



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

**Evaluación del proceso de encapsulación mediante secado por
aspersión para la conservación de betacarotenos contenidos en la
Daucus carota var. chantenay (zanahoria) de rechazo de poscosecha de
Agrocomercial Don Luis**

WILLIAM DAVID JÁCOME LAGLA

**Trabajo de Titulación modalidad: Proyectos de Investigación y Desarrollo,
presentado ante el Instituto de Posgrado y Educación Continua de la ESPOCH,
como requisito parcial para la obtención del grado de:**

**MAGÍSTER EN AGROINDUSTRIA MENCIÓN GESTIÓN DE LA
CALIDAD Y SEGURIDAD ALIMENTARIA**

RIOBAMBA-ECUADOR

Mayo– 2022

©2022, William David Jácome Lagla

Se autoriza la reproducción total o parcial, con fines académicos, por cualquier medio o procedimiento, incluyendo la cita bibliográfica del documento, siempre y cuando se reconozca el Derecho de Autor.



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

CERTIFICACIÓN:

EL TRIBUNAL DEL TRABAJO DE TITULACIÓN CERTIFICA QUE:

El **Trabajo de Titulación modalidad Proyectos de Investigación y Desarrollo**, denominado Evaluación del proceso de encapsulación mediante secado por aspersion para la conservación de betacarotenos contenidos en la *Daucus carotavar. chantenay* (zanahoria) de rechazo de poscosecha de Agrocomercial Don Luis, de responsabilidad del Sr. WILLIAM DAVID JÁCOME LAGLA ha sido minuciosamente revisado por los Miembros del Tribunal del trabajo de titulación, el mismo que cumple con los requisitos científicos, técnicos, legales, en tal virtud el Tribunal autoriza su presentación.

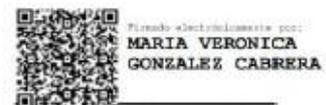
Ing. Luis Eduardo Hidalgo Almeida; Ph. D.
PRESIDENTE DEL TRIBUNAL



Lic. Hugo Aldemar Zumárraga Suárez ; Mag.
TUTOR



Bq. F. María Verónica González Cabrera; Mag.
MIEMBRO



Ing. Maritza Lucía Vaca Cárdenas; Mag.
MIEMBRO



Riobamba, mayo 2022

DERECHOS INTELECTUALES

Yo, William David Jácome Lagla soy responsable de las ideas, doctrinas y resultados expuestos en este Trabajo de Titulación y el patrimonio intelectual del mismo pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

WILLIAM DAVID JÁCOME LAGLA

N° Cédula: 171589902-5

DECLARACIÓN DE AUTENTICIDAD

Yo, WILLIAM DAVID JÁCOME LAGLA, declaro que el presente trabajo de titulación es de mi autoría y que los resultados del mismo son auténticos. Los textos en el documento que provienen de otras fuentes están debidamente citados y referenciados.

Como autor asumo la responsabilidad legal y académica de los contenidos de este Trabajo de Titulación de Maestría

WILLIAM DAVID JÁCOME LAGLA

N° Cédula: 171589902-5

DEDICATORIA

Este logro se lo dedico a quien lucho toda una vida desde la madrugada hasta el anochecer para darme todo lo que estuvo a su alcance, mi madre. A mi padre por su apoyo incondicional y su ejemplo como un ser humano intachable. Dedico este título a mis dos princesas: Jeimily Valentina y Sofía Marcela por ser los motores de mi vida. Al amor de mi vida por su amor y lealtad. Finalmente dedico a mi abuelita Transito que me acompaña desde el cielo.

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios por tantas bendiciones brindadas, a la Escuela Politécnica de Chimborazo en especial al Lic. Hugo Zumarrága; Mag., Ing. Maritza Vaca; Mag.y Bq. F. Veronica González; Mag. por su apoyo en la presente investigación.

Agradezco a las empresas Zaphiredelcor y Quantumpharm en especial a sus propietarios, la familia Delgado por permitirme desarrollar mi proyecto en sus empresas y al cuerpo de Ingenieros y Doctores que me ayudaron en el desarrollo de la presente Investigación.

CONTENIDO

| | |
|--|-----|
| RESUMEN | xiv |
| SUMARY | xv |
| CAPÍTULO I 1 | |
| 1. INTRODUCCIÓN..... | 1 |
| 1.1 Planteamiento de problema | 2 |
| 1.2 Situación problemática..... | 3 |
| 1.3 Formulación del problema..... | 4 |
| 1.4 Preguntas directrices o específicas de la investigación..... | 5 |
| 1.5 Justificación de la investigación | 5 |
| 1.6 Objetivos de la investigación | 7 |
| CAPÍTULO II 9 | |
| 2 MARCO TEÓRICO..... | 9 |
| 2.1 Zanahoria | 9 |
| 2.1.1 Origen..... | 9 |
| 2.1.2 Generalidades del cultivo | 9 |
| 2.1.2.1 Descripción botánica y morfológica | 9 |
| 2.1.2.2 Composición química y nutricional de la zanahoria Chantenay entera | 10 |
| 2.1.2.3 Caracterización del zumo de zanahoria..... | 10 |
| 2.1.2.4 Caracterización del polvo de zanahoria..... | 11 |
| 2.1.3 Potencial agroindustrial | 12 |
| 2.1.4 Rendimiento en zumo | 12 |
| 2.1.5 Variedades de zanahorias..... | 13 |
| 2.2 Betacarotenos..... | 15 |
| 2.2.1 Estructura | 15 |
| 2.2.2 Funciones..... | 16 |
| 2.2.3 Sensibilidad a factores externos..... | 17 |
| 2.2.4 Métodos de extracción | 18 |
| 2.2.5 Actividad antioxidante de los carotenoides..... | 20 |
| 2.2.6 Estabilidad de los pigmentos carotenoides | 20 |
| 2.3 Microencapsulación..... | 21 |
| 2.3.1 Función..... | 21 |
| 2.3.2 Proceso de microencapsulación..... | 22 |
| 2.3.3 Beneficios de la microencapsulación..... | 23 |

| | | |
|---------------------------|---|-----------|
| 2.3.4 | <i>Métodos de microencapsulación</i> | 24 |
| 2.3.5 | <i>Secado por aspersión como proceso de microencapsulación</i> | 25 |
| 2.3.6 | <i>Aplicaciones</i> | 27 |
| 2.3.7 | <i>Condiciones de operación</i> | 27 |
| 2.3.8 | <i>Materiales de pared</i> | 28 |
| CAPÍTULO III | | 31 |
| 3 | METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN | 31 |
| 3.1 | Materiales, equipos y reactivos | 31 |
| 3.1.1 | <i>Materia prima</i> | 31 |
| 3.1.2 | <i>Materiales</i> | 31 |
| 3.1.3 | <i>Equipos</i> | 32 |
| 3.1.4 | <i>Reactivos</i> | 33 |
| 3.2 | Metodología experimental | 33 |
| 3.2.1 | <i>Materia prima</i> | 33 |
| 3.2.2 | <i>Diagrama de flujo del proceso experimental</i> | 34 |
| 3.3 | Caracterización del zumo de zanahoria | 38 |
| 3.3.1 | <i>Cálculo del rendimiento del zumo</i> | 38 |
| 3.3.2 | <i>Caracterización física</i> | 38 |
| 3.3.3 | <i>Caracterización química</i> | 40 |
| 3.3.4 | <i>Caracterización microbiológica</i> | 44 |
| 3.4 | Estandarización del zumo | 44 |
| 3.5 | Secado por aspersión | 44 |
| 3.6 | Determinación del rendimiento del polvo | 45 |
| 3.7 | Determinación de la eficiencia de betacarotenos | 45 |
| 3.8 | Análisis estadístico | 47 |
| 3.9 | Caracterización del polvo de zanahoria (mejor tratamiento) | 47 |
| 3.9.1 | <i>Caracterización física</i> | 48 |
| 3.9.2 | <i>Caracterización química</i> | 48 |
| 3.9.3 | <i>Caracterización microbiológica</i> | 51 |
| CAPÍTULO IV | | 52 |
| 4 | RESULTADOS Y DISCUSIÓN | 52 |
| 4.1 | Caracterización del zumo | 52 |
| 4.1.1 | <i>Rendimiento del zumo</i> | 52 |
| 4.1.2 | <i>Características físicas del zumo</i> | 53 |
| 4.1.3 | <i>Características químicas</i> | 54 |

| | | |
|------------------------------|---|-----------|
| 4.1.3.1 | <i>Acidez titulable, pH y sólidos solubles totales del zumo</i> | 54 |
| 4.1.3.2 | <i>Betacarotenos</i> | 55 |
| 4.1.3.3 | <i>Proteínas</i> | 55 |
| 4.1.3.4 | <i>Grasas</i> | 56 |
| 4.1.3.5 | <i>Fibra</i> | 56 |
| 4.1.3.6 | <i>Cenizas</i> | 57 |
| 4.1.3.7 | <i>Carbohidratos</i> | 57 |
| 4.1.4 | <i>Caracterización microbiológica</i> | 57 |
| 4.2 | Rendimiento del polvo de zanahoria | 59 |
| 4.3 | Eficiencia de betacarotenos | 62 |
| 4.4 | Caracterización del polvo de zanahoria (Mejor tratamiento) | 65 |
| 4.4.1 | <i>Caracterización química</i> | 66 |
| 4.4.1.1 | <i>Acidez titulable</i> | 66 |
| 4.4.1.2 | <i>pH</i> | 66 |
| 4.4.1.3 | <i>Humedad</i> | 67 |
| 4.4.1.4 | <i>Betacarotenos</i> | 68 |
| 4.4.1.5 | <i>Proteínas</i> | 68 |
| 4.4.1.6 | <i>Grasas</i> | 69 |
| 4.4.1.7 | <i>Fibra</i> | 70 |
| 4.4.1.8 | <i>Cenizas</i> | 70 |
| 4.4.1.9 | <i>Carbohidratos</i> | 71 |
| 4.4.2 | <i>Caracterización microbiológica</i> | 71 |
| 4.4.3 | <i>Caracterización física</i> | 72 |
| 4.4.3.1 | <i>Color</i> | 72 |
| CONCLUSIONES | | 73 |
| RECOMENDACIONES | | 73 |
| BIBLIOGRAFÍA | | |
| ANEXOS | | |

ÍNDICE DE TABLAS

| | | |
|--------------------|---|-----------|
| Tabla 1-1: | Composición química y nutricional de la zanahoria variedad Chantenay. | 10 |
| Tabla 1-3: | Rendimiento del zumo..... | 52 |
| Tabla 2-3: | Características físicas del zumo | 53 |
| Tabla 3-3: | Acidez titulable, pH y sólidos solubles totales del zumo | 54 |
| Tabla 4-3: | Betacarotenos en el zumo de zanahoria..... | 55 |
| Tabla 5-3: | Proteína en el zumo de zanahoria | 55 |
| Tabla 6-3: | Grasas en el zumo de zanahoria..... | 56 |
| Tabla 7-3: | Fibra en el zumo de zanahoria | 56 |
| Tabla 8-3: | Cenizas en el zumo de zanahoria | 57 |
| Tabla 9-3: | Carbohidratos en el zumo de zanahoria..... | 57 |
| Tabla 10-3: | Recuento microbiológico de zumo de zanahoria | 58 |
| Tabla 11-3: | Rendimiento del polvo..... | 59 |
| Tabla 12-3: | Análisis de varianza para la interacción de los factores de proporción de encapsulante y temperatura con respecto al rendimiento del polvo de zanahoria..... | 59 |
| Tabla 13-3: | Diferencia de medias utilizando la mínima diferencia significativa (LSD) con un nivel de confianza del 95% para el rendimiento | 60 |
| Tabla 14-3: | Eficiencia de betacarotenos | 62 |
| Tabla 15-3: | Análisis de varianza para la interacción de los factores de proporción de encapsulante y temperatura con respecto a la eficiencia de betacarotenos | 63 |
| Tabla 16-3: | Diferencia de medias utilizando la mínima diferencia significativa (LSD) con un nivel de confianza del 95% para la eficiencia de betacarotenos | 63 |
| Tabla 17-3: | Determinación de la acidez titulable del polvo de zanahoria | 66 |
| Tabla 18-3: | Determinación del pH del polvo de zanahoria..... | 66 |
| Tabla 19-3: | Humedad del polvo de zanahoria..... | 67 |
| Tabla 20-3: | Betacarotenos en el polvo..... | 68 |
| Tabla 21-3: | Proteínas en el polvo de zanahoria..... | 69 |
| Tabla 22-3: | Grasas en el polvo de zanahoria..... | 69 |
| Tabla 23-3: | Fibra en el polvo de zanahoria | 70 |
| Tabla 24-3: | Cenizas en el polvo de zanahoria | 70 |
| Tabla 25-3: | Carbohidratos en el polvo de zanahoria..... | 71 |
| Tabla 26-3: | Recuento microbiológico del polvo de zanahoria | 71 |
| Tabla 27-3: | Determinación del color del polvo..... | 72 |

ÍNDICE DE GRÁFICOS

| | | |
|----------------------|---|-----------|
| Gráfico 1-2. | Diagrama de flujo del polvo de zanahoria micro encapsulado | 34 |
| Gráfico 2-2. | Zanahorias Chantenay del proceso experimental | 35 |
| Gráfico 3-2. | Filtrado del zumo | 36 |
| Gráfico 4-2. | Pesado de encapsulantes | 36 |
| Gráfico 5-2. | Zumo estandarizado..... | 37 |
| Gráfico 6-2. | Polvo de zanahoria envasado..... | 37 |
| Gráfico 7-2. | Picnómetro para medir densidad..... | 39 |
| Gráfico 8-2. | Refractómetro digital | 41 |
| Gráfico 9-2. | Potenciómetro | 41 |
| Gráfico 10-2. | Esquema del diseño experimental..... | 44 |
| Gráfico 11-2. | Columna C₁₈ para sistema HPLC | 46 |
| Gráfico 12-2. | Diluciones del estándar de betacarotenos..... | 46 |
| Gráfico 1-3. | Rendimiento para los tratamientos planteados del polvo de zanahoria..... | 60 |
| Gráfico 2-3. | Eficiencia de betacarotenos para los tratamientos planteados..... | 64 |

ÍNDICE DE FIGURAS

| | | |
|--------------------|--|-----------|
| Figura 1-1. | Zanahoria variedad Chantenay | 13 |
| Figura 2-1. | Estructura de los betacarotenos | 15 |
| Figura 3-1. | Métodos generales para obtención de extractos vegetales | 18 |
| Figura 1-2. | Diagrama de cromaticidad | 40 |

RESUMEN

El objetivo de este estudio fue evaluar el efecto de temperatura y material encapsulante en el rendimiento y eficiencia de microencapsulación de betacarotenos extraídos del zumo de zanahoria (*Daucus carota* var. chantenay) de rechazo mediante secado por aspersión, y evaluar sus características físicas, químicas y nutricionales. Para esto se aplicaron nueve tratamientos con 3 repeticiones, con tres niveles de temperatura (150, 170 y 190 °C) y tres niveles de proporción del material encapsulante maltodextrina:goma arábica (35:65, 50:50 y 65:35). Se determinó la cantidad de betacarotenos mediante Cromatografía líquida de alta eficiencia (HPLC) y se empleó un análisis estadístico multifactorial categórico obteniéndose como resultado que el tratamiento 2(150°C/50:50) presentó mayor rendimiento del polvo (24,29%) y los tratamientos 2 y 3 (150°C/50:50 y 150°C/65:35) presentaron las mejores eficiencias de encapsulamiento (4,70% y 4,79% respectivamente). Se estableció como mejor tratamiento al 2(150°C/50:50). Se concluyó que cada una de las variables y sus interacciones tienen un efecto estadísticamente significativo sobre el rendimiento, así como también que la temperatura tuvo un efecto estadísticamente significativo sobre la eficiencia de betacarotenos, mas no la proporción de encapsulante. Los resultados de los análisis físicos, químicos y microbiológicos del zumo cumplieron con las especificaciones mínimas para ser usadas como materia prima, así como también del polvo de zanahoria, que cumplen con la normativa vigente para complementos nutricionales. Se recomienda en el estudio de la eficiencia de encapsulamiento, realizar formulaciones con proporciones de material encapsulante diferentes a las planteadas para corroborar la inexistencia de un efecto significativo.

PALABRAS CLAVE: < ZANAHORIA (*Daucus Carota*) > CROMATOGRAFÍA LÍQUIDA DE ALTA EFICIENCIA (HPLC) > < BETACAROTENO > < SECADO POR ASPERSIÓN > < MICROENCAPSULACIÓN >

**LUIS
ALBERTO
CAMINOS
VARGAS**

Firmado digitalmente por
LUIS ALBERTO CAMINOS
VARGAS
Nombre de
reconocimiento (DN):
c=EC, l=RIOBAMBA,
serialNumber=06027669
74, cn=LUIS ALBERTO
CAMINOS VARGAS
Fecha: 2022.04.18
10:23:57 -05'00'



0026-DBRA-UPT-IPEC-2022

ABSTRACT

The objective of this study was to evaluate the effect of temperature and encapsulating material on the yield and efficiency of microencapsulation of beta-carotene extracted from carrot juice (*Daucus carota* var. chantenay) rejection by spray drying, and to evaluate its physical, chemical and nutritional characteristics. For this purpose, nine treatments with 3 replicates were applied, with three levels of temperature (150, 170 and 190 °C) and three levels of ratio of the encapsulating material maltodextrin:gum arabic (35:65, 50:50 and 65:35). The amount of beta-carotene was determined by High Performance Liquid Chromatography (HPLC) and a categorical multifactorial statistical analysis was used, obtaining as a result that treatment 2 (150°C/50:50) presented the highest powder yield (24.29%) and treatments 2 and 3 (150°C/50:50 and 150°C/65:35) presented the best encapsulation efficiencies (4.70% and 4.79%, respectively). Treatment 2 (150°C/50:50) was established as the best treatment. It was concluded that each of the variables and their interactions had a statistically significant effect on yield, as well as that temperature had a statistically significant effect on beta-carotene efficiency, but not the proportion of encapsulant. The results of the physical, chemical and microbiological analyses of the juice met the minimum specifications to be used as raw material, as well as those of the carrot powder, which comply with the current regulations for nutritional supplements. It is recommended in the study of encapsulation efficiency, to make formulations with different proportions of encapsulating material to those proposed to corroborate the non-existence of a significant effect.

KEY WORDS: <CARROTIA (*Daucus carota*)><High Performance Liquid Chromatography (HPLC)><BETHACAROTENE><SPRAYDRYING><MICROENCAPSULATION><MICRO ENSCAPSULATION>

CAPÍTULO I

1. INTRODUCCIÓN

Existe un alto porcentaje de alimentos frescos perecederos como frutas y hortalizas que son rechazados debido a que no cumplen con las especificaciones de calidad necesarias para su distribución y comercialización dentro o fuera del país, sin embargo, estos productos que no pueden ser comercializados debido que no cumplen requisitos, pueden ser tomados en cuenta para otros fines de aprovechamiento, para minimizar las pérdidas.

Existen dos factores que afectan en el cumplimiento de especificaciones de los alimentos. El primer factor es interno y es debido a las condiciones precarias de recolección de los alimentos, por el poco o nulo uso de tecnología. El segundo factor es el externo, debido a las condiciones climáticas bajo las cuales se desarrollan los alimentos, que no son constantes.

En el caso de las zanahorias, aquellas que no cumplan con las especificaciones de calidad, serían rechazadas, por lo que se tendrían pérdidas económicas. Sin embargo, este rechazo puede ser utilizado para la obtención de compuestos beneficiosos para el consumo humano como es el caso del betacaroteno el cual es precursor de vitamina A, ingrediente potencialmente funcional para la elaboración de suplementos alimenticios.

Agrocomercial Don Luis empresa dedicada a la producción y comercialización de zanahorias variedad chantenay, en la poscosecha, al clasificar el producto, una parte es de rechazo debido a que no cumplen con especificaciones, son zanahorias sanas, limpias, pero con tamaños fuera de especificación (con longitudes mayores a 165 mm y menores a 85 mm), zanahorias deformadas (aquellas con raíces con bifurcaciones y/o malformaciones), libres de grietas y plagas.

Es por esto que, para un mejor aprovechamiento del betacaroteno, se puede aplicar la técnica de microencapsulación ya que esto permite la fortificación de nutrientes, mayor conservación del principio activo tras su exposición a altas temperaturas, baja higroscopicidad, estabilidad en almacenamiento, entre otras propiedades benéficas(Sandoval, Rodríguez y Ayala, 2004).

Con lo expuesto anteriormente, el presente proyecto de investigación plantea el aprovechamiento de las zanahorias rechazadas por falta de especificación, para la obtención de sus componentes bioactivos de elevado valor comercial y nutricional, como es el betacaroteno o

Provitamina A, por medio de la microencapsulación del componente de interés mencionado anteriormente a través de un proceso de secado por aspersión.

La propuesta será evaluada a través de la revisión del efecto de dos variables como son la temperatura en el secado por aspersión y la composición del material encapsulante, sobre el rendimiento y la eficiencia de encapsulación de betacarotenos.

El Ecuador presenta un importante crecimiento en la producción de zanahoria tanto en superficie como en producción ubicándose como el sexto productor de la región. En el 2018 la cadena productiva de Ecuador contó con un área cosechada de 6 957 ha y una producción de 43 298 toneladas métricas (FAOSTAT, 2018). Este cultivo se localiza en los valles interandinos de las provincias de Imbabura, Pichincha, Tungurahua, Bolívar, Chimborazo y Cotopaxi (Chulde, 2013, p.1).

Los betacarotenos son precursores de la vitamina A y tienen gran importancia en la regulación metabólica, desarrollo de la salud y la reducción de los riesgos a enfermedades cardiovasculares (Urango *et al.*, 2009).

