediciones/edicion-11/el-mercado-de-los-snacks/>

Invest in, B. (2019). Alimentos y bebidas. Retrieved from <https://es.investinbogota.org/sectores-de-inversion/alimentos-y-bebidas-en-bogota>

Jiménez, M., Sammaán, M. (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 Nutricion*.

Khraisheh, M. A. M., McMinn, W. A. M., & Magee, T. R. A. (2004). Quality and structural changes in starchy foods during microwave and convective drying. *Food Research International*. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2003.11.010>

Lara, E., Cortés, P., Briones, V., & Perez, M. (2011). Structural and physical modifications of corn biscuits during baking process. *LWT - Food Science and Technology*. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2010.10.007>

Leidi, E. O., Altamirano, A. M., Mercado, G., Rodriguez, J. P., Ramos, A., Alandia, G., ... Jacobsen, S. E. (2018). Andean roots and tubers crops as sources of functional foods. *Journal of Functional Foods*. <https://doi.org/10.1016/j.jff.2018.10.007>

Lim, T. K., & Lim, T. K. (2014). Ullucus tuberosus. In *Edible Medicinal and Non Medicinal Plants*. [https://doi.org/10.1007/978-94-017-9511-1\\_24](https://doi.org/10.1007/978-94-017-9511-1_24)

Malice, M., & Baudoin, J. P. (2009). Diversité génétique et conservation du germoplasme de trois tubercules andins mineurs. *Biotechnology, Agronomy and Society and Environment*.

Manrique, I., Arbizu, C., Vivanco, F., Gonzales, R., Ramírez, C., Chávez, O., ... Ellis, D. (2014). *Tropaeolum tuberosum* Ruiz & Pav. *Colección de germoplasma de mashua*

*conservada en el Centro Internacional de la Papa (CIP)*. <https://doi.org/10.4160/9789290604310>

Martínez-Valverde, I., Periago, M. J., & Ros, G. (2000). Significado nutricional de los compuestos fenólicos de la dieta. *Archivos Latinoamericanos de Nutricion*.

Mejía Lotero, F. M., Salcedo Gil, J. E., Vargas Londoño, S., Serna Jiménez, J. A., & Torres Valenzuela, L. S. (2019). Capacidad antioxidante y antimicrobiana de tubérculos andinos (*Tropaeolum tuberosum* y *Ullucus tuberosus*). *Revista U.D.C.A Actualidad & Divulgación Científica*. <https://doi.org/10.31910/rudca.v21.n2.2018.1083>

Nielsen. (2017, March 23). La revolución de los alimentos en América Latina: La salud es una prioridad para el consumidor. Retrieved from <https://www.nielsen.com/co/es/insights/reports/2017/La-revolucion-de-los-alimentos-en-America-Latina-la-salud-es-una-prioridad-para-el-consumidor.html>

Parra-Quijano, M., Panda, S., Rodríguez, N., & Torres, E. (2012). Diversity of *Ullucus tuberosus* (Basellaceae) in the Colombian Andes and notes on ulluco domestication based on morphological and molecular data. *Genetic Resources and Crop Evolution*. <https://doi.org/10.1007/s10722-011-9667-8>

Pazos, G. (2017). *Desarrollo de un prototipo de snack crocante salado con tres tubérculos andinos*. Universidad de las Américas.

Pratt, D. E., & Hudson, B. J. F. (1990). Natural Antioxidants Not Exploited Commercially. In *Food Antioxidants*. [https://doi.org/10.1007/978-94-009-0753-9\\_5](https://doi.org/10.1007/978-94-009-0753-9_5)

Quelal, M., Chicano, V., Villacrés, E., Álvarez, J., & Ruales, J. (2017). Obtención de un Snack

de Papa Nativa Aplicando la Tecnología de Horneó por Microondas. In *Libro de Memorias del VII Congreso Ecuatoriano de la Papa*. Tulcán.