La obtención de encapsulados mediante tecnologías de secado por aspersión permite conservar la bioactividad de los compuestos de interés y, además, por medio del uso de componentes o agentes encapsulantes se puede mantener la parte funcional del alimento a secar, de tal manera que se da un valor agregado al polvo obtenido (Becerra y Venturo, 2017).

El estudio del contenido (la concentración de betacarotenos) es una opción para generar valor agregado. La estabilización de los betacarotenos es un tema clave y se ha seleccionado un proceso de encapsulación por secado por aspersión, los materiales y las condiciones de operación van a ser analizadas en el presente estudio para conseguir el mejor tratamiento que ayude a conservar el compuesto bioactivo para que pueda usarse en la suplementación nutricional humana.

1.1 Planteamiento de problema

Debido a la gran cantidad de desperdicios generados por alimentos desechados a causa de no cumplir ciertas especificaciones para poder ser comercializados de manera común, es de vital importancia darles una segunda vida. Esto se da principalmente debido a dos factores. El primero es interno, el cual se refiere a las condiciones precarias de elaboración y/o recolección de los productos por la poca o nula innovación tecnológica de los procesos y el segundo son las

condiciones externas que no pueden ser controladas ya que se refiere sobre todo a las fluctuaciones en el clima.

Uno de estos, es el caso de las zanahorias que normalmente se rechazarían y serían arrojadas a la basura lo cual generaría grandes pérdidas además de contaminación visual. Sin embargo, a pesar de ser descartadas para el consumo humano debido a aspectos de calidad, aún poseen compuestos que pueden ser útiles como el β -caroteno el cual es una gran fuente de vitamina A, y a su vez podría ser un potencial ingrediente funcional para suplementos alimenticios.

Una manera de aprovechar este componente es mediante el encapsulamiento del principio activo, dado a que esta técnica es útil cuando se requiere conservación, higroscopicidad baja, fortificación de nutrientes, estabilidad en cuanto al almacenaje, entre otros (Sandoval, Rodríguez y Ayala, 2004).

Con base en lo planteado anteriormente, la presente propuesta plantea el aprovechamiento de los desperdicios de la zanahoria y uno de sus componentes bioactivos de alto valor comercial como es el β -caroteno o Provitamina A, mediante la obtención de un producto atomizado que preserve, gracias al encapsulamiento, el componente de interés antes mencionado.

Para la evaluación del funcionamiento de la propuesta, se revisará el efecto de dos variables que son la temperatura durante el proceso de secado por aspersión y la composición del material encapsulante que se usará en el proceso, sobre el rendimiento y la eficiencia de encapsulación de los β -carotenos.

1.2 Situación problemática

El Ecuador presenta un importante crecimiento en la producción de zanahoria tanto en superficie como en producción ubicándose como el sexto productor de la región. En el 2018 la cadena productiva de Ecuador conto con un área cosechada de 6 957 ha y una producción de 43 298 toneladas métricas (FAOSTAT, 2018). Este cultivo se localiza en los valles interandinos de

las provincias de Imbabura, Pichincha, Tungurahua, Bolívar, Chimborazo y Cotopaxi (Chulde, 2013, p.1).

Los problemas ambientales y malas prácticas de agricultura generan características no deseadas en la zanahoria siendo estas: morfología anormal, falta de color y de firmeza, aspereza, grietas, baja calidad en el corte de tallo, quemado del sol y corazón verde (Yerbabuena, 2013, p.13).

Las diferentes causas de rechazo de la zanahoria en la etapa de precosecha, cosecha y postcosecha generan entre el 18 al 51 % aproximadamente de rechazo del total de la producción (Richmond, 2009, p.18). Sin embargo, este porcentaje de rechazo de zanahoria se puede utilizar para aprovechar el contenido de β -carotenos con la finalidad de obtener encapsulados (Becerra y Venturo, 2017).

Los betacarotenos son precursores de la vitamina A y tienen gran importancia en la regulación metabólica, desarrollo de la salud y la reducción de los riesgos a enfermedades cardiovasculares (Urango et al., 2009).

La obtención de encapsulados mediante tecnologías de secado por aspersion permite conservar la bioactividad de los compuestos de interés y, además, por medio del uso de componentes o agentes encapsulantes se puede mantener la parte funcional del alimento a secar, de tal manera que se da un valor agregado al polvo obtenido (Becerra y Venturo, 2017).

1.3 Formulación del problema

El alto porcentaje de pérdida por estándares de calidad no cumplidos y el bajo precio de la zanahoria en el mercado nacional hacen que los agricultores no tengan la rentabilidad adecuada por su producción. Debido al contenido de compuestos bioactivos de interés Agroindustrial se puede generar valor agregado al extraerlos, concentrarlos y estabilizarlos consiguiendo mejor rentabilidad y mejor aprovechamiento nutricional de la zanahoria.

El estudio del contenido (la concentración de betacarotenos) es una opción para generar valor agregado. La estabilización de los betacarotenos es un tema clave y se ha seleccionado un proceso de encapsulación por secado por aspersión, los materiales y las condiciones de operación van a ser analizadas en el presente estudio para conseguir el mejor tratamiento que ayude a conservar el compuesto bioactivo para que pueda usarse en la suplementación nutricional humana.

1.4 Preguntas directrices o específicas de la investigación

- ¿Tienen efecto la temperatura y los materiales encapsulantes en el rendimiento y eficiencia de la microencapsulación de betacarotenos de extracto de zanahoria atomizada?

- ¿Qué características físico químicas tiene el zumo de zanahoria extraído?

- ¿Tienen efecto la temperatura y la composición del material encapsulante sobre el proceso de microencapsulación de betacarotenos

- ¿Qué características físico-químicas tienen los microencapsulados de betacaroteno del mejor tratamiento?

1.5 Justificación de la investigación

1.5.1 Justificación teórica

La presente investigación tiene como propósito primordial presentar una alternativa para el aprovechamiento de especies vegetales de rechazo como *Daucus carota* al obtener un producto de interés comercial como son microencapsulados de β -carotenos que pueden ser utilizados como ingredientes de suplementos alimenticios.

Los carotenoides son compuestos bioactivos sintetizados por frutas y verduras, son una familia de pigmentos liposolubles generalmente usados en las industrias alimentaria, farmacéutica, química y cosmética(Morowvaty Younes, 2016).

Entre los carotenoides, los β -carotenos son fitonutrientes que han sido ampliamente estudiados por ser el principal precursor de la vitamina A (Tanumihardjo, 2013) y se encuentran naturalmente abundantes en zanahorias, papayas, espárragos, espinacas, duraznos, batatas, brócolis, toronjas, pimentón y zapallo (Corrêa-Filho et al., 2019). En las zanahorias, los betacarotenos se pueden encontrar en una proporción de 11,210 ($\mu\text{g}/100\text{g}$) (Gul et al., 2015).

Por otra parte, los β -carotenos son conocidos como agentes antígenotóxicos y antioxidantes que se usan por lo general para mejorar el sistema inmunológico y para la prevención de enfermedades relacionadas con el estrés oxidativo o enfermedades degenerativas. No obstante, estos compuestos son altamente inestables y susceptibles a degradaciones físicas y fotoquímicas en el transcurso del procesamiento y almacenamiento de los alimentos, de manera que se plantean varias alternativas que permitan su incorporación o aprovechamiento siendo una de ellas la microencapsulación (Aissa et al., 2012).

Esta es una técnica que permite proteger el principio activo o material de la oxidación al atrapar partículas pequeñas de sólidos, líquidos o gases en biopolímeros obteniendo como resultado esferas o microcápsulas de diámetros desde 1 μm a 1000 μm . Las estructuras obtenidas a través de este proceso presentan dos componentes como son: el núcleo (compuesto bioactivo) y la matriz (material protector) (Corrêa-Filho et al., 2019).

1.5.2 Justificación metodológica

De acuerdo con Eun et al. (2019), el secado por aspersión es una excelente alternativa frente a otras técnicas convencionales de encapsulación puesto a que permite mantener los componentes bioactivos naturales.

La encapsulación aumenta la estabilidad de los betacarotenos cuando se aplican materiales de recubrimiento como carbohidratos (maltodextrina, pectinas, goma arábica, agar, almidones, carragenano, sacarosa y celulosa), proteínas (gelatina, gluten, proteína de soja o leche, gretina y caseína), lípidos (ácido esteárico, lecitinas, mono y diglicéridos, aceites hidrogenados), y sus

mezclas (Parra, 2011). El material encapsulante y las condiciones de operación del secado por aspersión son los factores más importantes para el proceso de encapsulación (Eun et al., 2019).

Entre otras de las razones por las cuales se usa el secado por atomización o spray drying en la microencapsulación es dado a su bajo costo, funcionamiento en continuo, flexibilidad, solubilidad rápida y capacidad de producción de partículas de excelente calidad (Corrêa-Filho et al., 2019). Se debe tener en cuenta que las propiedades de las partículas en polvo obtenidas como son: tamaño, distribución, humedad y temperatura dependen del material de encapsulación y las condiciones de operación (Goindi et al, 2016).

1.5.3 Justificación práctica

El aporte que generará la presente investigación será el aprovechamiento de la zanahoria de rechazo del mercado nacional, para obtener un producto atomizado con propiedades antioxidantes, el cual podría usarse como ingrediente de suplementos alimenticios.

1.6 Objetivos de la investigación

1.6.1 Objetivo General

Evaluar el proceso de encapsulación mediante secado por aspersión para la conservación de betacarotenos contenidos en *Daucus carota* var. chantenay (zanahoria) de rechazo de la poscosecha de Agrocomercial Don Luis.

1.6.2 Objetivos Específicos

- Analizar tipos y proporciones de materiales encapsulantes para el rendimiento de polvo de zanahoria y eficiencia de betacarotenos para seleccionar los niveles a utilizar.
- Analizar la temperatura de entrada del aire en el spray dryer para el rendimiento de polvo de zanahoria y eficiencia de betacarotenos para seleccionar los niveles a utilizar.

- Evaluar las características físicas, químicas y microbiológicas del zumo de zanahoria.

- Determinar el efecto de la interacción entre el material encapsulante maltodextrina: goma arábica (35:65, 50:50 y 65:35) y temperaturas de secado (150, 170 y 190 °C) sobre el rendimiento después del proceso de secado por aspersión.

- Determinar el efecto de la interacción entre el material encapsulante maltodextrina: goma arábica (35:65, 50:50 y 65:35) y temperaturas de secado (150, 170 y 190 °C) sobre la eficiencia del contenido de betacarotenos.

- Evaluar las características físicas, químicas y microbiológicas del mejor tratamiento microencapsulado.

CAPÍTULO II

2 MARCO TEÓRICO

2.1 Zanahoria

2.1.1 Origen

La zanahoria (*Daucus carota L.*) es una especie proveniente del Mediterráneo y del Centro de Asia, fue cultivada desde hace aproximadamente 2000 años por los romanos y los griegos (López, 2011, p.2). Las zanahorias cultivadas se clasifican en dos tipos: asiáticas u orientales y occidentales. Las zanahorias asiáticas (orientales) son raíces amarillas y púrpuras, su cultivo se evidencia desde el siglo X, mientras que las zanahorias occidentales son raíces de color anaranjado, blanco, rojo o amarillo cultivadas durante los siglos XVII y XVIII (Zaccari, 2010, p.5).

2.1.2 Generalidades del cultivo

2.1.2.1 Descripción botánica y morfológica

La zanahoria es considerada una planta de estación fría, bianual cuya temperatura de crecimiento óptima es de 15 a 25 °C, posee dos etapas de crecimiento, una vegetativa y una reproductiva. Durante la primera etapa se produce un tallo bastante comprimido, una roseta de hojas con peciolo largos y además se acumulan reservas carbonatadas en la raíz. Por otra parte, en la segunda etapa las reservas acumuladas se utilizan para que se lleve a cabo la elongación del tallo y la floración (INTA, 2013). La raíz puede ser redondeada hasta cilíndrica, hipertrofiada a base de parénquima cortical y está compuesta por el floema (parte externa) y el xilema (parte central). La calidad de las zanahorias está determinada por el contenido de floema, es decir, a mayor floema la zanahoria tiene mejor calidad (Chamorro, 2017). En el extremo del tallo se presentan umbelas conformadas por pequeñas flores azuladas, blancas o amarillentas. Las semillas presentan un tamaño pequeño, en diaquenio con aguijones curvados en los extremos (Chamorro, 2017).

2.1.2.2 Composición química y nutricional de la zanahoria Chantenay entera

En la siguiente tabla 1-1 se indica la composición química y nutricional de la zanahoria Chantenay entera para una porción de 100 gramos.

Tabla 1-1: Composición química y nutricional de la zanahoria variedad Chantenay.

| Analito | Valor | Unidades | Analito | Valor | Unidades |
|---------------|-------|----------|------------------|-------|----------|
| Agua | 90.69 | g | Sodio | 69 | mg |
| Proteínas | 0.72 | g | Potasio | 320 | mg |
| Grasas | 0.11 | g | Vitamina A | 835 | µg |
| Carbohidratos | 7.8 | g | Tiamina | 0.066 | mg |
| Fibra | 2.87 | g | Riboflavina | 0.058 | mg |
| Cenizas | 0.68 | g | Niacina | 0.983 | mg |
| Calcio | 33 | mg | Ac. Ascórbico | 5.9 | mg |
| Fósforo | 35 | mg | Valor energético | 33 | Kcal |

Fuente: Almeida y Zambrano, 2007, p. 106

2.1.2.3 Caracterización del zumo de zanahoria

De la caracterización química del zumo de zanahoria, de acuerdo a Becerra y Venturo (2017, p. 47) el zumo de zanahoria cuenta con pH de 6.1, la acidez titulable (en porcentaje de ácido málico) de 0.35%, y el contenido de sólidos solubles totales es de 8, se encuentra conformado por los compuestos nutricionales que se muestran a continuación: agua 95.5%, proteína 0.28%, grasa 0%, ceniza 0.58%, carbohidratos 3.64%. En cuanto a la cantidad de betacarotenos que se encuentra en el zumo de zanahoria se tiene entre 12 a 20 mg por cada 100 g (Alessandro *et al.*, 2013, p. 212).

El color naranja intenso está acompañado por incrementos en el contenido total de carotenos en zanahoria, existiendo cultivares con 12 a 15 mg de betas por cada 100 g de zumo, otros cultivares tienen entre 8 y 10 mg por cada 100 g, mientras que otros cultivares muestran niveles de hasta 40 mg de betacarotenos por cada 100 g de zumo (Alessandro *et al.*, 2013, p. 212).

De la caracterización microbiológica, según la Norma Técnica Colombiana 404 para zumos y pulpas de frutas, se tiene los límites máximos de recuento de aerobios totales, mohos y levaduras y coliformes totales, donde los límites máximos son: recuento total de aerobios 100 UFC/g, mohos y levaduras 100 UFC/g y coliformes totales 3 NMP/g (Almeida y Zambrano, 2007, p. 112).

De la caracterización física, de acuerdo a Almeida y Zambrano (2007, p. 109), el zumo de zanahoria cuenta con contenido de agua de 95.5%, mientras que su contenido de sólidos solubles totales es de 4.3°Brix, por lo que la densidad es de 1.034 g/mL. Respecto al color, el zumo de zanahoria de la variedad Chantena y presenta como parámetros de color la luminosidad (L) de 41.02, y la tonalidad (H) de 75.85, el color naranja y amarillo de las raíces está ligado a la presencia de pigmentos como alfa y betacarotenos y este último puede representar más del 50% de los carotenoides totales (Almeida y Zambrano, 2007, p. 113).

La determinación del color se basa en la incidencia de la luz visible sobre la superficie del alimento, donde una parte de esta energía es absorbida, mientras que otra parte es reflejada emitiendo ondas propias de cada color y el sensor es el encargado de establecer el espectro de la energía reflejada a través del cual, se obtiene la medición del color. Los resultados se expresan como L (luminosidad), a^* (cromaticidad de rojo-verde) y b^* (cromaticidad de azul-amarillo). Así también se determina el H (tonalidad).

2.1.2.4 Caracterización del polvo de zanahoria

De la caracterización química, de acuerdo a Almeida y Zambrano (2007, p. 109), el polvo de zanahoria presenta un pH de 4.84, humedad por cada 100 g de 5.52 %, proteína de 7.1 %, contenido de grasa de 3.09 %, ceniza 4.72 %, de carbohidratos de 63.86 % y finalmente el contenido de fibra es de 20.31 %. Por otro lado, la concentración de betacarotenos encontrado en el polvo de zanahoria es de 6.23 mg por cada 100 g de producto (Almeida y Zambrano, 2007, p. 110).

De la caracterización microbiológica, de acuerdo a la NTE INEN 2983:2016 de los requisitos de complementos nutricionales, respecto a los requisitos microbiológicos para los de tipo III (Complementos nutricionales que contienen ingredientes botánicos- no extractos), se tiene como límite máximo de aerobios totales de 1×10^7 UFC/g, de mohos y levaduras de 1×10^5 UFC/g, de enterobacterias de 1×10^4 UFC/g, de *Salmonella spp.* < 10 UFC, de *Escherichia coli* 1×10^2 UFC/g y *Staphylococcus aureus* < 10 UFC.

De la caracterización física, respecto al color, el polvo de zanahoria de la variedad chantenay presenta como parámetros de color la luminosidad (L) de 69.15 y la tonalidad (H) de 67.05. De la granulometría del polvo, se tienen los siguientes resultados: malla 50, 70, 80, 100, 140 y fondo, el porcentaje de retención es de 17.2, 14.4, 12.6, 4.4, 13 y 38.4 respectivamente (Almeida y Zambrano, 2007, pp. 114-115).

2.1.3 Potencial agroindustrial

La zanahoria como tal y sus compuestos bioactivos pueden tener varios usos entre los cuales destacan: culinarias o de alimentación, industriales y medicinales. En lo que respecta al uso culinario se hace referencia en la preparación de diversos alimentos incrementando su valor nutritivo ya que presenta un elevado contenido de: carotenos, principalmente de provitamina A, además de hidratos de carbono, vitaminas del complejo B, fósforo, magnesio, potasio y calcio (Barra, 2019, p. 18).

En la industria alimentaria se emplea como materia prima para la elaboración de productos como conservas, encurtidos, purés, zumos, etc. Además, como fuente para la extracción de betacarotenos o provitamina A, así como también de colorantes naturales. Los betacarotenos se pueden encontrar en esta especie vegetal en una cantidad de 11210 µg/100g (Gul *et al.*, 2015, p. 15). Estos compuestos poseen un alto valor antioxidante, que combate a las enfermedades relacionadas con el estrés oxidativo y además refuerza el sistema inmunológico (Aissa *et al.*, 2012, p. 20).

Las zanahorias también son utilizadas para la alimentación animal, especialmente aquellas de rechazo, tanto para su consumo directo como para la elaboración de piensos y snacks (Yerbabuena, 2013, p. 14).

2.1.4 Rendimiento en zumo

De acuerdo a Saravia (2011, p. 40), el rendimiento en zumo de zanahoria es de 56.16%, y este producto se extrajo de materia prima fresca sin sufrir tratamiento térmico alguno, y este valor dependerá de la variedad y del método de extracción empleado.

Por otro lado, el valor del rendimiento en zumo dependerá de los procesos de preparación de la materia prima previo al proceso extractivo, por ejemplo, tras el corte o troceado de la materia prima, se suele sumergir en agua con antioxidantes para evitar el pardeamiento, pero esto se ha demostrado que provoca pérdida del agua del producto, así también existen métodos de conservación a través de la aplicación de tratamientos térmicos como el blanqueo o cocción de las zanahorias, ambos factores causan variación en el rendimiento del zumo de zanahoria respecto a la extracción en fresco, tal es el caso del proyecto de investigación de Almeida y Zambrano (2007, p. 116) donde sometieron al alimento a blanqueo y encontraron un rendimiento de la variedad Chantenay de 49.6%.

2.1.5 Variedades de zanahorias

De acuerdo con Torres (2013) la zona en donde se encuentra centralizada la producción de zanahoria en el Ecuador es la sierra centro norte. Sin embargo, a nivel mundial existen un sin número de variedades, algunas de ellas se describen a continuación:

➤ Nantes

Sus raíces son semilargas, cilíndricas y sin puntas. Presentan un color anaranjado intenso y su sabor es dulce dado al alto valor de grados Brix (Caicedo y Sono, 2014). El peso promedio es de 150 g, la longitud está entre los 10 a 20 cm con un grosor de 3 cm aproximadamente. Son la variedad que domina el mercado en cuanto al consumo fresco, especialmente en Europa. Otros cultivares conocidos son Scarlet Nantes, Express, Romosa, Tip Top y Slendero (Ipiates, 2012).

➤ Chantenay

Variedad híbrida que presenta un color naranja oscuro, el corazón tiene un tamaño pequeño, su sabor es muy bueno y sus características lo hacen perfecto para el consumo fresco (Caicedo y Sono, 2014). Cumple la función de almacenamiento y las raíces secundarias se usan como órganos de absorción (INFOAGRO, 2008). Su sistema radicular es de forma variable con una longitud entre 12-17 cm y el peso aproximado es de 150 g. Entre otros cultivares mejorados se encuentran Royal Chantenay, Chantenay Andina y Chantenay Red Cored (Ipiates, 2012). En la figura 1-1 se muestra la variedad Chantenay.



Figura 1-1. Zanahoria variedad Chantenay

Fuente: (Kehr y Saavedra, 2018, p. 110)

➤ Antares

Se caracteriza por adaptarse a los cultivos de otoño y verano, en especial cuando la siembra se realiza en los meses de marzo a mayo. Poseen forma cilíndrico-cónica, lo cual las hace resistentes a la rotura (INFOAGRO, 2008).

➤ Flakee

Sistema radicular de gran tamaño, longitud mayor a 25 cm y peso promedio de 250 a 300 g. Presenta una forma levemente cilíndrica y alargada, contienen una alta cantidad de sólidos solubles y son de color anaranjado suave. Esta variedad es de tipo tardío y sumamente resistente a heladas por lo cual en Europa se utiliza bastante en la agroindustria de congelación y en el almacenamiento al estado natural. Algunos cultivares característicos son Flacoro, Autumn King (Colmar) y Topweight (Almeida y Zambrano, 2007).

➤ Bolero

Zanahoria alargada de la variedad tipo Nantes, generalmente se corta en varios fragmentos homogéneos que se toma como aperitivo. Se recomienda sembrarla en zonas frías específicamente en los meses de abril a junio (INFOAGRO, 2008).

➤ Diava F1

Variedad que se recomienda para periodos completos en zonas frías, es decir, de agosto a enero, mientras que para zonas más cálidas principalmente en los meses de octubre a noviembre (INFOAGRO, 2008).

➤ Bayon F1

Es una variedad de tipo Amsterdam, posee una hoja precoz, fuerte y su terminación al inicio no es totalmente redonda (INFOAGRO, 2008).

➤ Emperador

Son raíces delgadas y largas de forma aguzada, su peso corresponde a 150 g y tienen una longitud mayor a 20 cm. El color característico es anaranjado intenso y son de sabor bastante

dulce. Entre los cultivares representativos se encuentran Spartan 80, Saint Valéry y Emperador 58 (Carranza, 2006).

➤ Redonda

Raíz de tamaño pequeño y de forma esférica. Por lo general, se utilizan en la agroindustria de enlatados y congelados, además es bastante común en la comida tipo "gourmet". Los cultivares más reconocidos son Thumbelina, Redonda de París y Early French Frame (Almeida y Zambrano, 2007).

➤ Miniaturas

Esta variedad tiene raíces pequeñas, su longitud es inferior a 10 cm cuando se cultivan para obtener "baby carrots", pesan apenas unos pocos gramos y son de color naranja intenso. En cuanto a la forma de este tipo de zanahoria es cilíndrica cuya punta es redondeada. Minicor, Lady Finger y Amsterdam Forcing son los cultivares más utilizados (Carranza, 2006).

2.2 Betacarotenos

2.2.1 Estructura

El betacaroteno forma parte del amplio grupo de carotenoides, su fórmula molecular es $C_{40}H_{56}$ y se encuentra constituido por unidades de isopreno. En la Figura 2-1 se puede observar su estructura.

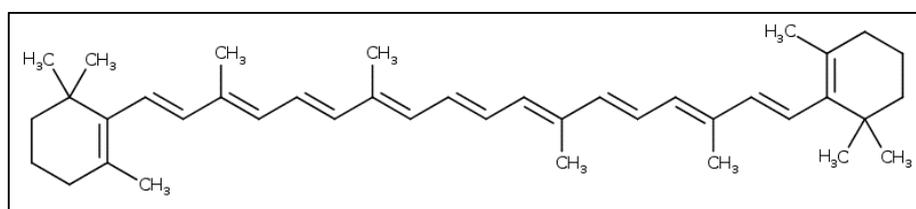


Figura 2-1. Estructura de los betacarotenos

Fuente: (DrugBank, 2010)

Los carotenoides son tetraterpenos formados por varias unidades isoprenoides, cuenta con un anillo de ciclohexano sustituido e insaturado en sus dos extremos. Los carotenoides son compuestos lipofílicos, es decir, no son solubles en agua (SANUTRICION, 2012, p. 1).

Ortiz y Mamani (2015) plantean que, dentro del grupo de los carotenoides, el betacaroteno es el más común, su molécula está compuesta por una cadena de átomos de carbono la cual se une por ambos lados a un anillo de seis carbonos. Por otra parte, si a esta se la divide por la mitad, sus dos partes son iguales, por lo tanto, la molécula es simétrica. Como ya se mencionó anteriormente la molécula de betacaroteno se desdobra dando lugar a moléculas de retinol, en este proceso una molécula de betacaroteno da lugar a dos moléculas de retinol o vitamina A.

El betacaroteno es un pigmento de color rojo o anaranjado que se puede encontrar en ciertos vegetales y frutas de estos colores como por ejemplo la zanahoria. Forma parte de un grupo de compuestos denominados carotenos los cuales son antioxidantes, es decir, tienen la capacidad de neutralizar a los radicales libres presentes en el cuerpo y con ello ayudar a reducir el padecimiento de enfermedades cardíacas (Ortíz y Mamani, 2015).

Su coloración común (color naranja) se da gracias a que existe una gran cantidad de dobles enlaces conjugados en la misma y estos dobles enlaces además tienen la capacidad de resonancia. La molécula de betacaroteno normalmente se encuentra en forma “trans” lo que la hace lineal (Ortíz y Mamani, 2015).

2.2.2 Funciones

De acuerdo con Haskell (2012) los betacarotenos son parte de la familia de los carotenoides, son un pigmento de color rojo anaranjado bastante intenso que abunda en frutas y plantas, además es la principal fuente de vitamina A en los seres humanos puesto que colabora en el mantenimiento de las funciones corporales y prevención de ciertas enfermedades.

Los betacarotenos son conocidos también como “provitamina A”, la cual específicamente en el hígado es transformada a retinol. Este compuesto es la forma más activa de vitamina A, proviene de alimentos de origen vegetal y es absorbido por el intestino delgado, además cumple con varias funciones importantes como son el crecimiento de los huesos, la visión y desarrollo de los dientes. La vitamina A es un nutriente importante para la visión, estudios demuestran que previene la nictalopía (ceguera nocturna) y la xeroftalmia (ausencia de lágrimas o sequedad), también fortalece la capacidad del sistema inmunológico para resistir infecciones, crecimiento adecuado, desarrollo, función gastrointestinal y funcionamiento de los sistemas reproductivos (Handelman, 2001, p. 818).

Los betacarotenos que contiene la zanahoria actúan y se desarrollan como antioxidantes ayudando a combatir la acción de los radicales libres frente a los organismos vivos. Estos radicales libres son moléculas que actúan de manera desfavorable en las células, de tal modo que provocan el deterioro de las mismas, por ende, abren paso al envejecimiento. El betacaroteno pertenece a una parte de la familia de los carotenoides, este contiene composiciones del isoprenoide que son polinsaturados con propiedades antioxidantes (Burbano *et al.*, 2016).

Al ser compuestos antioxidantes poseen varios beneficios para la salud, así como la prevención e inhibición de células cancerígenas, por otra parte, existen estudios comparativos en donde personas que basan su dieta en frutas y vegetales ricas en estos compuestos tienen un índice menor que las personas que no consumen este tipo de alimentos (Ortíz y Mamani, 2015). Así mismo evitan la formación de depósitos en las arterias, con lo cual mejoran la circulación de la sangre y evitan que se formen trombos al interior de las mismas. Por último, este tipo de compuestos fortalece el sistema inmune aumentando la cantidad de linfocitos en la sangre (Ortíz y Mamani, 2015). Además, Grune *et al.* (2010) indica que el betacaroteno es un potente antioxidante que funciona como eliminador de lípidos y oxígeno debido a la estructura de dobles enlaces que presenta. Por otro lado, diversos estudios epidemiológicos han demostrado que los betacarotenos favorecen en gran parte a la salud de las personas debido a que reducen el riesgo de diversos cánceres, enfermedades cardiovasculares y aumento de la respuesta inmunitaria (Boon *et al.*, 2010). El neuroblastoma es un tumor sólido extracraneal el cual puede ser inhibido gracias a los betacarotenos, esto puesto a que actúan como un agente quimioterapéutico por lo cual regulan la metástasis e invasión del tumor. Los betacarotenos han demostrado ser eficaces para inhibir otro tipo de tumores o células cancerígenas como las ocasionadas por los rayos ultravioletas (cáncer de piel), los carcinomas orales o hasta los tumores en el colon, los dos últimos causados por la ingesta de químicos como el dimetilbenzantraceno o el dimetilhidrazina respectivamente, suministrados a animales en laboratorio (Gul *et al.*, 2015).

2.2.3 Sensibilidad a factores externos

Los carotenoides son altamente sensibles a factores externos como la luz, la temperatura, el pH, metales, enzimas y peróxidos los mismos que provocan que estos pigmentos se oxiden y por ende se da la inactivación de sus propiedades antioxidantes. Esta inestabilidad de los carotenoides es debido a que estas moléculas contienen nueve o más dobles enlaces de manera conjugada los cuales pueden sufrir un proceso de oxidación por ciertas formas reactivas de

oxígeno, como por ejemplo el oxígeno singlete, obteniéndose como resultado una reducción de manera progresiva del color del producto final (Haro *et al.*, 2019, pp. 2-3).

La inestabilidad de los pigmentos carotenoides incrementa a medida que aumenta la cantidad de dobles enlaces no coplanares. En los betacarotenos específicamente, dos de sus dobles enlaces conjugados, no son coplanares con la cadena poliénica, razón por la cual presenta mayor inestabilidad de los pigmentos en comparación con el licopeno el cual tiene once dobles enlaces conjugados coplanares (Haro *et al.*, 2019, p. 3).

La propiedad de absorber luz de los carotenoides se deriva de la presencia de 7 o más enlaces dobles conjugados con posibilidad de absorber luz visible, con colores que van del amarillo al rojo (SANUTRICION, 2012, p. 1).

2.2.4 Métodos de extracción

Para obtener un extracto vegetal el cual es una mezcla compleja de compuestos activos y puede presentarse en forma líquida, semisólida o en polvo, se utilizan distintos procesos químicos, físicos y microbiológicos de la fuente de interés (Naveda, 2010). En la figura 3-1 se indican los métodos extractivos generalmente utilizados en la industria.

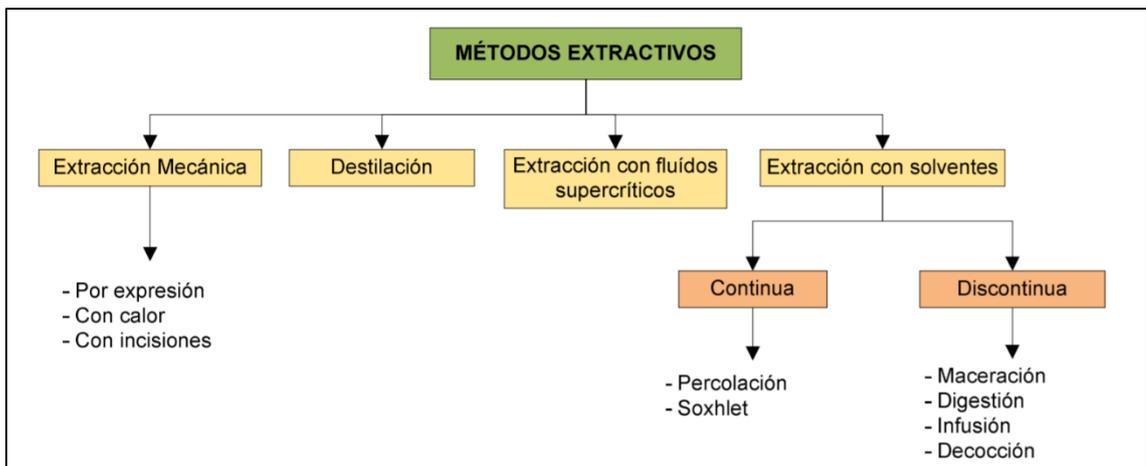


Figura 3-1. Métodos generales para obtención de extractos vegetales
Fuente: (Kuklinski, 2003)

➤ Extracción mecánica

Técnica que permite obtener fluidos que contienen los principios activos disueltos en forma de zumo. Existen algunas formas de realizar la extracción mecánica: por expresión que se basa en

comprimir el material vegetal mediante la aplicación de presión o por calor e incisiones que liberan exudados de la planta o fruta deseada (Kulinski, 2003).

➤ Destilación

Esta técnica permite separar sustancias que se encuentran en una mezcla, para lo cual se basa de los diferentes puntos de ebullición que posee cada componente (volatilidad). Se conocen varios tipos de destilación, sin embargo, las más usadas son destilaciones por arrastre de vapor e hidrodestilaciones. En la destilación el compuesto más volátil es arrastrado por el vapor saturado o sobrecalentado para que posteriormente sea condensado y recolectado (Lei, Li y Chen, 2003).

➤ Extracción con fluidos supercríticos

La extracción mediante esta técnica se basa en utilizar un fluido en estado supercrítico el cual se comporta como un gas adquiriendo las propiedades de una sustancia en ese estado y manteniendo algunas del estado líquido como dilución y densidad (De Andrade *et al.*, 2018).

Los fluidos supercríticos más utilizados son el dióxido de carbono (CO₂) y el butano (C₄H₁₀), debido a que no crean residuos tóxicos en el proceso de extracción y además ayudan a que el compuesto activo no se degrade fácilmente y que este sea de alta pureza. El proceso consiste en colocar el material vegetal cortado en trozos pequeños o molidos en una cámara de acero inoxidable por la cual circula un fluido supercrítico. El fluido hace que los compuestos activos se solubilicen y se arrastren para obtener el extracto (De Andrade *et al.*, 2018).

➤ Extracción con solventes

Técnica que utiliza una mezcla de solventes o solo uno en específico para transportar los principios activos de las plantas al disolvente. Una vez solubilizados los principios activos se pueden separar para obtener el extracto líquido y un residuo (Naveda, 2010).

2.2.5 Actividad antioxidante de los carotenoides

De acuerdo a estudios, se ha demostrado que los carotenoides previenen el daño por fotosensibilidad en bacterias, animales y humanos, reduce el daño genético y las transformaciones malignas, evita la inducción tumoral causada por los rayos ultravioletas y agentes químicos, además de reducir lesiones premalignas en los humanos. Los carotenoides estabilizan los radicales libres por su capacidad de estabilizar el oxígeno singlete y lo convierte en su forma menos reactiva, es decir en triplete, a expensas de una activación intramolecular (De Andrade *et al.*, 2018, p. 15).

2.2.6 Estabilidad de los pigmentos carotenoides

De acuerdo a estudios, los carotenoides son pigmentos estables, dentro de la matriz alimenticia. Sin embargo, al exponerse a tratamientos térmicos, a la pérdida de integridad celular o a la extracción, se tornan mucho más lábiles. Se ha demostrado, que los carotenoides son hidrofóbicos, por lo tanto, son insolubles en agua, por lo que las pérdidas por lixiviación por lavado son mínimas. Por otro lado, también se ha demostrado que su congelación, la adición de antioxidantes y la exclusión del oxígeno (vacío, envases impermeables al oxígeno, atmósferas inertes) reducen las pérdidas durante el procesado (Becerra y Venturo, 2017, pp. 16).

➤ Estabilidad frente a la oxidación

Los carotenoides se degradan debido principalmente a reacciones de oxidación, enzimáticas como las lipoxigenasas y no enzimáticas, las cuales se dan generalmente en el proceso de secado. Los carotenoides se oxidan más rápidamente cuando se extraen o purifican. Además, la oxidación de los carotenoides se acelera por la temperatura, la presencia de metales, luz y enzimas, y se reduce con la adición de antioxidantes, por lo que también se conserva mejor su color (Becerra y Venturo, 2017, pp. 16-17).

➤ Estabilidad frente a la temperatura

La temperatura influye en la estabilidad de los pigmentos carotenoides, ya que, en reacciones anhidras e hidratadas, actúa como acelerador de la reacción de degradación. De acuerdo a estudios realizados en zanahorias, que se han sometido a procesos de fritura a temperaturas de

165°C, 175°C y 185°C, la temperatura provoca la disminución de carotenos de manera significativa. En procesos de pasteurización, en zumos de naranjas sometidas a 90°C, se ha demostrado que la disminución de carotenoides es significativa, ya que las diferencias cualitativas en el perfil de carotenoides fueron evidentes, ya que los valores descendieron como consecuencia del tratamiento térmico (Heredia *et al.*, 2004, p. 4).

➤ Estabilidad frente a la luz

La luz influye sobre los carotenos ya que produce su ruptura molecular, generándose compuestos sin color, de bajo peso molecular. Esto es de gran interés para las industrias, ya que los carotenos pierden su función biológica de provitamina A y su color característico (Heredia *et al.*, 2004, pp. 4-5).

➤ Efecto del pH

Pese a que los carotenoides extraídos son relativamente resistentes a valores de pH extremos, los ácidos y álcalis pueden provocar isomerizaciones cis/trans de ciertos dobles enlaces, reagrupamientos y desesterificaciones, dato a tener en cuenta a la hora de manipularlos en laboratorio con fines analíticos. Así, por ejemplo, algunas xantofilas como fucoxantina y astaxantina, son excepcionalmente lábiles al medio alcalino, de ahí que a la hora de analizar fuentes naturales de estos carotenoides se recomiende no saponificar el extracto de pigmentos. No obstante, volviendo a la estabilidad de los carotenoides en los alimentos, hay que tener en cuenta que los epoxicarotenoides son muy inestables en medio ácido, lo cual tiene una gran importancia debido a la acidez inherente de algunos alimentos en particular (Becerra y Venturo, 2017, pp. 19-20).

2.3 Microencapsulación

2.3.1 Función

La técnica de encapsulación es bastante utilizada en diversos campos de la industria, especialmente en la alimentaria, el proceso tiene como fin recubrir o atrapar partículas sólidas,

líquidas o gaseosas dentro de delgados films encapsulantes de grado alimenticio (Gharsallaoui *et al.*, 2007).

Durante la encapsulación los materiales del núcleo están rodeados por una pared que funciona como una barrera física de protección ante factores externos. El material de revestimiento o agente encapsulante es el que se conoce como material de pared, mientras que los materiales del núcleo son denominados como fase interna y las partículas obtenidas son las microcápsulas (Gharsallaoui *et al.*, 2007).

Las microcápsulas que se obtienen son generalmente pequeñas y esféricas con diámetros que se encuentran en la escala de micrómetros y milímetros. Los tamaños finales de las microcápsulas dependen de los materiales y métodos utilizados para su elaboración, mientras que la morfología depende de los materiales del núcleo y de la deposición del film encapsulante (Gharsallaoui *et al.*, 2007).

2.3.2 Proceso de microencapsulación

La microencapsulación es un proceso que permite capturar componentes en un material secundario produciendo partículas sólidas pequeñas que tienen la capacidad de liberar dicho compuesto bajo condiciones específicas (Paulo y Santos, 2017).

En primer lugar, el compuesto activo se mezcla con los materiales de pared y se forma una emulsión fina y estable (Rodríguez *et al.*, 2019). Después, la mezcla es preparada al dispersar el material del núcleo generalmente de naturaleza hidrofóbica en una solución del material de revestimiento, con la cual es inmisible para evitar la mezcla de las dos fases antes de la solidificación del material (Gharsallaoui *et al.*, 2007). Cabe destacar que la tensión interfacial entre el material del núcleo y el compuesto debe favorecer la humectación del núcleo, además de presentar una viscosidad baja con el fin de que el material de pared fluya alrededor del núcleo (Oxley, 2014).

Después de que el compuesto de interés se encuentra rodeado por el material de pared, la cubierta debe ser solidificada para formar la microcápsula, este proceso se puede realizar a partir de varios métodos que pueden ser: físico-químicos (coacervación simple o compleja), físicos (secado por aspersión, extrusión, centrifugación simple, enfriamiento por aspersión) o químicos (polimerización interfacial, e inclusión molecular) (Mohd, Manaf y Hamzah, 2017).

Por lo general, la evaporación del solvente comprende uno de los mecanismos más comunes para la solidificación, de tal forma que el material de la cubierta se dispersa o disuelve y se aplica calor para eliminar el agua o solvente una vez que se haya encapsulado el compuesto activo. Finalmente se origina una precipitación de sólidos disueltos que da como resultado la formación de una capa sólida (Oxley, 2014; Sobel).

2.3.3 Beneficios de la microencapsulación

La microencapsulación tiene varios puntos beneficiosos como: proteger a componentes nutritivos altamente reactivos cuando se someten a las condiciones del proceso o a condiciones ambientales, prevenir la incompatibilidad y reactividad de los compuestos, mejorar el manejo del material ya que los materiales del núcleo están inmovilizados en una matriz polimérica, controlar la liberación de los principios activos lo que hace que los encapsulados sean dirigidos a distintas partes del organismo de manera más precisa, proporcionar mejores condiciones de almacenamiento que previenen reacciones degradativas como deshidratación y oxidación, además logra esconder el sabor nativo del material central en caso de que no sea apetitoso pero si aporte beneficios a la salud (Shahidi y Han, 1993).

Al ser una operación de un solo paso elimina varias operaciones intermedias como son la precipitación, filtración y clasificación y por último reduce el tiempo de procesamiento. Se puede trabajar de manera continua y secar grandes cantidades de producto. Es importante resaltar que mediante esta técnica se controlan varias condiciones de operación hasta alcanzar el resultado deseado (Shahidi y Han, 1993).

➤ Aumento de estabilidad de pigmentos

Existen varios estudios que se enfocan en incrementar la estabilidad de los pigmentos de los carotenoides a través de varias técnicas, como son: secado por aspersión mediante el uso de compuestos encapsulantes como gelatina, goma arábiga, caseinato de sodio, almidón modificado, mezclas de maltosa-dextrina y almidón de arroz-gelatina. De aquí, surge que la estabilidad de los pigmentos carotenoides aumenta tras la encapsulación en una matriz biopolimérica (Haro *et al.*, 2019, p. 3).

- Aumento de vida útil

Una gran ventaja del encapsulamiento de carotenoides en biopolímeros es el aumento de su vida útil, ya que se favorece la conservación del caroteno y su actividad biológica, y se obtiene un producto final sin incremento de su toxicidad (Haro *et al.*, 2019, p. 3).

2.3.4 Métodos de microencapsulación

De acuerdo con Alexe y Dima (2014), existen distintas metodologías para realizar microencapsulados, dichos métodos se aplican de acuerdo al componente a encapsular y al resultado a obtener, los procesos pueden ser físicos, químicos o una mezcla de ambas.