Rastogi, N. K., Raghavarao, K. S. M. S., Niranján, K., & Knorr, D. (2002). Recent developments in osmotic dehydration: Methods to enhance mass transfer. *Trends in Food Science and Technology*. [https://doi.org/10.1016/S0924-2244\(02\)00032-8](https://doi.org/10.1016/S0924-2244(02)00032-8)

Sablani, S. S., Shafiur Rahman, M., & Al-Sadeiri, D. S. (2002). Equilibrium distribution data for osmotic drying of apple cubes in sugar-water solution. *Journal of Food Engineering*. [https://doi.org/10.1016/S0260-8774\(01\)00103-0](https://doi.org/10.1016/S0260-8774(01)00103-0)

Simal, S., Deyá, E., Frau, M., & Rosselló, C. (1997). Simple modelling of air drying curves of fresh and osmotically pre-dehydrated apple cubes. *Journal of Food Engineering*. [https://doi.org/10.1016/s0260-8774\(97\)00049-6](https://doi.org/10.1016/s0260-8774(97)00049-6)

Surco Laos, F. A. (2004). Caracterización de almidones aislados de tubérculos andinos: Mashua (*tropaeolum tuberosum*), Oca (*Oxalis tuberosa*), olluco (*Ullucus Tuberosus*) para su aplicación tecnológica. *Tesis*.

Szczesniak, A. S. (2002). Texture is a sensory property. *Food Quality and Preference*. [https://doi.org/10.1016/S0950-3293\(01\)00039-8](https://doi.org/10.1016/S0950-3293(01)00039-8)

Torreggiani, D., & Bertolo, G. (2001). Osmotic pre-treatments in fruit processing: Chemical, physical and structural effects. *Journal of Food Engineering*. [https://doi.org/10.1016/S0260-8774\(00\)00210-7](https://doi.org/10.1016/S0260-8774(00)00210-7)

Tulasidas, T. N., Raghavan, G. S. V., & Mujumdar, A. S. (1995). Microwave drying of grapes in a single mode cavity at 2450 mhz - i: Drying kinetics. *Drying Technology*.

<https://doi.org/10.1080/07373939508917058>

Ugarte, M. L., & Baudoin, J. P. (2004). Conservacion ex situ de tuberculos andinos y analisis de datos de la diversidad genetica de la oca (*Oxalis tuberosa* Mol.). In *XI Congreso internacional de cultivos andinos: Libro de resúmenes*.

Villacrés, E., Quelal, M., & Alvarez, J. (2016). *Redescubriendo la oca y la mashua: Desarrollo de nuevos snacks*. Academica Española.

Wais, N. (2011). *Secado Combinado De Frutas: Deshidratación Osmótica Y Microondas*.

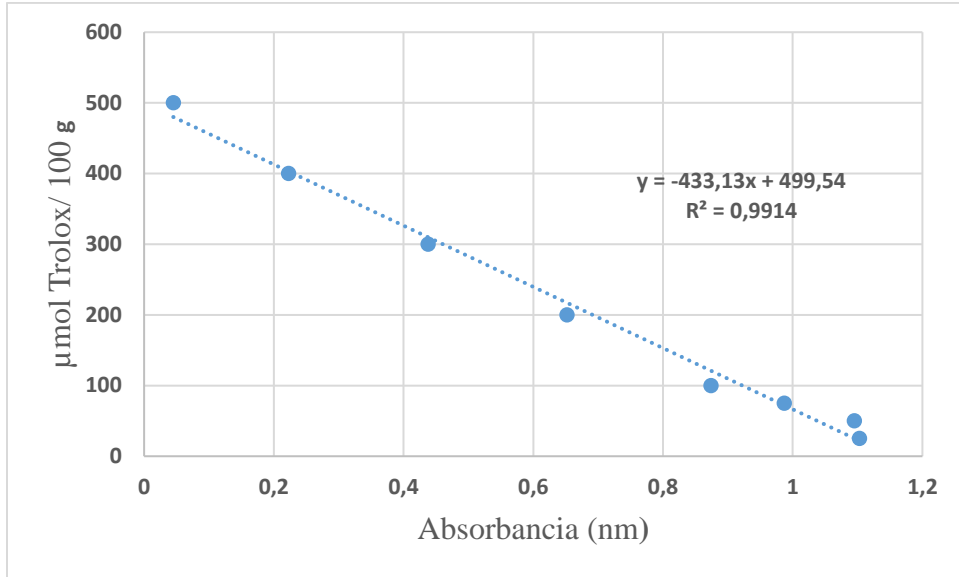
Wang, H., Cao, G., & Prior, R. L. (1996). Total antioxidant capacity of fruits. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. <https://doi.org/10.1021/jf950579y>

Wang, J., Xiong, Y. Sen, & Yu, Y. (2004). Microwave drying characteristics of potato and the effect of different microwave powers on the dried quality of potato. *European Food Research and Technology*. <https://doi.org/10.1007/s00217-004-0979-1>



## ANEXOS

### Anexo 1. Curva de calibración de Capacidad Antioxidante



### Anexo 2. Curva de calibración de contenido de Fenoles Totales