- Procesos Químicos: Inclusión molecular y polimerización interfacial.
- Procesos Físicos: Secado por aspersión.
- Procesos Fisicoquímicos: Coacervación o separación de fases, gelificación y liposomas.
- Polimerización interfacial

Proceso que se da en la interfase de dos sustancias inmiscibles las cuales forman una membrana producto de la polimerización de un monómero que da lugar a la pared de la microcápsula. En este proceso se identifican tres pasos importantes:

Producción de una emulsión agua en aceite que se forma por la dispersión de una solución acuosa de un reactante en fase orgánica que es soluble en agua. A la emulsión anterior se le adiciona un complejo que sea soluble en aceite, el mismo que inicia la formación de una membrana polimérica en la superficie de las gotas de agua. Después se da la separación de las microcápsulas mediante centrifugación o separándola de la fase orgánica y finalmente la transferencia en agua para formar una suspensión acuosa (Yáñez *et al.*, 2002).

- Coacervación

Es un método físico-químico que se basa en la separación de fases para lo cual primero se da la formación de un sistema trifásico que sea químicamente inmisible entre sus fases (fase continua, material de pared y fase líquida). Seguido de una deposición del material polimérico líquido que es el que formará el recubrimiento del material a encapsular. Finalmente, la solidificación del recubrimiento con el que se obtiene microcápsulas esféricas de alrededor de 4 μm con una carga de material encapsulado de aproximadamente 90 % (Yáñez *et al.*, 2002).

➤ Liposomas

Los liposomas son estructuras microscópicas compuestas de una bicapa de lípidos que encierran un volumen acuoso. Se elaboran a partir de moléculas anfifílicas con sitios hidrofóbicos como los fosfolípidos en lecitina. Se coloca el material a encapsular en la fase acuosa cuando es hidrofílico o se agrega en un solvente orgánico cuando es lipofílico (Yáñez *et al.*, 2002).

➤ Gelificación

Es un método que se da mediante una reacción química que consiste en suspender el principio activo que se desea encapsular en la solución de alginato sódico en fase acuosa (polianión), la mezcla se adiciona por medio de goteo sobre una solución de cloruro cálcico (catión) en fase acuosa la misma que se encuentra a una velocidad de agitación apropiada. Posteriormente al entrar en contacto las muestras formarán una pared cubierta de alginato cálcico insoluble pero permeable al agua (López y Villalta, 2009).

➤ Secado por aspersión

El secado por aspersión es un método de microencapsulación ampliamente utilizado en la industria que consiste en la dispersión de la sustancia a encapsular en el agente encapsulante, seguido de una aspersión de la muestra en una cámara a alta temperatura, el solvente se evapora instantáneamente y el material activo queda atrapado dentro de una película de material encapsulante (Ceballos *et al.*, 2016, p. 40).

2.3.5 *Secado por aspersión como proceso de microencapsulación*

Algunos de los factores que limitan el uso de betacarotenos como un ingrediente nutracéutico o colorante natural son la escasa o nula solubilidad en el agua, elevado punto de fusión, inestabilidad química, carácter lipofílico y baja biodisponibilidad (Liang *et al.*, 2013). Es por tal razón que la microencapsulación se utiliza como un método para mejorar la estabilidad de los betacarotenos.

Esta técnica se basa en empaquetar gotas de líquido, gas o partículas sólidas en paredes individuales diseñadas para proteger el material encapsulado de factores que pueden causar el

deterioro de los betacarotenos para de esta manera aumentar el tiempo de vida útil y controlar la liberación del material encapsulado (Jiménez, García y Beristain, 2004).

El principal material de pared que se usa con frecuencia es la goma arábica debido a que es un excelente emulsionante y presenta una buena retención de volátiles. No obstante, recientemente se han realizado estudios en los que se considera a las proteínas como material de pared (Rascón *et al.*, 2011).

Tipos de secado por aspersión

El secado por aspersión ha sido utilizado como un método de encapsulación que se basa en atrapar el material "activo" dentro de una matriz protectora (material de pared), esta matriz se caracteriza por ser esencialmente inerte al material que se encapsula (material del núcleo) (Rascón *et al.*, 2011).

➤ Atomizador de presión

El alimento se bombea a la boquilla del atomizador a presiones altas y se obliga a pasar a través de un orificio de diámetro muy pequeño. Desde el punto de vista energético, este es el atomizador más económico (Rosa *et al.*, 2006).

➤ Atomizador de doble fluido

También denominado atomizador neumático, este requiere menos energía que el atomizador de presión puesto a que el líquido se rompe por el cizallamiento generado por la diferencia de velocidades entre este y otro fluido, que generalmente es aire (Rosa *et al.*, 2006).

➤ Atomizador centrífugo

Se basa en un disco que gira al final de un eje donde se inyecta el material líquido que acelera radialmente rociando el alimento en la cámara de secado. Los factores que se deben controlar en este tipo de atomizador son la velocidad de giro y la cantidad de flujo, pues un aumento de la rotación y una reducción del flujo de líquido provocan una disminución del tamaño de las gotas (Rosa *et al.*, 2006).

2.3.6 Aplicaciones

En la actualidad las aplicaciones de técnicas de microencapsulación se han incrementado en la industria de los alimentos, pues brindan protección de los materiales encapsulados frente a diferentes factores (luz, oxígeno) que afectan su vida útil, permitiendo, mantener su estabilidad y viabilidad en el tiempo (Luna *et al.*, 2016).

Existen varias industrias las cuales utilizan el secado por aspersión de gotas en los procesos para la obtención de un sin número de productos, la aspersión se emplea en los sectores cosméticos, químicos, farmacéuticos, cerámicos, pesticidas, alimentarios y fragancias (Mondragón *et al.*, 2013).

Por ejemplo, en la industria farmacéutica, el secado por aspersión se emplea para producir pequeños gránulos porosos y huecos los cuales actúan como portadores de ciertos fármacos. Otro ejemplo es en la industria de detergentes, en donde se utiliza este proceso con el fin de obtener gránulos con una porosidad y microestructura interna adecuada la cual ayudará a tener una mejor retención de agentes activos (Mondragón *et al.*, 2013).

La relación que existe entre las características del polvo atomizado y las condiciones de operación se estudiaron para: suspensiones alimentarias como el café o leche en polvo, así como también para soluciones acuosas como sulfato sódico, nitrato amónico, cloruro sódico, silicato sódico. En los años 80 este tipo de estudios se extendieron hasta ser utilizados para materiales empleados en la industria de la cerámica como ZrO_2 , Al_2O_3 , Si_3N_4 y SiO_2 (Mondragón *et al.*, 2013).

2.3.7 Condiciones de operación

En el proceso de microencapsulación mediante secado por aspersión existen varias condiciones de operación que se controlan, siendo las principales: las especificaciones del equipo, la materia prima a tratar y las propiedades del compuesto a secar. Dentro de estas condiciones se encuentran la temperatura de entrada y de salida, la velocidad de flujo de alimentación, la velocidad de flujo de aire de entrada y la velocidad de aspersión (Kha *et al.*, 2014). Las temperaturas más usuales que se manejan en extractos de plantas van de 140 a 220 °C, y las velocidades de aspersión suelen ir de 250 a 450 Hz, mientras que las otras condiciones se van variando en función de los parámetros mencionados anteriormente (Serra *et al.*, 2015).

2.3.8 *Materiales de pared*

Los materiales de pared deben tener la capacidad de formar un film que se adhiera al compuesto activo o núcleo y ser compatibles químicamente con el método o técnica de microencapsulación, no reactivos y proporcionar tanto las propiedades requeridas como protección al compuesto de interés (Gharsallaoui *et al.*, 2007; Sobel *et al.*, 2014). Estos componentes intervienen tanto en las propiedades de la emulsión como de las partículas o polvo generado, siendo este un criterio fundamental para su selección (Mohd, Manaf y Hamzah, 2017). Los materiales de pared usados en la microencapsulación por spray drying deben tener la capacidad para formar emulsiones y mantener estable el compuesto activo en el transcurso del proceso, además de fluir fácilmente con una concentración elevada de sólidos (Prata *et al.*, 2013).

Los materiales de encapsulación destinados en el proceso de secado por aspersión, pueden ser: carbohidratos, gomas, lípidos y proteínas; entre los cuales destacan aquellos polímeros de mayor peso molecular y elevada temperatura de transición vítrea como: maltodextrina, goma arábica y almidones modificados (Serra *et al.*, 2015).

Carbohidratos

Los carbohidratos son considerados como buenos agentes encapsulantes debido a que presentan bajas viscosidades con altas concentraciones de sólidos, además de una buena solubilidad, pero la mayor parte de este grupo carecen de propiedades interfaciales que permitan una elevada eficiencia de microencapsulación como en el caso de gomas o proteínas (Gharsallaoui *et al.*, 2007).

➤ Maltodextrina

La maltodextrina es un sacárido que consiste en varias unidades de D-glucosa unidas a través de enlaces α 1-4. Comprende un polvo blanquecino o solución concentrada a partir de la hidrólisis parcial de almidón de maíz con ácidos o enzimas. Se caracterizan por presentar una adecuada estabilidad en procesos oxidativos pero una baja capacidad de emulsificación, por lo cual se sugiere usar en combinación con goma arábica o almidones modificados (Gharsallaoui *et al.*, 2007; Serra *et al.*, 2015). Son usualmente utilizados como agentes de transporte en el secado por aspersión debido a su baja higroscopicidad permitiendo la aglomeración de partículas y una elevada solubilidad a costos bajos (Rodríguez *et al.*, 2019, pp. 1-18; Prata *et al.*, 2013, pp. 86-92).

➤ Almidones modificados

El almidón y sus derivados modificados son de carácter hidrofílico de manera que no son aptos para la encapsulación de sabores y lípidos. Los almidones son insolubles en agua a bajas temperaturas, es así que, al incrementar la temperatura para solubilizar, estos compuestos forman una pasta que tiene la capacidad de conformar films, sin embargo, presenta una elevada viscosidad, lo que dificulta su uso en la encapsulación por spray dryer (Chinnaswamy y Ishwarya, 2015. pp. 77-100).

Gomas

Destacan por su capacidad tanto de formación de films como propiedades de emulsión y estabilización a amplios rangos de pH (Serra *et al.*, 2015).

➤ Goma arábica

La goma arábica es un polisacárido, de naturaleza ácida. Se dispersa fácilmente en concentraciones por encima del 50% debido a su estructura ramificada. Las características de la goma arábica son su alta solubilidad, baja viscosidad, alta capacidad emulsionante y alta estabilidad oxidativa. Es usada comúnmente en el secado por aspersión debido a que garantiza una alta capacidad de protección y retención de los compuestos volátiles de interés al formar la cápsula (Serra *et al.*, 2015).

Proteínas

Las proteínas presentan excelentes propiedades funcionales como: solubilidad, viscosidad, emulsificación y capacidad de formación de films que les permiten ser un buen material de pared para la microencapsulación. Las proteínas de mayor uso son las proteínas del suero de leche, caseinato de sodio y gelatinas (Gharsallaoui *et al.*, 2007, pp. 1107-1121).

➤ Suero de leche

El suero de leche es un subproducto de la elaboración de quesos, comprende cuatro fracciones principales de proteínas como son: α -lactoalbúmina, β -lactoglobulina, suero de albúmina e inmunoglobulinas. Las proteínas del suero de leche presentan una estructura globular y son capaces de permanecer en solución a rangos amplios de pH, sin embargo, ante la presencia de

calor son susceptibles al proceso de desnaturalización. Presentan una gran capacidad de encapsulación, emulsificación, propiedades antioxidantes y propiedades de formación de gel que sirven para atrapar tanto compuestos volátiles como no volátiles (Chinnaswamy y Ishwarya, 2015, pp. 77-100).

➤ Gelatina

Es una combinación de proteínas y péptidos que se obtiene a partir de una hidrólisis parcial del colágeno obtenido a partir de subproductos de origen animal. Destacan por su elevada solubilidad en agua y capacidad de formación de pared e incremento de su resistencia (Chinnaswamy y Ishwarya, 2015, pp. 77-100).

➤ Caseinato de sodio

Se caracteriza por sus propiedades físicas y funcionales requeridas para encapsular núcleos lipofílicos. Este se distribuye a partir del mismo debido a su elevada difusividad, configuración molecular y características anfifílicas (Chinnaswamy y Ishwarya, 2015, pp. 77-100).

Lípidos

Son compuestos de carácter hidrofóbico. Entre ellos se pueden encontrar grasas hidrogenadas, glicéridos, fosfolípidos, esteroides, ácidos grasos, entre otros. Son usados para encapsular y liberar materiales con actividades hidrofílicas (Sobel *et al.*, 2014).

CAPÍTULO III

3 METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

3.1 Materiales, equipos y reactivos

3.1.1 *Materia prima*

- Zanahorias, variedad Chantenay
- Goma arábica
- Maltodextrina

3.1.2 *Materiales*

- Coladera
- Fundas ziploc
- Frascos plásticos
- Bureta
- Pipeta
- Propipeta
- Petrifilm
- Picnómetro
- Columna C₁₈
- Matraz volumétrico
- Bureta con llave de teflón
- Agitador magnético
- Equipo de filtración al vacío
- Espátula cuchara
- Frasco ámbar
- Guantes de nitrilo
- Pipeteador de émbolo
- Pipeta volumétrica
- Soporte universal
- Vaso de precipitación
- Zapatilla
- Matraz Kjeldahl

- Matraz Erlenmeyer
- Probetas de 50 y 200 cm³
- Parafina
- Piedra pómez
- Cajas petri plásticas de 15 × 100 mm
- Tips
- Cucharas estériles
- Pipetas automáticas de volúmenes variables
- Placas SimPlate TPC CI
- Cápsulas de desecación
- Arena y varilla
- Desecador
- Papel filtro
- Crisoles

3.1.3 Equipos

- Despulpador (Marca: Fritega, Modelo: WF-B3000)
- Balanza (Marca: Jontex, Capacidad: 100 kg)
- Refractómetro digital (Marca Hanna, Modelo: HI96801, Capacidad: 0-85% Brix)
- pH-ímetro (Marca: Martini, Modelo: Mi 180 Bench Meter)
- Colorímetro triestímulo Minolta (Modelo CR-200)
- HPLC (Marca: Perkin, Modelo: Series 200)
- Spray Dryer (Marca: ZPG serie centrífuga)
- Aparato Kjeldahl (Marca: Tecator, Modelo: Kjeltex auto 1030 Analyzer)
- Balanza analítica de precisión (Marca: Mettler toledo, Modelo: AT261 Delta Range, Capacidad max.: 205 g, apreciación: 0.1 mg)
- Baño maría (Marca: Isolab, Temperatura máxima: 99 °C)
- Incubadora (Marca: Biobase, Modelo: BJPX-Hilo, Temperatura máxima: 65 °C)
- Estufa (Marca: VWR, Modelo: 1330FM, Temperatura máxima: 130 °C)
- Micropipeta (Marca: Glassco, Modelo: 321283, Capacidad: 100-1000 µL)
- Termómetro digital (Marca: VWR, Rango: -50 a 300 °C, precisión ± 1 °C)
- Manta calefactora (Marca: Fisherbrand)
- Mufla (Marca: Prescal)
- Termomix (Marca: Termomix, Capacidad: 0-100 °C)
- Unidad de extracción de grasa (Marca: Tecator, Modelo: Soxtec System HT 1043)

- Unidad de extracción de fibra (Marca: Tecator, Modelo: AB 1095 serie 444)
- Campana de extracción de gases (Marca: Biobase, Modelo: FH1500)
- Contador microbiológico (Marca: Rocker, Modelo: Galaxy 330)
- Digestor (Marca: Foss Tecator, Modelo: 2020)

3.1.4 Reactivos

- Agua destilada
- Cloro 100 ppm
- Fenolftaleína 0.1 en alcohol
- Metanol grado HPLC
- MTBE-Metil ter butil éter grado HPLC
- Ácido sulfúrico concentrado con densidad 1.84 g/cm³ a 20°C, exento de nitrógeno
- Solución 0.1 N de ácido sulfúrico, debidamente estandarizada
- Solución concentrada de hidróxido de sodio, (soda Kjeldahl).
- Solución 0.1 N de hidróxido de sodio, debidamente estandarizada
- Sulfato de potasio o sulfato de sodio y sulfato de cobre, anhidros exentos de nitrógeno.
- Granallas de zinc
- Solución alcohólica de rojo de metilo.
- Agar para recuento en placa (PCA, Plate Count Agar)
- 2,3,5-trifeniltetrazolium
- Solución buffer
- Peptona de caseína
- Cloruro de sodio
- HCl 1N
- Caldo BHI
- Éter de petróleo
- Alcohol etílico al 96 %

3.2 Metodología experimental

3.2.1 Materia prima

La materia prima que se empleó fueron 65 kg de zanahoria de rechazo (*Daucus carota*) de la variedad Chantenay proveniente de Agrocomercial Don Luis.

3.2.2 Diagrama de flujo del proceso experimental

A continuación, en el gráfico 1-2se detalla el diagrama de flujo del proceso de obtención del polvo de zanahoria micro encapsulada a partir de zanahorias variedad Chantenay.



Gráfico 1-2.Diagrama de flujo del polvo de zanahoria micro encapsulado
Realizado por: William D., Jácome L. 2021

Para la obtención del polvo de zanahoria a partir de materia prima fresca, se empleó el siguiente proceso:

➤ Recepción de materia prima

Se utilizaron zanahorias sanas, limpias, pero con tamaños fuera de especificación (con longitudes mayores a 165 mm y menores a 85 mm), zanahorias deformadas (aquellas con raíces con bifurcaciones y/o malformaciones), libres de grietas y plagas.

➤ Selección

Se realiza el retiro manual de malformaciones en las zanahorias que aplique el caso.

➤ Lavado

Se procedió al lavado de las zanahorias (ver gráfico 2-2) con abundante agua, hasta remover todo el material sólido adherido en la piel.



Gráfico 2-2. Zanahorias Chantenay del proceso experimental
Realizado por: William D., Jácome L. 2021

➤ Desinfección

Para desinfectar la materia prima, se empleó una solución de cloro a 100 ppm y se sumergió las zanahorias durante 2 minutos.

➤ Pesado

Se pesó la materia prima.

➤ Despulpado

La zanahoria limpia y desinfectada, se despulpó.

➤ Filtrado

Se pasó el zumo por una malla (ver gráfico 3-2).



Gráfico 3-2. Filtrado del zumo
Realizado por: William D., Jácome L. 2021

➤ Estandarizado

Se mezcló el zumo de zanahoria con los compuestos encapsulantes (maltodextrina y goma arábica) (ver gráfico 4-2) en tres diferentes proporciones, y se agitó para obtener una mezcla homogénea (ver gráfico 5-2).



Gráfico 4-2. Pesado de encapsulantes
Realizado por: William D., Jácome L. 2021



Gráfico 5-2. Zumo estandarizado
Realizado por: William D., Jácome L. 2021

➤ Secado por aspersion

Se secó la solución estandarizada a las diferentes condiciones de temperatura y concentraciones del material encapsulante.

➤ Envasado

El polvo de zanahoria obtenido, se colocó en fundas plásticas a vacío (ver gráfico 6-2) para protegerlas de la exposición al oxígeno, y estas que se colocaron dentro de frascos plásticos para protegerlas de la exposición a la luz.



Gráfico 6-2. Polvo de zanahoria envasado
Realizado por: William D., Jácome L. 2021

➤ Almacenado

Se almacenó el producto a temperatura ambiente.

3.3 Caracterización del zumo de zanahoria

En el presente trabajo se realizó una investigación de tipo exploratoria. Para la realización de ensayos de laboratorio se empleó información como procedimientos, especificaciones y regulaciones presentes en la normativa ecuatoriana vigente, esto con el fin de poder realizar una comparación de resultados. Este proceso se realizó para determinar la caracterización físico química del zumo de zanahoria previo al secado y conocer si cumple o no con las especificaciones descritas en las normas.

3.3.1 Cálculo del rendimiento del zumo

Para la determinación del rendimiento del zumo de zanahoria, se establece la relación entre zumo obtenido respecto a la materia prima inicial.

3.3.2 Caracterización física

➤ Densidad

La determinación de la densidad del zumo de zanahoria, se realizó con el método del picnómetro, que de acuerdo a Atarés (2020, pp. 1-5) (ver gráfico 7-2), indica el siguiente proceso:

Pesar el picnómetro vacío con su tapa y anotar su masa, luego, llenar el picnómetro con agua, tapar y anotar su masa, vaciar el picnómetro y llenarlo con la muestra a analizar y anotar su masa. Para los cálculos de la densidad de la muestra, se aplicó la siguiente ecuación 1-2:

$$\rho = \frac{m_{p+m} - m_p}{m_{p+a} - m_p} * \rho_a \quad (\text{Ec. 1-2})$$

Donde:

ρ es la densidad de la muestra a analizar

m_{p+m} es la masa del picnómetro mas la muestra

m_p es la masa del picnómetro

m_{p+a} es la masa del picnómetro mas agua

ρ_a es la densidad del agua



Gráfico 7-2. Picnómetro para medir densidad
Realizado por: William D., Jácome L. 2021

➤ Color

Se efectuaron mediciones del color de la zanahoria mediante un colorímetro digital (Minolta, CR200, Japón) en el sistema de medición CIELAB (Universidad de La Rioja, 2012, p. 12), donde L representa la luminosidad del fruto, a y b en conjunto representan la saturación del color y H la tonalidad del fruto y se definen por la siguiente ecuación 2-2:

$$H = \arctg \left(\frac{b^*}{a^*} \right) \quad (Ec. 2-2)$$

Dónde:

H es el tono

a^* es la coordenada colorimétrica verde-rojo (-60 hasta +60)

b^* es la coordenada colorimétrica azul-amarillo (-60 hasta +60)

La identificación del color de la zanahoria se hará uso de la tabla de colores acromática y tabla de luminosidad, que se presenta a continuación en la figura 1-2 (Almeida y Zambrano, 2007, p. 22).

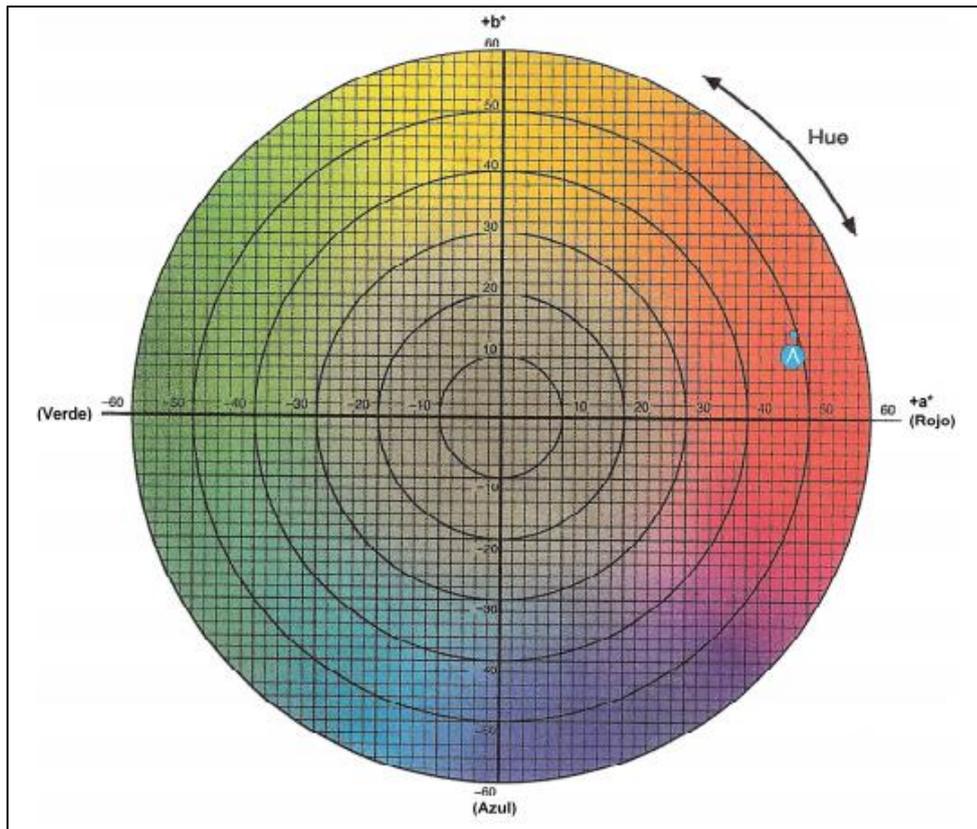


Figura 1-2. Diagrama de cromaticidad

Fuente:(Almeida y Zambrano, 2007, p. 22)

Para la comparación de color de dos alimentos, se empleará la diferencia de color que hay en cada uno de los atributos, ΔL y ΔH , donde cada uno representan a la variación de luminosidad y de tonalidad respectivamente y se determinan a partir de las ecuaciones 3-2 y 4-2.

$$\Delta L = L_{\text{Muestra}} - L_{\text{Referencia}} \quad (\text{Ec. 3-2})$$

$$\Delta H = H_{\text{Muestra}} - H_{\text{Referencia}} \quad (\text{Ec. 4-2})$$

3.3.3 Caracterización química

➤ Sólidos solubles totales

De acuerdo al método oficial de análisis AOAC 931.12 (2005), se colocó una gota del zumo de zanahoria en el refractómetro digital y se dio lectura al resultado (ver gráfico 8-2).



Gráfico 8-2. Refractómetro digital
Realizado por: William D., Jácome L. 2021

➤ pH

De acuerdo al método oficial de análisis AOAC 981.12, se colocó el potenciómetro en la muestra y se procedió a dar lectura (ver gráfico 9-2).

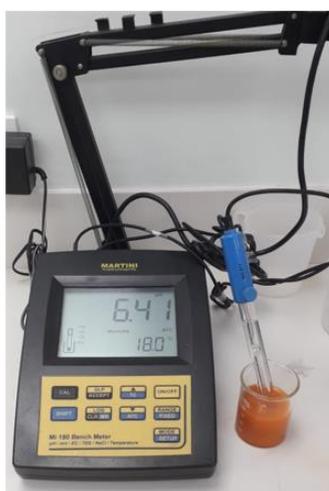


Gráfico 9-2. Potenciómetro
Realizado por: William D., Jácome L. 2021

➤ Acidez titulable

Para la determinación de la acidez titulable, se siguió la norma AOAC 942,15, donde se realizó una dilución de zumo 1/10 (5 mL de zumo/45 mL de agua), luego se colocó una gota de fenolftaleína y se tituló con una solución de hidróxido de sodio 0.1 N, hasta que el color rosa persista por 30 min. Una vez obtenido el valor de NaOH gastados en la titulación, se realizó el cálculo de porcentaje de acidez utilizando la siguiente ecuación 5-2:

$$\%A = \frac{0.067 \times V \times N \times 100}{V_2} \quad (Ec.5-2)$$

Donde:

A es la acidez expresada en porcentaje de ácido málico (v/v)

V es el volumen de NaOH gastado (mL)

0.067 es el equivalente del ácido málico

V_2 es el volumen de la muestra diluida (mL)

➤ **Betacarotenos**

Se utilizó un sistema de HPLC (Perkin Elmer series 2000), con una columna C_{18} (150 x 4.6 mm, 5 μ m, 100 Å), el tamaño de inyección de la muestra fue de 20 μ L (temperatura ambiente) y la velocidad del flujo fue de 2 mL/min. Se utilizó una fase móvil que corresponde a la mezcla de metanol y MTBE (60:40 v/v) como método isocrático de elución.

Se realizó diluciones del estándar de betacarotenos (ver Anexo D), y con esto se obtuvo la curva de calibración del estándar (ver Anexo E) y posteriormente, se determinó la concentración de betacarotenos del zumo de zanahoria (Ver Anexo F) (Wingqvist, 2011, pp. 17-19).

➤ **Proteína**

Para la determinación de la proteína del zumo de zanahoria, se empleó el método micro – Kjeldahl (AOAC 960.52-1978). Se pesó 10 g de muestra previamente desecada y se trasladó a un tubo de digestión. Se agregó 30 ml de ácido sulfúrico concentrado y 2 g de mezcla catalizadora. Se llevó al bloque de digestión y se elevó la temperatura hasta 450 °C por 3 horas. Al cabo de este tiempo y una vez que la muestra se digirió se llevó a destilar en un destilador por arrastre de vapor VELD DKU 6, agregando 50 ml de NaOH al 50 % y recogiendo el amoníaco desprendido sobre ácido bórico al 3 % con indicador mezcla. Finalizada la reacción, se procedió a titular con ácido sulfúrico 0.15 N, hasta viraje del indicador, y se aplicó la siguiente ecuación 6-2:

$$\% \text{ Proteína} = \frac{V_{HCl} \times N \times 14 \times 6.25}{1000 \times m} \times 100\% \quad (\text{Ec. 6-2})$$

Donde

V_{HCl} es el volumen de ácido clorhídrico gastado en la titulación (mL)

N es la normalidad del ácido clorhídrico

14 es el equivalente-gramo del nitrógeno

6.25 es el factor proteico

m es el peso de la muestra empleada (g)

➤ Grasa

Para la determinación de grasa cruda, se siguió el método del Soxhlet, se utilizó éter de petróleo como solvente extractor, y se siguió el método AOAC 920.39. Para esto se pesó 10 g de muestra molida y seca, se colocó la muestra en un cartucho de extracción en el sifón. Se utilizó una manta calefactora para calentar por 4 h, luego, se retiró y se evaporó la mayoría del disolvente. Luego, se dejó enfriar en el desecador y, al alcanzar una temperatura ambiente, se pesó la muestra.

➤ Fibra

Para la determinación de la fibra cruda, se empleó la metodología de la AOAC 962.09/90. Para esto, se extrajo la grasa de la muestra con éter de petróleo hasta que el solvente quede incoloro. Luego la muestra se secó y se colocó en un vaso de 600 mL, se le agregó 200 mL de solución de ácido sulfúrico caliente y se hirvió durante 30 min. Se filtró la solución en caliente con la ayuda de papel filtro y el residuo se lavó con agua caliente destilada, hasta neutralidad del líquido lavado. Luego, el residuo se colocó en un vaso de 600 mL y se añadió 200 mL de la solución de hidróxido de sodio al 1,25 %, se puso a hervir durante 30 min. y se filtró en caliente, luego se lavó hasta pH neutro. Se lavó de inmediato con dos porciones de 100 mL de alcohol etílico al 96 % y se secó en la estufa a 130 °C. Se colocó en un desecador y se dejó enfriar. Por último, se pesó la muestra.

➤ Ceniza

Para la determinación de cenizas, se empleó la metodología planteada en la AOAC 968.08-16th Ed. La muestra se calcinó en crisoles a 600 °C, por 15 min, se colocó en un desecador para que se enfríe y se determinó la masa. Para esto se colocó 1 g de la muestra molida, seca y libre de grasa y se colocó en una mufla a una temperatura 550 °C, se calcinó, hasta obtener cenizas blancas, libres de carbono, durante 2 h aproximadamente, hasta masa constante. Luego se enfrió en un desecador hasta temperatura ambiente y se pesó la muestra.

➤ Carbohidratos

Para determinar los carbohidratos del zumo de zanahoria, se obtuvo por diferencia, por medio de la siguiente ecuación 7-2:

$$\%Carb = 100 - (\%Humedad + \%Grasa + \%Proteínas + \%Fibra + \%Cenizas) \text{ (Ec. 7-2)}$$

3.3.4 Caracterización microbiológica

Se realizó el análisis microbiológico de contaje total de aerobios, hongos y levaduras y coliformes totales. Se utilizará el método de recuento en placa a través de siembra en petrifilm. Se empleará el método de la AOAC 991.14 para *E. coli*/coliformes, para aerobios totales se empleó la AOAC 990.12, y para hongos y levaduras se empleó la AOAC 997.02.

3.4 Estandarización del zumo

Para la estandarización del zumo, se midió los sólidos solubles totales del mismo y se ajustó esta propiedad entre un valor entre 25 y 30°Brix mediante la adición del material de pared a las diferentes proporciones (MD:GA 35:65, MD:GA 50:50 y MD:GA 65:35).

3.5 Secado por aspersión

Se utilizó aproximadamente 1.28kg de zumo de zanahoria estandarizado por cada ensayo y se aplicó los siguientes tratamientos (ver gráfico 10-2) por triplicado:

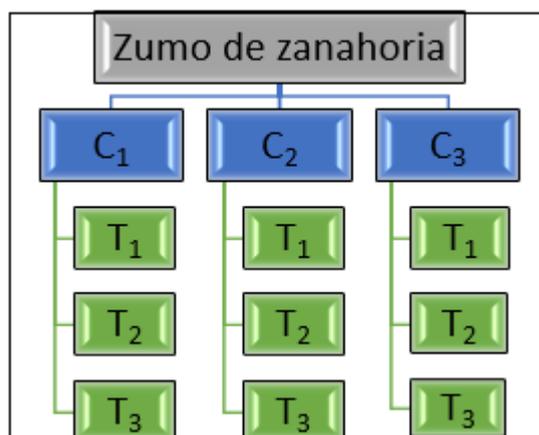


Gráfico 10-2.Esquema del diseño experimental

Realizado por: William D., Jácome L. 2021

Tratamiento₁: C₁ T₁= proporción maltodextrina:goma arábica de 35:65, 150°C

Tratamiento₂: C₂ T₁= proporción maltodextrina:goma arábica de 50:50, 150°C

Tratamiento₃: C₃ T₁= proporción maltodextrina:goma arábica de 65:35, 150°C
 Tratamiento₄: C₁ T₂= proporción maltodextrina:goma arábica de 35:65, 170°C
 Tratamiento₅: C₂T₂= proporción maltodextrina:goma arábica de 50:50, 170°C
 Tratamiento₆: C₃ T₂= proporción maltodextrina:goma arábica de 65:35, 170°C
 Tratamiento₇: C₁ T₃= proporción maltodextrina:goma arábica de 35:65, 190°C
 Tratamiento₈: C₂ T₃= proporción maltodextrina:goma arábica de 50:50, 190°C
 Tratamiento₉: C₃T₃= proporción maltodextrina:goma arábica de 65:35, 190°C

Donde:

C₁ es la concentración de maltodextrina y goma arábica en proporción 35:65

C₂ es la concentración de maltodextrina y goma arábica en proporción 50:50

C₃ es la concentración de maltodextrina y goma arábica en proporción 65:35

T₁, T₂y T₃ son las temperaturas de aire de entrada (150, 170 y 190°C respectivamente)

3.6 Determinación del rendimiento del polvo

Para la determinación del rendimiento del polvo de zanahoria micro encapsulada, se establece la relación entre el polvo micro encapsulado respecto al zumo caracterizado empleado en la entrada. El rendimiento del polvo de estableció para los 9tratamientos con tres repeticiones (ver Anexo H).

$$R_p = \frac{P_p}{P_z} \times 100\% \quad (8-2)$$

Donde:

R_pes el rendimiento del polvo

P_pes el peso del polvo obtenido

P_zes el peso del zumo

3.7 Determinación de la eficiencia de betacarotenos

3.7.1 Determinación de betacarotenos

Para la determinación de betacarotenos en el polvo de zanahoria micro encapsulada, se utilizó un sistema de HPLC (Perkin Elmer series 2000), con una columna C₁₈ (150 x 4.6 mm, 5 µm, 100 Å) (ver gráfico 11-2), el tamaño de inyección de la muestra fue de 20 µL (temperatura

ambiente) y la velocidad del flujo fue de 2 mL/min. Se utilizó una fase móvil que corresponde a la mezcla de metanol y MTBE (60:40 v/v) como método isocrático de elución. Con esto se determinó la curva de calibración del estándar (betacaroteno) a partir de preparación de soluciones a diferentes concentraciones conocidas (ver gráfico 12-2) y posteriormente, se determinó la concentración de betacarotenos del polvo micro encapsulado a partir de la curva obtenida.



Gráfico 11-2. Columna C₁₈ para sistema HPLC

Realizado por: William D., Jácome L. 2021

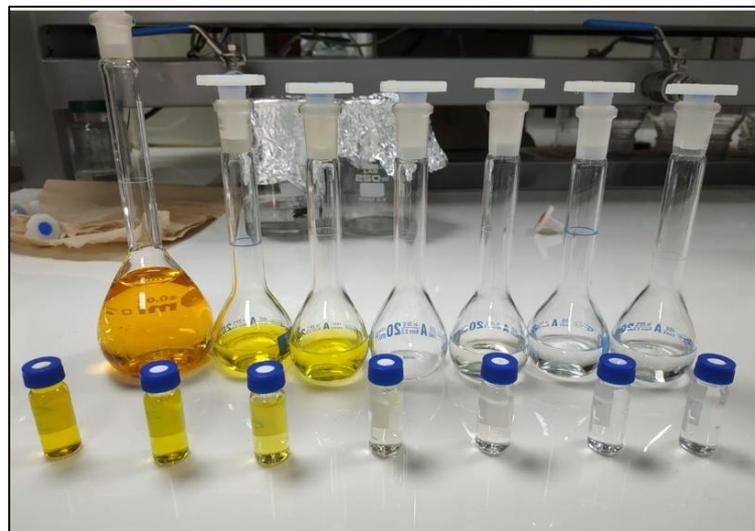


Gráfico 12-2. Diluciones del estándar de betacarotenos

Realizado por: William D., Jácome L. 2021

3.7.2 Cálculo de la eficiencia de betacarotenos

Para la determinación de la eficiencia de betacarotenos en el polvo de zanahoria micro encapsulada, se establece la relación entre el contenido de betacarotenos finales (polvo micro

encapsulado) respecto al contenido de betacarotenos que se tiene en un inicio en el zumo caracterizado. Se determinó la eficiencia de betacarotenos en los 9 tratamientos con tres repeticiones (ver Anexo I).

La eficiencia de betacarotenos (o eficiencia de encapsulación) (EE) también conocida como retención activa, se define como la relación entre la concentración del ingrediente activo encapsulado y su concentración inicial al comienzo del proceso de encapsulación (Anandharamakrishnan y Ishwarya, 2015, p. 62). Esto dado por la siguiente ecuación 9-2:

$$E_B = \frac{P_B}{P_I} \times 100\% \quad (\text{Ec. 9-2})$$

Donde:

E_B es la eficiencia de betacarotenos

P_B es el peso de betacarotenos encapsulado

P_I es el peso inicial de betacarotenos en el zumo

3.8 Análisis estadístico

Para el diseño experimental se planteó un diseño multifactorial categórico 3^2 con dos variables de respuesta. Como factores, se seleccionó la composición del material de pared maltodextrina y goma arábiga en 3 niveles (35:65, 50:50 y 65:35) y la temperatura del aire de entrada al spray dryer en 3 niveles (150 °C, 170 °C y 190 °C). Las variables de respuesta fueron el rendimiento del polvo expresado en porcentaje y la eficiencia en la encapsulación de los betacarotenos expresado en porcentaje. Los datos se analizaron estadísticamente con el software Statgraphics Centurion mediante un análisis de varianza (ANOVA) con 95 % de nivel de confianza, más una prueba de separación de medias por la mínima diferencia significativa (LSD).

Se seleccionó como mejor tratamiento al que obtuvo el mayor rendimiento de proceso y la mayor eficiencia en el encapsulamiento de los betacarotenos.

3.9 Caracterización del polvo de zanahoria (mejor tratamiento)

Por último, mediante un análisis instrumental, que involucró varios ensayos de laboratorio, se determinó las características físicas químicas del polvo de zanahoria micro encapsulado del mejor tratamiento obtenido por medio del diseño experimental.

Para la realización de ensayos de laboratorio se empleó información como procedimientos, especificaciones y regulaciones presentes en la normativa ecuatoriana vigente, esto con el fin de

poder realizar una comparación de resultados. Este proceso se realizó para determinar la caracterización físico química del polvo de zanahoria y conocer si cumple o no con las especificaciones descritas en las normas.

Finalmente, puede asegurarse que el desarrollo del presente trabajo llegó al nivel explicativo, pues, se discuten los resultados para comprender si las hipótesis resultaron válidas y que variables tuvieron o no relación en el proceso.

3.9.1 *Caracterización física*

3.9.1.1 Color

Se efectuaron mediciones del color del polvo de zanahoria mediante un colorímetro digital (Minolta, CR200, Japón) en el sistema de medición CIELAB (Universidad de La Rioja, 2012, p. 12), donde L representa la luminosidad del fruto, a y b en conjunto representan la saturación del color y H la tonalidad del fruto y se define por la ecuación 2-2 que se mostró anteriormente.

La identificación del color del polvo de zanahoria se hará uso de la tabla de colores acromática y tabla de luminosidad, que se presentó en figura 1-2 anteriormente (Almeida y Zambrano, 2007, p. 22).

Para la comparación de color de dos alimentos, se empleará la diferencia de color que hay en cada uno de los atributos, ΔL y ΔH , donde cada uno representan a la variación de luminosidad y de tonalidad respectivamente y se determinan a partir de las ecuaciones 3-2 y 4-2 mostradas anteriormente.

3.9.2 *Caracterización química*

3.9.2.1 Acidez titulable

Para la determinación de la acidez titulable, se siguió la norma AOAC 942.15, donde se realizó una dilución de polvo 20/50 (20 g de zumo/30 mL de agua), luego se realizó una segunda dilución de polvo 5/50 (5 mL de solución/45 mL de agua), luego se colocó una gota de fenolftaleína y se tituló con una solución de hidróxido de sodio 0.1 N, hasta que el color rosa persista por 30 min. Una vez obtenido el valor de NaOH gastado en la titulación, se realizó el cálculo de porcentaje de acidez utilizando la siguiente ecuación 10-2:

$$\%A = \frac{0.067 \times V \times N \times 100}{V_2} \quad (\text{Ec.10-2})$$

Donde:

A es la acidez expresada en porcentaje de ácido málico (v/v)

V es el volumen de NaOH gastado (mL)

0.067 es el equivalente del ácido málico

*V*₂ es el volumen de la muestra diluida (mL)

3.9.2.2 Humedad

Se realizó el análisis de humedad del polvo de zanahoria de acuerdo a la metodología planteada en la AOAC 925.10.

3.9.2.3 pH

De acuerdo al método oficial de análisis AOAC 981.12, se colocó el potenciómetro en la muestra y se procedió a dar lectura.

3.9.2.4 Betacarotenos

Se utilizó un sistema de HPLC (Perkin Elmer series 2000), con una columna **C₁₈** (150 x 4.6 mm, 5 μm, 100 Å), el tamaño de inyección de la muestra fue de 20 μL (temperatura ambiente) y la velocidad del flujo fue de 2 mL/min. Se utilizó una fase móvil que corresponde a la mezcla de metanol y MTBE (60:40 v/v) como método isocrático de elución.

Se realizó diluciones del estándar de betacarotenos (ver Anexo D), y con esto se obtuvo la curva de calibración del estándar (ver Anexo E) y posteriormente, se determinó la concentración de betacarotenos del polvo de zanahoria (Ver Anexo G) (Wingqvist, 2011, pp. 17-19).

3.9.2.5 Proteína

Para la determinación de la proteína del polvo de zanahoria, se empleó el método micro – Kjeldahl (AOAC 960.52-1978). Se pesó 10 g de muestra previamente desecada y se trasladó a un tubo de digestión. Se agregó 30 ml de ácido sulfúrico concentrado y 2 g de mezcla catalizadora. Se llevó al bloque de digestión y se elevó la temperatura hasta 450 °C por 3 horas. Al cabo de este tiempo y una vez que la muestra se digirió se llevó a destilar en un destilador

por arrastre de vapor VELP DKU 6, agregando 50 ml de NaOH al 50 % y recogiendo el amoniaco desprendido sobre ácido bórico al 3 % con indicador mezcla. Finalizada la reacción, se procedió a titular con ácido sulfúrico 0.15 N, hasta viraje del indicador, y se aplicó la siguiente ecuación 11-2:

$$\% \text{ Proteína} = \frac{V_{HCl} \times N \times 14 \times 6.25}{1000 \times m} \times 100\% \quad (\text{Ec. 11-2})$$

Donde

V_{HCl} es el volumen de ácido clorhídrico gastado en la titulación (mL)

N es la normalidad del ácido clorhídrico

14 es el equivalente-gramo del nitrógeno

6.25 es el factor proteico

m es el peso de la muestra empleada (g)

3.9.2.6 Grasa

Para la determinación de grasa cruda, se siguió el método del Soxhlet, se utilizó éter de petróleo como solvente extractor, y se siguió el método AOAC 920.39. Para esto se pesó 10 g de muestra molida y seca y se colocó la muestra en un cartucho de extracción en el sifón. Se utilizó una manta calefactora para calentar por 4 h, luego, se retiró y se evaporó la mayoría del disolvente. Luego, se dejó enfriar en el desecador y, al alcanzar una temperatura ambiente, se pesó la muestra.

3.9.2.7 Fibra

Para la determinación de la fibra cruda, se empleó la metodología de la AOAC 962.09/90. Para esto, se extrajo la grasa de la muestra con éter de petróleo hasta que el solvente quede incoloro. Luego la muestra se secó y se colocó en un vaso de 600 mL, se le agregó 200 mL de solución de ácido sulfúrico caliente y se hirvió durante 30 min. Se filtró la solución en caliente con la ayuda de papel filtro y el residuo se lavó con agua caliente destilada, hasta neutralidad del líquido lavado. Luego, el residuo se colocó en un vaso de 600 mL y se añadió 200 mL de la solución de hidróxido de sodio al 1,25%, se puso a hervir durante 30 min. y se filtró en caliente, luego se lavó hasta pH neutro. Se lavó de inmediato con dos porciones de 100 mL de alcohol etílico al 96% y se secó en la estufa a 130 °C. Se colocó en un desecador y se dejó enfriar. Por último, se pesó la muestra.

3.9.2.8 Ceniza

Para la determinación de cenizas, se empleó la metodología planteada en la AOAC 968.08-16th Ed. La muestra se calcinó en crisoles a 600 °C, por 15 min, se colocó en un desecador para que se enfríe y se determinó la masa. Para esto se colocó 1 g de la muestra molida, seca y libre de grasa y se colocó en una mufla a una temperatura 550 °C, se calcinó, hasta obtener cenizas blancas, libres de carbono, durante 2 h aproximadamente, hasta masa constante. Luego se enfrió en un desecador hasta temperatura ambiente y se pesó la muestra.

3.9.2.9 Carbohidratos

Para determinar los carbohidratos del polvo de zanahoria, se obtuvo por diferencia, por medio de la siguiente ecuación 12-2:

$$\%Carb = 100 - (\%Humedad + \%Grasa + \%Proteínas + \%Fibra + \%Cenizas) \quad (Ec. 12-2)$$

3.9.3 Caracterización microbiológica

Para el análisis microbiológico del polvo de zanahoria, nos basamos en los límites máximos establecidos en la NTE INEN 2983 de los requisitos para complementos nutricionales en el cual se establecen los requisitos microbiológicos para aerobios totales, mohos y levaduras, enterobacterias, *Escherichia coli*, y *Staphylococcus aureus*. Los métodos de ensayo empleados fueron la AOAC 966.23 para conteo de aerobios totales, la AOAC 997.02 para recuento de mohos y levaduras, para enterobacterias se aplica el método AOAC 2003.01, para la determinación de *Escherichia coli* se aplicó la AOAC 991.14 y finalmente para la determinación de *Staphylococcus aureus* se empleó la AOAC 975.55.

CAPÍTULO IV

4 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Caracterización del zumo

4.1.1 Rendimiento del zumo

En la tabla 1-3 se muestra el rendimiento del zumo de zanahoria obtenido.

Tabla 1-3: Rendimiento del zumo

| Variedad | Rendimiento % |
|-----------|---------------|
| Chantenay | 43.59 |

Realizado por: William D., Jácome L. 2021

La investigación presentó un rendimiento en zumo de 43.59%, el cual es un valor aceptable, debido a que Almeida y Zambrano (2007, p. 116) determinaron un rendimiento de 49,6 % para la variedad Chantenay, cuyo valor es similar al obtenido en el presente proyecto, ya que el método de extracción utilizado fue la extracción mecánica mediante un extractor de zumos y la filtración del mismo a través de una malla.

Por otro lado, Saravia (2011, p. 40), con su proyecto de investigación, menciona un rendimiento en zumo de zanahoria variedad Chantenay de 56.16%, valor que es diferente al obtenido debido a que antes de la extracción del zumo, sometieron a las zanahorias a un proceso de escaldado donde se tuvo pérdida de agua de las zanahorias.

Como se pudo observar, el valor del rendimiento del zumo de zanahorias de rechazo es alto y aprovechable, recalando que se utilizaron zanahorias sanas, limpias, pero con tamaños fuera de especificación (con longitudes mayores a 165 mm y menores a 85 mm), zanahorias deformadas (aquellas con raíces con bifurcaciones y/o malformaciones), libres de plagas y grietas, tomando en cuenta que en el Ecuador existe un alto porcentaje de alimentos que son rechazadas debido a que no cumplen con las especificaciones necesarias para su comercialización, pero estos se pueden emplear para otros fines, como es el caso de las zanahorias, de las que se puede aprovechar el 43.59% como zumo de este rechazo para posteriormente obtener compuestos beneficiosos para el consumo humano como es el caso del betacaroteno el cual es precursor de vitamina A, ingrediente potencialmente funcional para la elaboración de suplementos alimenticios.

4.1.2 Características físicas del zumo

En la tabla 2-3 se muestra los resultados obtenidos de densidad y color de la muestra de zumo de zanahoria, variedad Chantenay.

Tabla 2-3: Características físicas del zumo

| | | |
|-----------------|----------|-------------------|
| Densidad | | 1.033 g/mL |
| Color | L | 49.25 |
| | H | 82.06 |

Realizado por: William D., Jácome L. 2021

Se determinó la densidad del zumo igual a 1.033 g/mL. De acuerdo a Almeida y Zambrano (2007, p. 109), el zumo de zanahoria cuenta con contenido de agua de 95.5%, mientras que su contenido de sólidos solubles totales es de 4.3°Brix, por lo que obtuvieron densidad de zumo de 1.034 g/mL, por lo que se obtuvo valores muy similares.

En el análisis de color del zumo, se obtuvo la luminosidad (L) de 49.25 y la tonalidad (H) de 82.06. De acuerdo a Almeida y Zambrano (2007, p. 112), obtuvieron la luminosidad del zumo de 41.02 y tonalidad de 75.85. Como se observó, los valores obtenidos en este trabajo, se asemejan a los mencionados anteriormente, debido a que la variedad utilizada fue la misma. Obteniéndose una variación de los atributos de color de luminosidad (ΔL) de 8.23 y de tonalidad (ΔH) de 6.21, debido a que emplearon antioxidantes tras el proceso de corte en cubos del alimento y posteriormente aplicaron un proceso de blanqueo.

Los datos arrojados por los zumos en sus tres repeticiones fueron positivos, es decir, que en el espacio CIE- LAB, se ubicaron en el cuadrante superior derecho, donde están los colores entre el rojo y el amarillo (ver figura 1-2), cuadrante en el cual efectivamente se encuentran las coordenadas $L^*a^*b^*$ del zumo de zanahoria, cuyo color característico es el naranja brillante (Almeida y Zambrano, 2007, p. 112). De acuerdo a Kehr y Saavedra (2018, p. 74), el color naranja brillante se debe a su alto contenido en carotenos ya que cuanto más caroteno poseen, más oscuro e intenso es el color.

Por otro lado, el color del zumo de zanahoria pudo ser afectado por la incidencia de la luz en la extracción y cuantificación ya que los carotenoides son altamente sensibles a factores externos como la luz, la temperatura y el pH los mismos que provocan que estos pigmentos se oxiden,

esta inestabilidad de los carotenoides es debido a que estas moléculas contienen nueve o más dobles enlaces de manera conjugada los cuales pueden sufrir un proceso de oxidación por ciertas formas reactivas de oxígeno, como por ejemplo el oxígeno singulete, obteniéndose como resultado una reducción de manera progresiva del color del producto final (Haro *et al.*, 2019, pp. 2-3).

4.1.3 Características químicas

4.1.3.1 Acidez titulable, pH y sólidos solubles totales del zumo

En la tabla 3-3 se muestra la acidez titulable, el pH y los sólidos solubles totales del zumo analizado.

Tabla 3-3: Acidez titulable, pH y sólidos solubles totales del zumo

| Atributo | Valor |
|--------------------------|------------|
| Acidez titulable | 0.07% |
| pH | 6.07 |
| Sólidos solubles totales | 7.83 °Brix |

Realizado por: William D., Jácome L. 2021

Como se observó, la acidez del zumo fue de 0,07 % (v/v de ácido málico). Morales (2011, p. 54) en un estudio de la acidez titulable del zumo de zanahoria, reportó un valor de 0.09 % referente al ácido málico, el cual es un valor muy similar al del presente trabajo. La acidez titulable se determinó referente al ácido málico ya que es el ácido predominante en esta hortaliza (Almeida y Zambrano, 2007, p. 13).

El pH determinado en la presente investigación fue de 6.07. De acuerdo a Vasco (2008, pp. 25-68), el pH de las hortalizas oscila entre 5.5 y 7.0, donde predominan el ácido cítrico y el málico. Becerra y Venturo (2017, p. 47) reportan un valor de pH de 6.1 en la caracterización del zumo de este alimento por lo que ambos valores son muy similares al encontrado en la presente investigación y se dice que este parámetro dependerá de la variedad de zanahoria que se analice lo cual influye en el contenido de ácidos libres presentes.

Finalmente, se obtuvo un valor de sólidos solubles totales (SST) de 7.83 °Brix en el zumo. Morales (2011) realizó la determinación del contenido de SST de zanahoria (*Daucus carota*) el cual fue de 7.25 °Brix. Por otro lado, Saravia (2011, p. 33), halló un valor de 7.9 °Brix, por lo

que el valor encontrado en el presente trabajo es similar al obtenido tomando en cuenta que el zumo de zanahoria cuenta con contenido de agua superior al 90%.

4.1.3.2 *Betacarotenos*

En la tabla 4-3 se muestran los resultados del contenido de betacarotenos del zumo de zanahoria.

Tabla 4-3: Betacarotenos en el zumo de zanahoria

| Atributo | Valor |
|---------------------|----------------|
| betacaroteno | 17.89 mg/100 g |

Realizado por: William D., Jácome L. 2021

Como se observó, se determinó la concentración de betacarotenos en el zumo a partir del cromatograma presentado en el anexo A, por medio del cual se determinó una concentración de betacarotenos de 17.89 mg/100 g. De acuerdo a Alessandro *et al.* (2013, p. 12), realizaron un estudio de la determinación del contenido de betacarotenos con su cuantificación por HPLC y el resultado fue de 12 a 20 mg por cada 100 g de zumo, valor similar al encontrado en el presente trabajo ya que se empleó el mismo método de identificación y cuantificación, tomando en cuenta que entre los alimentos que contienen mayor concentración de betacarotenos, se encuentra la zanahoria (Flores *et al.*, 2005, pp. 11-12).

4.1.3.3 *Proteínas*

En la tabla 5-3 se muestra el contenido de proteína del zumo de zanahoria.

Tabla 5-3: Proteína en el zumo de zanahoria

| Atributo | Valor |
|------------------|--------------|
| Proteínas | 0.47 % |

Realizado por: William D., Jácome L. 2021

Como se observó, el zumo de zanahoria tiene 0.47% de proteínas, valor similar al reportado por Almeida y Zambrano (2007, p. 109), quienes reportaron en su trabajo de investigación, un valor de 0.28% de proteínas del zumo de zanahoria variedad Chantenay. Tomando en cuenta que las zanahorias son hortalizas que no aportan significativamente en macronutrientes (carbohidratos, proteínas y grasas), pero destacan por su rico contenido de vitaminas, minerales, sobre todo por su aporte en agua. Además, las zanahorias contienen proteínas con bajo valor biológico, es

decir, son proteínas que no contienen los 10 aminoácidos esenciales que se debería comer por medio de los alimentos (Arroyo *et al.*, 2018, p. 7).

4.1.3.4 Grasas

En la tabla 6-3 se muestra el contenido de grasas del zumo de zanahoria.

Tabla 6-3: Grasas en el zumo de zanahoria

| Atributo | Valor |
|----------|--------|
| Grasa | 0.00 % |

Realizado por: William D., Jácome L. 2021

Como se observó, el zumo de zanahoria no tiene grasas en su composición. De acuerdo a Arroyo *et al.* (2018, pp. 4-8), las zanahorias no tienen un aporte importante en macronutrientes, como se pudo ver para el caso de grasas, su contenido puede ser del 1% o menos, que, dependiendo de la variedad de zanahorias, se pueden encontrar ácidos grasos poliinsaturados, monoinsaturados y saturados.

4.1.3.5 Fibra

En la tabla 7-3 se muestra el contenido de fibra del zumo de zanahoria.

Tabla 7-3:Fibra en el zumo de zanahoria

| Atributo | Valor |
|----------|--------|
| Fibra | 0.51 % |

Realizado por: William D., Jácome L. 2021

Como se mencionó, el zumo de zanahoria cuenta con un contenido de fibra de 0.51% el cual es un valor bajo debido a que las zanahorias no cuentan con cantidades significativas de macronutrientes como la fibra. Tomando en cuenta que la fibra de las zanahorias no es digerible por lo que nuestro cuerpo no la puede absorber, y por ende no es una fuente de aporte energético, y, por otro lado, genera una sensación de llenura ya que incrementa el volumen de los alimentos, ayudando en la digestión del ser humano (Rozano *et al.*, 2005, p. 25).

Las fibras presentes en las zanahorias están conformadas por fibras solubles como la celulosa y fibras insolubles como la pectina, siendo la fibra insoluble la que se encuentra en un 90 % (Arroyo *et al.*, 2018, p. 12).

4.1.3.6 Cenizas

En la tabla 8-3 se muestra el contenido de cenizas del zumo de zanahoria.

Tabla 8-3: Cenizas en el zumo de zanahoria

| Atributo | Valor |
|----------|--------|
| Cenizas | 0.66 % |

Realizado por: William D., Jácome L. 2021

En la tabla 8-3 se mostró el contenido de cenizas del zumo de zanahoria el cual fue de 0.66 %, este valor es similar al de Correa (2018, p. 18), quien reporta un valor de cenizas de 1.25 %, tomando en cuenta que las cenizas son un residuo inorgánico que se usan para determinar constituyentes como los cloruros, fosfatos, calcio y hierro. Además, su determinación permite detectar contaminantes metálicos en los distintos alimentos, casos que pueden presentarse en el proceso de producción.

4.1.3.7 Carbohidratos

En la tabla 9-3 se muestra el contenido de carbohidratos del zumo de zanahoria.

Tabla 9-3: Carbohidratos en el zumo de zanahoria

| Atributo | Valor |
|---------------|--------|
| Carbohidratos | 2.48 % |

Realizado por: William D., Jácome L. 2021

Como se observó, el contenido de carbohidratos del zumo de zanahoria fue de 2.48 %. De acuerdo a Almeida y Zambrano (2007, p. 109), el contenido de carbohidratos del zumo de zanahoria fue de 3.64%, valor similar al encontrado. Los carbohidratos son los que se encuentran en mayor proporción de todos los macronutrientes en las zanahorias. Entre los carbohidratos que se encuentra en las zanahorias, se tienen a los carbohidratos complejos (almidón y polisacáridos) y a los carbohidratos simples (glucosa, fructosa, y sacarosa), siendo los simples los que se encuentran en mayor proporción (99%) (Arroyo *et al.*, 2018, pp. 4-6).

4.1.4 Caracterización microbiológica

Los resultados del análisis microbiológico del zumo de zanahoria se indican en la tabla 10-3.

Tabla 10-3: Recuento microbiológico de zumo de zanahoria

| Atributo | Valor (UFC/g) |
|----------------------------------|----------------------|
| <i>E. coli</i>/Coliformes | < 3 NMP/g |
| Aerobios totales | < 100 UFC/g |
| Mohos y levaduras | < 100 UFC/g |

Realizado por: William D., Jácome L. 2021

En Ecuador, no hay una norma técnica para frutos y vegetales mínimamente procesados, utilizados como materia prima. Es por este motivo que se empleará la Norma Técnica Colombiana 404 para zumos y pulpas de frutas, que indica los criterios microbiológicos de calidad sanitaria e inocuidad para los alimentos y bebidas para consumo humano en la cual, los límites máximos permisibles para recuento total de aerobios son de 100 UFC/g, de mohos y levaduras es de 100 UFC/g y de coliformes totales 3 NMP/g y se concluye que el producto obtenido cumple con las especificaciones de la normativa señalada, esto se logró debido a que dichas zanahorias fueron lavadas y desinfectadas antes de la extracción del zumo, así como también el equipo de extracción y los materiales empleados.

Las hortalizas como las zanahorias, son sensibles a alteraciones físicas, químicas y microbiológicas debido a su composición nutricional ya que es un medio apropiado para el desarrollo de reacciones que provocan la degradación y el crecimiento de microorganismos, esto porque a mayor contenido de agua del producto, el grado de degradación será mayor y, por ende, mayor será la proliferación microbiana. En la zanahoria, en 100 g de zumo, el 95.5% corresponde a agua en su composición química, por lo que el zumo es un excelente medio de vida para las bacterias, mohos y levaduras, siendo mayor la proliferación de estos dos últimos (Guevara, 2015, p. 2).

El zumo de zanahoria cuenta con su microflora espontánea en la cual predomina las levaduras ya que levaduras de bajo poder fermentativo habitan la pulpa de la hortaliza y las mismas se multiplican en los zumos almacenados. Por otro lado, las bacterias ácido tolerantes habitan en la superficie de las hortalizas y equipos que no han sido limpiados y desinfectados previo a su utilización para extraer el zumo de zanahoria y son la principal fuente de contaminación microbiana por lo que un zumo recién extraído podría contener 1×10^6 UFC/mL. Es por este motivo que la fermentación del zumo empieza a pocas horas después de ser obtenidos si estos no han sido refrigerados (Luján, 2010, p. 24).

4.2 Rendimiento del polvo de zanahoria

En la tabla 11-3 se muestran los valores encontrados para el rendimiento del polvo de zanahoria (zumo deshidratado por aspersión) para los tratamientos aplicados.

Tabla 11-3: Rendimiento del polvo

| Tratamiento | Temperatura (°C) | Proporción M:GA | Rendimiento (%) |
|-------------|------------------|-----------------|-----------------|
| 1 | 150 | 35:65 | 20.99 |
| 2 | 150 | 50:50 | 24.57 |
| 3 | 150 | 65:35 | 22.86 |
| 4 | 170 | 35:65 | 17.97 |
| 5 | 170 | 50:50 | 23.61 |
| 6 | 170 | 65:35 | 20.59 |
| 7 | 190 | 35:65 | 23.47 |
| 8 | 190 | 50:50 | 19.09 |
| 9 | 190 | 65:35 | 23.82 |

Realizado por: William D., Jácome L. 2021

Tabla 12-3: Análisis de varianza para la interacción de los factores de proporción de encapsulante y temperatura con respecto al rendimiento del polvo de zanahoria

| Fuente | Suma de Cuadrados | Gl | Cuadrado Medio | Razón-F | Valor-P |
|-----------------------------|-------------------|----|----------------|---------|---------|
| EFECTOS PRINCIPALES | | | | | |
| A:Temperatura (°C) | 46.6881 | 2 | 23.344 | 67.24 | 0.0000 |
| B: Com. Encapsulante (M:GA) | 16.1131 | 2 | 8.05655 | 23.20 | 0.0000 |
| INTERACCIONES | | | | | |
| AB | 8.36928 | 4 | 2.09232 | 6.03 | 0.0029 |
| RESIDUOS | 6.24947 | 18 | 0.347193 | | |
| TOTAL (CORREGIDO) | 77.4199 | 26 | | | |

Realizado por: William D., Jácome L. 2021

Tabla 13-3: Diferencia de medias utilizando la mínima diferencia significativa (LSD) con un nivel de confianza del 95% para el rendimiento

| Tratamiento | Casos | Media | Grupos Homogéneos |
|-------------|-------|---------|-------------------|
| 4 | 3 | 18.2433 | A |
| 6 | 3 | 19.9233 | B |
| 5 | 3 | 20.4533 | B C |
| 7 | 3 | 20.55 | B C |
| 8 | 3 | 20.5933 | B C |
| 9 | 3 | 20.82 | B C |
| 1 | 3 | 20.9933 | C |
| 3 | 3 | 22.8633 | D |
| 2 | 3 | 24.2867 | E |

Realizado por: William D., Jácome L. 2021

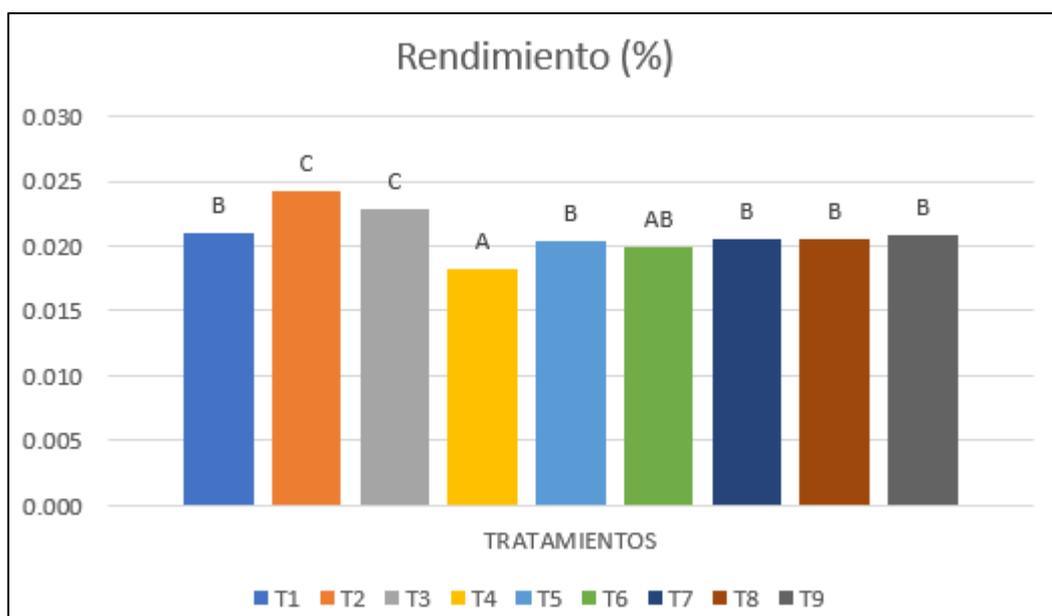


Gráfico 1-3. Rendimiento para los tratamientos planteados del polvo de zanahoria

Realizado por: William D., Jácome L. 2021

En la tabla 12.3 se muestra que la aplicación de los tratamientos a diferentes temperaturas y concentraciones del material encapsulante provocan diferencias significativas en el rendimiento del polvo atomizado obtenido. Además, se puede observar que se obtuvo un mayor rendimiento del polvo de zanahoria atomizado con el Tratamiento 2 (a 150 °C y proporción maltodextrina:goma arábiga de 50:50) en comparación al resto de tratamientos (ver anexo J).

Para establecer la diferencia estadística se realizó el análisis de varianza mostrado en la tabla 12-3 donde la temperatura, proporción del encapsulante y la interacción de estos factores tienen un valor de P menor que 0.05 y se concluye que cada una de las variables y su interacción tienen un efecto estadísticamente significativo sobre el rendimiento del polvo de zanahoria con un nivel de confianza del 95.0% y se realizó la diferencia de medias mostradas en la tabla 13-3 que indican que el tratamiento 2 presentó un valor de rendimiento significativamente mayor al resto de tratamientos, seguido de los tratamientos 1 y 3; posteriormente de los tratamientos 5, 6, 7, 8 y 9 que no presentaron un efecto estadísticamente significativo en el rendimiento entre sí. Finalmente, se observó que el tratamiento que menor rendimiento obtuvo fue el 4.

El rendimiento del polvo se ve afectado por la temperatura de entrada que es la temperatura del aire de secado calentado. Esta temperatura de entrada se relaciona con la capacidad de evaporación del secador, por lo que una temperatura de entrada más alta logra un mayor rendimiento de los secadores por pulverización obteniéndose menor producto atomizado. Por ende, un valor más bajo de temperatura de entrada, disminuye la temperatura del bulbo húmedo del aire caliente circundante y evita pérdidas degradativas de los compuestos activos, obteniéndose un mayor rendimiento de producto atomizado (Anandharamakrishnan y Ishwarya, 2015, p. 30).

Como se observó, a temperaturas de 170 y 190°C, no se obtuvo una mejora significativa del rendimiento del polvo y concuerda con el estudio realizado por Çamet *et al.* (2014, pp. 117-123) en el cual se emplea maltodextrina para encapsular compuestos fenólicos de la cáscara de granada, y se concluyó que la temperatura del aire de secado es el principal factor decisivo del rendimiento del polvo micro encapsulado ya que a mayor temperatura del aire de entrada, mayor era el rendimiento, hasta 160 °C, más allá del cual no hubo una mejora significativa, por lo que se eligió 160 °C como la temperatura óptima de encapsulación.

Respecto a la relación óptima entre núcleo y material de pared de la microencapsulación con maltodextrina de compuestos bioactivos, Sáenz *et al.* (2009, pp. 616-622) señala que la mejor relación es de 3:1, relación similar a la empleada en este trabajo de investigación ya que se empleó aproximadamente 77% de núcleo y 23% de material de pared como mezcla de maltodextrina y goma arábiga.

Además, el microencapsulado en secado por pulverización con una mezcla de goma arábiga y maltodextrina como material de pared, es una combinación típica debido a que existen principios subyacentes que rigen al momento de seleccionar los materiales de pared como son su capacidad de formación de película, capacidad de emulsificación, solubilidad, estabilidad en

circunstancias dinámicas (por ejemplo pH y temperatura), disposición estructural, y masa molecular, y es por esto que los carbohidratos son la mejor opción para la encapsulación ya que además se encuentran ampliamente disponibles y en cuanto a costos, son más económicos. También la goma arábiga y maltodextrina tienen la capacidad de tornar soluciones de baja viscosidad a concentraciones más altas de sólidos y cuentan con buena solubilidad (Wandrey *et al.*, 2010, pp. 31-100), tomando en cuenta que el rendimiento del polvo depende de la viscosidad de la solución a atomizarse (Anandharamakrishnan y Ishwarya, 2015, p. 28).

Como se observó en la tabla 13-3, el rendimiento del polvo disminuyó a temperaturas del aire de entrada superiores a 150 °C, esto pudo deberse a que temperaturas altas de aire de entrada, generan altas temperaturas de salida del producto, y esto conduce a la adherencia del producto final en la cámara de secado por aspersión y por ende un menor rendimiento ya que este valor depende del funcionamiento del secador por pulverización a la temperatura de transición vítrea adecuada porque si la temperatura final del producto encapsulado secado por aspersión no se encuentra debajo de la temperatura de transición vítrea (Tg) del material de pared, la matriz gomosa resultante conduce a la adherencia del polvo encapsulado en la cámara de secado, tomando en cuenta que la Tg de la maltodextrina es de 100°C (Anandharamakrishnan y Ishwarya, 2015, p. 77).

Por otro lado, como se observó en la tabla 13-3, el rendimiento del polvo de zanahoria más alto obtenido fue de 24.29% y debido a que existe un alto porcentaje de alimentos que son rechazados ya que no cumplen con las especificaciones necesarias para su comercialización, se puede dar otro aprovechamiento como en este caso, la obtención del polvo de zanahoria la cual contiene betacarotenos que actúan y se desarrollan como antioxidantes ayudando a combatir la acción de los radicales libres frente a los organismos vivos (Burbano *et al.*, 2016) de tal manera que puedan usarse para producir suplementos alimenticios y dar un valor agregado al polvo obtenido.

4.3 Eficiencia de betacarotenos

En la tabla 14-3 se muestra la eficiencia de betacarotenos (eficiencia de encapsulamiento).

Tabla 14-3: Eficiencia de betacarotenos

| Tratamiento | Temperatura (°C) | Proporción M:GA | Eficiencia de betacarotenos (%) |
|-------------|------------------|-----------------|---------------------------------|
| 1 | 150 | 35:65 | 4.10 |

| | | | |
|---|-----|-------|------|
| 2 | 150 | 50:50 | 4.70 |
| 3 | 150 | 65:35 | 4.79 |
| 4 | 170 | 35:65 | 3.97 |
| 5 | 170 | 50:50 | 3.59 |
| 6 | 170 | 65:35 | 3.41 |
| 7 | 190 | 35:65 | 2.85 |
| 8 | 190 | 50:50 | 2.45 |
| 9 | 190 | 65:35 | 2.83 |

Realizado por: William D., Jácome L. 2021

Tabla 15-3: Análisis de varianza para la interacción de los factores de proporción de encapsulante y temperatura con respecto a la eficiencia de betacarotenos

| Fuente | Suma de Cuadrados | Gl | Cuadrado Medio | Razón -F | Valor-P |
|----------------------|-------------------|----|----------------|----------|---------|
| EFFECTOS PRINCIPALES | | | | | |
| A:Temperatura (°C) | 14.8953 | 2 | 7.44765 | 251.18 | 0.0000 |
| B:Proporción M:GA | 0.0437172 | 2 | 0.0218586 | 0.74 | 0.4923 |
| INTERACCIONES | | | | | |
| AB | 1.59972 | 4 | 0.39993 | 13.49 | 0.0000 |
| RESIDUOS | 0.533705 | 18 | 0.0296503 | | |
| TOTAL (CORREGIDO) | 17.0724 | 26 | | | |

Realizado por: William D., Jácome L. 2021

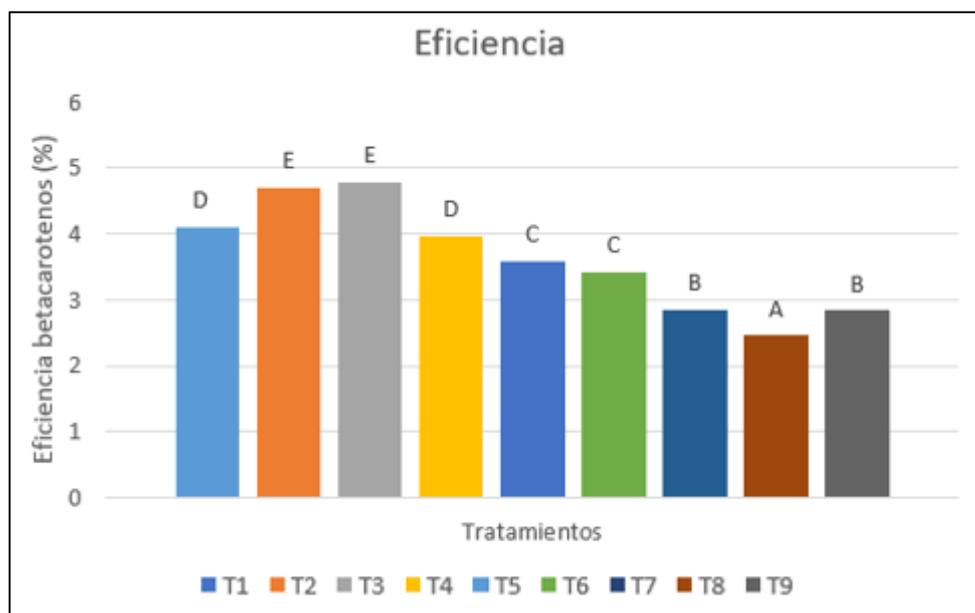
Tabla 16-3: Diferencia de medias utilizandola mínima diferencia significativa (LSD) con un nivel de confianza del 95% para la eficiencia de betacarotenos

| Tratamiento | Casos | Media | Grupos Homogéneos |
|-------------|-------|---------|-------------------|
| 8 | 3 | 2.45121 | A |
| 9 | 3 | 2.83438 | B |
| 7 | 3 | 2.85054 | B |
| 6 | 3 | 3.41279 | C |
| 5 | 3 | 3.58856 | C |
| 4 | 3 | 3.96996 | D |

| | | | |
|---|---|---------|---|
| 1 | 3 | 4.09917 | D |
| 2 | 3 | 4.70365 | E |
| 3 | 3 | 4.78999 | E |

Realizado por: William D., Jácome L. 2021

Gráfico 2-3. Eficiencia de betacarotenos para los tratamientos planteados



Realizado por: William D., Jácome L. 2021

En el gráfico 2-3 se observó que la aplicación de los tratamientos a diferentes temperaturas y concentraciones del material encapsulante provocan diferencias significativas en la eficiencia de betacarotenos del polvo obtenido. De la misma manera, se observa que los tratamientos a temperatura de 150 °C y a las diferentes proporciones del material encapsulante muestran valores de eficiencia de betacarotenos mayores que los tratamientos a 170 °C y 190 °C. Por lo tanto se observa que, a menor temperatura, se obtuvo mayor eficiencia de betacarotenos y que la proporción de encapsulantes (maltodextrina:goma arábica) afecta mínimamente a la eficiencia de betacarotenos en el secado por aspersión.

Para establecer la diferencia estadística se realizó el análisis de varianza mostrado en la tabla 15-3 donde la temperatura y la interacción de los factores tienen un valor de P menor que 0.05 y se concluye que tienen un efecto estadísticamente significativo sobre la eficiencia de betacarotenos (eficiencia de encapsulamiento) con un nivel de confianza del 95.0%. En base a la misma tabla, se observó que la proporción del material encapsulante presentó un valor de P

mayor a 0.05 con lo que se concluye que el material encapsulante no generó un efecto significativo sobre la eficiencia de betacarotenos.

Además, se realizó la diferencia de medias mostradas en la tabla 16-3 que indicó que los tratamientos 2 y 3 presentaron un valor de eficiencia significativamente mayor al resto de tratamientos (ver anexo K), seguido de los tratamientos 1 y 4 que no presentaron un efecto estadísticamente significativo en la eficiencia de betacarotenos entre sí. Finalmente, se observó que los tratamientos que menor eficiencia obtuvieron fueron el 5, 6, 7, 8 y 9.

De acuerdo a Anandharamakrishnan y Ishwarya (2015, p. 149), las altas temperaturas de aire de entrada disminuye la eficiencia de betacarotenos (o eficiencia de microencapsulación) y esto se debe a que en el material encapsulante (maltodextrina y goma arábica) se da una formación rápida de su corteza (la cual recubre a los betacarotenos), que a la vez provoca la ruptura de la corteza formada por desequilibrios en la velocidad de evaporación del agua entre el área interna y externa de las partículas, por lo que se da la liberación del núcleo (betacarotenos). Otro de los motivos por los cuales una elevada temperatura de entrada disminuye la eficiencia de betacarotenos es por la formación de burbujas en las gotas (globo, conformado por material de pared encapsulando a los betacarotenos), que, si llegara a crecer de manera excesiva, explota y colapsa liberando los betacarotenos a la superficie de la gota, generándose la pérdida del compuesto de interés (betacarotenos) por lo que la eficiencia de betacarotenos tiene relación con la temperatura de aire a la entrada.

De acuerdo a Camacho *et al.* (2004, pp. 206-210), el contenido de carotenoides totales en el mesocarpio de coroba se redujo significativamente ($p < 0.05$) a temperaturas de secado superiores a 40°C, por lo que se concluyó que esta temperatura de secado es la más adecuada en un proceso sin encapsulamiento, garantizando la mayor cantidad de carotenoides contenidos en el producto final y se concluyó que la degradación completa de los carotenoides se produce a 143°C. He ahí la importancia de la utilización de materiales encapsulantes que, como se observó, ayudaron en la conservación del betacaroteno en el presente trabajo de investigación tomando en cuenta que se trabajaron a temperaturas superiores a 143°C, obteniéndose eficiencias de encapsulamiento desde 2.45% hasta 4.79%.

4.4 Caracterización del polvo de zanahoria (Mejor tratamiento)

De acuerdo a los resultados obtenidos en el rendimiento del polvo y la eficiencia de betacarotenos (eficiencia de encapsulamiento), se estableció al tratamiento 2 (150 °C, 50:50)

como el mejor, debido a que se obtuvo el mayor valor en rendimiento del polvo y la mayor eficiencia de betacarotenos, respecto al resto de tratamientos.

4.4.1 Caracterización química

4.4.1.1 Acidez titulable

En la tabla 17-3 se muestra la acidez titulable en el polvo de zanahoria analizado.

Tabla 17-3: Determinación de la acidez titulable del polvo de zanahoria

| Atributo | Valor |
|------------------|-------|
| Acidez titulable | 0.09% |

Realizado por: William D., Jácome L. 2021

Como se observó en la tabla, se obtuvo una acidez titulable del polvo de zanahoria igual a 0.09% con respecto al ácido málico. En el zumo de zanahoria se obtuvo un valor de 0.07 %, por lo que se obtuvo un incremento de esta propiedad, y esto se debe al proceso de secado ya que se redujo la humedad del producto, lo que genera un incremento de la acidez titulable debido a que ciertos ácidos se concentran. Hermosa (2013, p. 35) reporta para la mora fresca acidez de 0.9 % y este valor asciende tras el proceso de deshidratación donde se obtuvo un valor de acidez de 1.64 %, por lo que el valor obtenido es aceptable.

Los resultados se reportaron respecto al ácido que se encuentra en mayor proporción en las zanahorias las mismas que tienen poco contenido de ácidos libres de los cuales la mayor parte se encuentra en forma de sales (Vasco, 2008, p. 25).

4.4.1.2 pH

En la tabla 18-3 se muestra el pH del polvo de zanahoria obtenido.

Tabla 18-3: Determinación del pH del polvo de zanahoria

| Atributo | Valor |
|----------|-------|
| pH | 5.51 |

Realizado por: William D., Jácome L. 2021

Como se observó, el pH del polvo fue de 5.51, producto con bajo contenido de ácido. En un estudio realizado por Aragundi y Plúa (2011, p. 45), se obtuvo un valor de 5.28 el cual es

similar al obtenido en el presente trabajo de investigación, tomando en cuenta que el pH representa la acidez actual (concentración de H⁺ libres) y es un buen indicador de calidad ya que reporta la medida de acidez o alcalinidad de una sustancia.

Como se observó, el pH descendió respecto al del zumo de zanahoria, en el cual se obtuvo un valor de 6.07, esto debido a que ciertos ácidos se concentran tras el proceso de secado por aspersión. En el estudio de Hermosa (2013, p. 35), tras la deshidratación de moras, la acidez del polvo subió por la concentración de ácidos, el pH disminuyó y los sólidos solubles totales disminuyeron debido a que los azúcares son solubles en agua y a medida que progresa la desecación, estos se van eliminando del alimento.

La acidez determinada a través del valor del pH, de la mano con la humedad, son los análisis que se realizan de manera frecuentemente en materias primas a nivel industrial, debido a que el pH es un indicador de calidad del producto ya que determina el estado del mismo, influye en muchos de los procesos de cambio y estabilidad de los productos además de que incide en la capacidad de crecimiento microbiano (Vasco, 2008, p. 25).

4.4.1.3 Humedad

En la tabla 19-3 se muestra el contenido de humedad del polvo de zanahoria.

Tabla 19-3: Humedad del polvo de zanahoria

| Atributo | Valor |
|----------|--------|
| Humedad | 2.64 % |

Realizado por: William D., Jácome L. 2021

Como se observó, el contenido de humedad del polvo fue de 2.64 %. De acuerdo a la NTE INEN 2471:2010 de las “Mezclas en polvo para preparar refrescos o bebidas instantáneas: Requisitos”, establece como límite máximo de humedad de 5 %, por lo que el producto obtenido es aceptable y cumple con la normativa ecuatoriana.

La reducción del contenido de humedad permite inhibir el crecimiento microbiano como bacterias, mohos y levaduras además de la importancia de la determinación de esta propiedad ya que es una de las más usadas en el procesamiento, control y conservación de los alimentos. También el contenido de humedad del polvo de zanahoria representa un índice de estabilidad del alimento y es un factor importante y decisivo en los diferentes procesos industriales como la molienda, mezclado de productos sólidos finos, etc. (Almeida y Zambrano, 2007, p. 38).

Por otro lado, los productos con baja humedad poseen un pardeamiento enzimático reducido por lo que el tiempo de vida útil del producto se incrementa (Hernández y Blanco, 2015, p. 77).

4.4.1.4 *Betacarotenos*

En la tabla 20-3 se muestra el valor de la concentración de betacarotenos resultado del análisis del polvo de zanahoria.

Tabla 20-3: Betacarotenos en el polvo

| Atributo | Valor |
|--------------|--------------|
| betacaroteno | 2.6 mg/100 g |

Realizado por: William D., Jácome L. 2021

Como se observó, la zanahoria atomizada presentó 2.6 mg de betacarotenos por cada 100 g de muestra en polvo, determinada mediante el cromatograma presentado en el anexo C.

La concentración de betacarotenos en el zumo de zanahoria fue de 17.89 mg/100 g, y tras el proceso de secado por aspersión, se obtuvo 2.6 mg/100 g, por lo que su reducción se debe a que a mayor temperatura genera mayor pérdida de betacarotenos ya que estos compuestos son sensibles a factores externos como la luz y a la temperatura los mismos que provocan que estos pigmentos se oxiden y por ende se da la inactivación de sus propiedades antioxidantes (Haro *et al.*, 2019, pp. 2-3).

De acuerdo a un estudio, la temperatura a partir de la cual los carotenos sin encapsular se degradan de manera significativa es a los 40°C, además indican que a los 143°C se tendrá la degradación completa de los carotenos (Camacho *et al.*, 2004, pp. 206-210). En este sentido un procesamiento de secado en condiciones drásticas de temperatura (de 150°C en adelante), no se obtendrán productos con contenido de carotenos, es por este motivo que para incrementar la estabilidad de estos compuestos tanto en el secado como en el almacenamiento y conservar sus propiedades antioxidantes, se recurrió al método de microencapsulación, mediante el cual se obtuvo en el mejor tratamiento seleccionado, 2.6 mg de betacarotenos encapsulados por cada 100 g de polvo de zanahoria a temperatura de secado de 150°C.

4.4.1.5 *Proteínas*

En la tabla 21-3 se muestra el contenido de proteínas en el polvo de zanahoria analizado.

Tabla 21-3: Proteínas en el polvo de zanahoria

| Atributo | Valor |
|-----------|-------|
| Proteínas | 1.86% |

Realizado por: William D., Jácome L. 2021

Como se observó, el contenido de proteínas presente fue de 1.86%. Este valor comparado con el inicial del zumo de zanahoria, se ha reducido porque a temperaturas elevadas, la energía cinética de las moléculas se incrementa por lo que se desorganizan las estructuras de las proteínas, desnaturalizándose. Las zanahorias son conocidas por ser un producto con elevado contenido en agua y bajo contenido de lípidos y proteínas, por lo que es una desventaja ya que de entre todos los compuestos químicos, se les considera a las proteínas como una de las más importantes (Vasco, 2008, pp. 7-64).

4.4.1.6 Grasas

En la tabla 22-3 se muestra el contenido de grasas del polvo de zanahoria.

Tabla 22-3: Grasas en el polvo de zanahoria

| Atributo | Valor |
|----------|--------|
| Grasa | 2.10 % |

Realizado por: William D., Jácome L. 2021

Como se observó, se obtuvo un 2.10 % de contenido de grasas en el polvo de zanahoria, valor similar al obtenido a Hernández y Blanco (2015, p. 78), estudio de investigación en el que obtuvieron un valor de 1.4 %. Por lo que se considera un producto con bajo contenido en grasa. De acuerdo a un estudio, los carotenos muestran resistencia a la degradación térmica posiblemente influenciada por el contenido de grasa del producto, ya que sirve como protector ante la transferencia interna del calor (Camacho *et al.*, 2004, pp. 206-210).

La incidencia de luz en el polvo de zanahoria, provoca la degradación de grasas, pérdida de vitaminas y disminución del color del polvo, he ahí la importancia de envasar el producto en envases opacos para evitar esta reacción. Por otro lado, la presencia de oxígeno provoca enranciamiento por la presencia de grasas, por lo que es necesario el envasado al vacío del mismo debido a que esto modifica la atmósfera que rodea al producto, además de que le prolonga la vida útil (Almeida y Zambrano, 2007, p. 40).

4.4.1.7 Fibra

En la tabla 23-3 se muestra la fibra que contiene el polvo de zanahoria.

Tabla 23-3:Fibra en el polvo de zanahoria

| Atributo | Valor |
|----------|---------|
| Fibra | 21.03 % |

Realizado por: William D., Jácome L. 2021

Se observó que el polvo de zanahoria contiene 21.03 % de fibra, el cual es un valor bueno, respecto al obtenido por Cuzco y Guambaña (2019, p. 2), quienes obtuvieron un valor de 8.78 %. Este producto será considerado como alto contenido de fibra ya que contiene más de 6 g de fibra por cada 100 g de polvo, tomando en cuenta que, de todas las hortalizas, las zanahorias son las que presenta mayor cantidad de fibra dietética natural, además de ser una fuente importante de vitaminas y minerales (Hernández y Blanco, 2015, p. 75).

Es un beneficio el alto valor de fibra encontrado en el polvo de zanahoria, ya que su inclusión en la dieta diaria ayuda en prevenir varios problemas ayudando a controlar el peso, prevenir la diabetes y enfermedades cardíacas (Rozano *et al.*, 2004, p. 25).

4.4.1.8 Cenizas

En la tabla 24-3 se muestra el contenido de cenizas del polvo de zanahoria.

Tabla 24-3:Cenizas en el polvo de zanahoria

| Atributo | Valor |
|----------|--------|
| Cenizas | 5.23 % |

Realizado por: William D., Jácome L. 2021

Como se observó, el valor obtenido de cenizas fue de 5.23 %, el cual es un valor bueno ya que en otro estudio (Cuzco y Guambaña, 2019, p. 55) reportaron contenido de cenizas de 2.26 %, y debido a que las cenizas corresponden al contenido de minerales y son de origen vegetal, son cenizas de reacción alcalina. Además, un producto con alto contenido de minerales, es beneficioso ya que, en la estabilidad microbiológica, pueden retardar el crecimiento de ciertos microorganismos (Zapana y Callo, 2010, p. 25).

4.4.1.9 Carbohidratos

En la tabla 25-3 se muestra los carbohidratos de la muestra analizada.

Tabla 25-3: Carbohidratos en el polvo de zanahoria

| Atributo | Valor |
|---------------|---------|
| Carbohidratos | 67.14 % |

Realizado por: William D., Jácome L. 2021

Se obtuvo un valor de 67.14 % de carbohidratos del polvo de zanahoria, el cual es un valor bueno. Almeida y Zambrano (2007, p. 109) obtuvieron un valor de 63.86%, tomando en cuenta que, en las zanahorias, el contenido de carbohidratos es el más alto respecto al resto de macronutrientes y es una buena fuente de aporte energético y la composición mayoritaria es de azúcares y almidones de fácil digestión (Cuzco y Guambaña, 2019, p. 18).

4.4.2 Caracterización microbiológica

En la tabla 26-3 se muestra el resultado del análisis microbiológico del polvo de zanahoria.

Tabla 26-3: Recuento microbiológico del polvo de zanahoria

| Atributo | Valor |
|------------------------------|------------|
| Aerobios totales | 180 UFC/g |
| Mohos y levaduras | < 10 UFC/g |
| <i>Staphylococcus aureus</i> | < 10 UFC/g |
| <i>Escherichia coli</i> | < 10 UFC/g |
| Enterobacterias | < 10 UFC/g |

Realizado por: William D., Jácome L. 2021

Como se observó, los valores del recuento microbiológico del polvo de zanahoria resultaron ser menores a los valores máximos establecidos en la NTE INEN 2983:2016 de los requisitos para complementos nutricionales en el cual se establecen los requisitos microbiológicos para aerobios totales, mohos y levaduras, enterobacterias, *Escherichia coli*, y *Staphylococcus aureus*. Los límites permisibles para complementos nutricionales son para aerobios totales de 1×10^7 UFC/g, de mohos y levaduras de 1×10^5 UFC/g, de *Staphylococcus aureus* < 10 UFC/g, de *Escherichia coli* 1×10^2 UFC/g, y finalmente de enterobacterias de 1×10^4 UFC/g, por lo que el producto obtenido en el presente proyecto resultó ser aceptable para ser empleado como complemento nutricional a nivel industrial ya que cumple con los requisitos microbiológicos.

Además, en los alimentos con bajo contenido de humedad, se reduce significativamente el crecimiento de microorganismos como las bacterias, mohos y levaduras, además de que la deshidratación es considerada como un mecanismo de conservación mediante el cual se somete el alimento a un proceso de reducción del contenido de agua ya que la capacidad de los microorganismos para crecer y generar toxinas se asocia al contenido de agua del producto (Almeida y Zambrano, 2007, p. 41).

Finalmente, el recuento de aerobios mesófilos hace referencia a la calidad sanitaria de un producto, así como es un indicador de las condiciones de manipulación y de higiene. Por otro lado, la presencia de los mohos y levaduras podrían hacer referencia a una mala limpieza de los equipos utilizados lo que genera el deterioro físico-químico del producto, provocando un mal olor, cambios en el sabor y alteración en el color del producto contaminado. Finalmente, el contenido de coliformes totales hacen referencia a las prácticas sanitarias, así como también de la calidad de agua utilizada (Martínez, 2011, p. 40). Debido a lo mencionado anteriormente, se confirmó que el polvo de zanahoria tuvo una buena calidad sanitaria.

4.4.3 *Caracterización física*

4.4.3.1 *Color*

En la tabla 27-3 se muestra el resultado del análisis de color del polvo de zanahoria obtenido en el spray dryer.

Tabla 27-3: Determinación del color del polvo

| | | |
|--------------|----------|--------------|
| Color | L | 88.37 |
| | H | 86.57 |

Realizado por: William D., Jácome L. 2021

Como se observó, se obtuvo en el polvo la luminosidad (*L*) de 88.37 y la tonalidad (*H*) de 86.57. Realizando una comparación con el zumo de zanahoria del presente trabajo de investigación, mediante el diagrama de cromaticidad de la figura 1-2 donde se obtuvo que la tonalidad (*H*) varía en un 5.5% por lo que el color del polvo de zanahoria pudo verse afectado por la incidencia de la luz en el proceso de secado ya que los carotenoides son altamente sensibles a factores externos como la luz y la temperatura, los mismos que provocan que estos pigmentos se oxiden, obteniéndose como resultado una reducción de manera progresiva del

color del producto final (Haro *et al.*, 2019, pp. 2-3). El color naranja de las raíces está ligado a la presencia de pigmentos como alfa y betacarotenos y este último puede representar más del 50% de los carotenoides totales (Almeida y Zambrano, 2007, p. 113).

Además, los procesos de deshidratación de un producto por aspersión es una de las técnicas más usadas, pero también es una de las causantes del cambio de color de manera significativa tomando en cuenta que el color es un atributo de gran importancia de calidad, porque desempeña un rol importante en la apariencia del producto y su aceptación por parte de los consumidores (Hernández y Blanco, 2015, p. 76).

CONCLUSIONES

- La combinación del material encapsulante con la temperatura generó un efecto significativo sobre el rendimiento del proceso de secado por aspersión, donde el tratamiento 2 presentó un rendimiento de 24,29 %, superior al resto de tratamientos.
- La combinación del material encapsulante con la temperatura generó un efecto significativo en el contenido de betacarotenos microencapsulados del proceso de secado por aspersión, donde los tratamientos 2 y 3 presentaron un valor de eficiencia de encapsulamiento de 4,70 % y 4,79 % respectivamente.
- Los resultados de los análisis físicos, químicos y microbiológicos del polvo de zanahoria cumplen con la normativa vigente para complementos nutricionales.
- El tratamiento 2 fue elegido como mejor tratamiento, el cual presentó una concentración de betacarotenos de 2.6 mg/100 g.

RECOMENDACIONES

- Se recomienda en el estudio de la eficiencia de encapsulamiento, realizar formulaciones de proporción de material encapsulante, diferentes a las planteadas en este trabajo de investigación, para corroborar la inexistencia de efecto significativo en esta propiedad analizada.

- Se recomienda realizar un estudio de estabilidad del compuesto microencapsulado para ver la protección que presenta el material de pared el tiempo en el producto terminado.
- Se recomienda la evaluación del desempeño como solubilidad, higroscopia, fluencia en tolva, granulometría, homogeneidad de partícula y otros parámetros importantes en el uso industrial de la presente materia prima.
- Los resultados deben ser evaluados con modelos matemáticos para determinar de manera teórica el efecto del microencapsulamiento en compuestos lábiles de comportamiento similar.

BIBLIOGRAFÍA

- Aissa, A., Bianchi, M., Ribeiro, J., Hernandes, L., De Faria, A., Mercadante, A., y Antunes, L. (2012). "Comparative study of β -carotene and microencapsulated β -carotene: Evaluation of their genotoxic and antigenotoxic effects". *Food and Chemical Toxicology* [en línea], 50(5), pp. 1418-1424. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.fct.2012.02.030>
- Alessandro, M., Césari, M., Césari, R., Giménez, A., Guinle, V., Tapia, O., Ventreña, N. y Vignoni, L. (2013). Caracterización por contenido de betacarotenos de ocho cultivares de zanahoria (*Daucus carota L.*) y su relación con el color. *Facultad de Ciencias Agrarias*. [en línea], 45 (2), pp. 211-218. ISSN impreso 0370-4661. Disponible en: <https://www.redalyc.org/pdf/3828/382837655012.pdf>
- Alexe, P. y Dima, C. (2014). "Microencapsulation in Food Products". *AgroLife Scientific Journal* [en línea], 3(1), pp. 9-14. ISSN: 2285-5718. Disponible en: <http://agrolifejournal.usamv.ro/pdf/Vol3/art1.pdf>
- Almeida, P. y Zambrano M. (2007). Elaboración de zumo, pasta y polvo de zanahoria [en línea] (Trabajo de titulación). (Pregrado) Escuela Politécnica Nacional. Quito, Ecuador. pp.4-116. Disponible en: <http://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/2725>
- Anandharamakrishnan, C. y Ishwarya, P. (2015) *Spray Drying Techniques for Food Ingredient Encapsulation*. Mysore, India: Wiley Blackwell. Pp. 1-279.
- Association of Official Analytical Chemists. AOAC 920.39: *Fat/ Crude Fat*
- Association of Official Analytical Chemists. AOAC 960.52. *Elemental Analysis / Nitrogen*.
- Association of Official Analytical Chemists. AOAC 962.09. *Fiber / Crude Fiber*
- Association of Official Analytical Chemists. AOAC 968.08. *Ash*
- Association of Official Analytical Chemists. AOAC 975.55. *Staphylococcus in foods. Surgence Plating Method for Isolation and enumeration*

- Association of Official Analytical Chemists. AOAC 991.14. *Coliform and Escherichia coli. Counts in Foods. Dry Rehydratable Film.*
- Association of Official Analytical Chemists. AOAC 997.02. *Yeast and Mold counts in foods. Dry rehydratable film Method.*
- Aragundi, K. y Plúa, B. (2011). Obtención de harinas [en línea] (Trabajo de titulación). (Pregrado) Escuela Politécnica del Litoral. Guayaquil, Ecuador. pp. 27-47. Disponible en: <https://www.dspace.espol.edu.ec/bitstream/123456789/19056/14/CAPITULO%20%20JULIO.pdf>
- Arroyo, P., Mazquiaran, L., Rodríguez, P., Valero, T., Ruiz, E., Ávila, J. y Varela, G. (2018). *Frutas y hortalizas: Nutrición y salud en la España del S. XXI* [en línea]. España. Disponible en: <https://www.fesnad.org/resources/files/Noticias/frutasYHortalizas.pdf>
- Barra, J. (2009). Desarrollo de snacks en base a zanahoria (*Daucus carota L.*) variedad ábaco deshidratada osmóticamente para consumidores infantiles [en línea] (Trabajo de titulación). (Pregrado) Universidad de Chile. Santiago de Chile, Chile. Disponible en: http://repositorio.uchile.cl/tesis/uchile/2009/qf-barra_j/html/index-frames.html
- Bastidas, R. (2015). Estudio del efecto de la aplicación de sanitizantes en la calidad de zanahoria (*Daucus carota L.*) de IV gama. [en línea] (Trabajo de titulación). (Pregrado) Universidad Politécnica Nacional. Quito, Ecuador. Disponible en: <https://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/10505/1/CD-6218.pdf>
- Becerra, Z. y Venturo, A. (2017) Evaluación del tipo de encapsulante y temperatura de entrada en la estabilidad de carotenoides y actividad antioxidante del zumo de zanahoria (*Daucus carota*) en la microencapsulación por spray-drying [en línea] (Trabajo de titulación). (Pregrado) Universidad Nacional del Centro del Perú. Huancayo, Perú. Disponible en: <http://repositorio.uncp.edu.pe/bitstream/handle/UNCP/4116/Becerra%20Romero-Venturo%20Aguirre.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Boon, C., McClements, D., Weiss, J., y Decker, E. (2010). “Factors Influencing the Chemical Stability of Carotenoids in Foods”. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*

[en línea], 50(6), pp. 515–532. ISSN 1040-8398. Disponible en: <https://doi.org/10.1080/10408390802565889>

Burbano, L., Dávila, M., Martínez, T., y Cevallos R. (2016) “Metodología para la elaboración de pasta de tomate con zanahoria”. [en línea] 1(9), pp. 57-62. Disponible en: <https://revistas.utm.edu.ec/index.php/Riemat/article/view/213/172>

Caicedo, W., y Sono, F. (2014). Fertilización química en el cultivo de zanahoria (*Daucus carota* var.). con tres fuentes nitrogenadas más el micronutriente boro precursores de carotenos y la vitamina (A) [en línea] (Trabajo de titulación). (Pregrado) Universidad Técnica de Cotopaxi. Latacunga, Ecuador. pp.49-50. Disponible en: <http://repositorio.utc.edu.ec/bitstream/27000/2560/1/T-UTC-00095.pdf>

ÇAm, M., Erdoğan, F. y İçyer, C. (2014). “Pomegranate peel phenolics: Microencapsulation, storage stability and potential ingredient for functional food development”. *LWT- Food Science and Technology* [en línea]. 55, pp. 117-123. ISSN 0023-6438. Disponible en: <https://www.cabdirect.org/cabdirect/abstract/20133415098>

Camacho, B., Moreno, M., Alemán, R. y Álvarez, F. (2004). “Efecto de la temperatura de secado sobre la degradación de carotenoides en frutos de coroba (*Jessenia polycarpa* Karst)”. *Ciencia y Tecnología Alimentaria* [en línea], 4 (3), pp. 206-210. ISSN 1135-8122. Disponible en: <https://www.redalyc.org/pdf/724/72440309.pdf>

Carranza, C. (2006). Reacción fenológica y agronómica de dos cultivares de zanahoria (*Daucus carota*) a la inoculación de cepas de micorriza en campo [en línea] (Trabajo de titulación). (Pregrado) Escuela Politécnica del Ejército. Sangolquí, Ecuador. pp.27-29. Disponible en: <https://repositorio.espe.edu.ec/bitstream/21000/2590/1/T-ESPE-IASA%20I-003088.pdf>

Ceballos, M., Figueroa P. y Hurtado A. “Microencapsulación mediante secado por aspersion de aceite de mora (*Rubus glaucus*) extraído con CO₂ supercrítico”. *Colomb. Quim.* [en línea], 2016, (Colombia) 45(2), pp. 39-47. [Consulta: 05 agosto 2021]. Disponible en: DOI: <http://dx.doi.org/10.15446/rev.colomb.quim.v45n2.57481>.

Chamorro, D. (2017). Aplicación de dos fuentes de calcio y boro en el control de la rajadura de la zanahoria (*Daucus carota* L.) [en línea] (Trabajo de titulación). (Pregrado) Universidad Técnica de Babahoyo. Carchi, Ecuador. p.4. Disponible en:

<http://dspace.utb.edu.ec/bitstream/handle/49000/3188/E-UTB-FACIAG-ING%20AGRON-000052.pdf?sequence=1>

- Chinnaswamy, A., y Ishwarya, S. (2015). “Selection of wall material for encapsulation by spray drying”. *Spray Drying Techniques for Food Ingredient Encapsulation* [en línea], pp. 77-100. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1002/9781118863985.ch4>
- Chulde, F. (2013). Comportamiento agronómico y rendimiento de dos variedades de zanahoria amarilla (*Daucus carota L.*) aplicando tres abonos orgánicos en la zona de Bolívar, provincia del Carchi [en línea] (Trabajo de titulación). (Pregrado) Universidad Técnica de Babahoyo. Carchi, Ecuador. p. 1. Disponible en: <http://dspace.utb.edu.ec/bitstream/handle/49000/288/T-UTB-FACIAG-AGR-000070.pdf?sequence=6>
- Corrêa-Filho, L., Lourenço, M., Moldão-Martins, M., y Alves, V. D. (2019). “Microencapsulation of β -Carotene by Spray Drying: Effect of Wall Material Concentration and Drying Inlet Temperature”. *International Journal of Food Science* [en línea] pp. 1-12. Disponible en: <https://doi.org/10.1155/2019/8914852>
- Correa, V. (2018). Estudio del efecto de la incorporación de jugo de naranja en la deshidratación osmótica de zanahoria blanca (*Arracia Xanthorrhiza Bancroft*) [En línea] (Trabajo de titulación). (Pregrado) Universidad Tecnológica Equinoccial, Quito, Ecuador. pp.5-28. Disponible en: http://repositorio.ute.edu.ec/bitstream/123456789/18129/1/70300_1.pdf
- Cuaran, N. (2009). Identificación de las propiedades físico-químicas de la zanahoria amarilla (*Daucus carota L.*) variedad Chantenay, en dos estados de madurez (inmaduro-maduro) proveniente de Antonio Ante – Imbabura (Trabajo de titulación). Universidad Técnica del Norte, Facultad de Ingeniería en Ciencias Agropecuarias y Ambientales, Escuela de Ingeniería Agroindustrial. Ibarra, Ecuador. pp. 32-48.
- Cuzco, T. y Guambaña, S. (2019). Obtención de harina a partir de zanahoria blanca (*Arracacia xanthorrhiza*) en condiciones óptimas de temperatura, tiempo y espesor de la rodaja y su aplicación en dietas alimenticias [En línea] (Trabajo de titulación). (Pregrado) Universidad de Cuenca, Cuenca, Ecuador. pp. 18-63. Disponible en: <https://dspace.ucuenca.edu.ec/bitstream/123456789/33534/1/Trabajo%20de%20Titulaci%C3%B3n.pdf>

- De Andrade, M., Charalampopoulos, D., y Chatzifragkou, A. (2018). "Optimisation and modelling of super critical CO₂ extraction process of carotenoids from carrot peels". *The Journal of Supercritical Fluids* [en línea], 133, pp. 94-102. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1016/j.supflu.2017.09.028>
- Drugbank, J., (2010) *Betacarotene*. (2010). disponible en: <https://go.drugbank.com/drugs/DB06755>
- Dussán, S., García, C., y Gutiérrez, N. (2015). Cambios Físico-Químicos y Sensoriales Producidos por el Tipo de Corte y Empaque en Zanahoria (*Daucus carota L.*) Mínimamente Procesada. *Información Tecnológica*. [en línea] 26 (3). pp. 63-70. ISSN: 1040-1549. Disponible en: <https://doi.org/10.1080/10408398.2019.1698511>
- Esquivel, B., Ochoa, L. y Rutiaga, O. (2015). "Microencapsulación mediante secado por aspersión de compuestos bioactivos". *Rev. Iber. Tecnología Postcosecha* [en línea], 16(2), pp. 180-192. ISSN 1665-0204. Disponible en: <https://www.redalyc.org/pdf/813/81343176006.pdf>
- Eun, J., Maruf, A., Das, P. y Nam, S. (2019). "A review of encapsulation of carotenoids using spray drying and freeze drying". *Critical Reviews in Food Science and Nutrition* [en línea], pp.1-26. ISSN: 1040-1549. Disponible en: <https://doi.org/10.1080/10408398.2019.1698511>
- FAOSTAT. *Cultivos*. (2018). Disponible en: <http://www.fao.org/faostat/es/#data/QC>
- Fiallos, H. (2019). Extracción y microencapsulación, de carotenoides con actividad antioxidante a partir de *Daucus carota* [en línea] (Trabajo de titulación). (Pregrado) Universidad Técnica de Ambato. Ambato, Ecuador. Disponible en: <https://repositorio.uta.edu.ec/bitstream/123456789/29998/1/BQ%20191.pdf>
- Flores, J., Fuentes, I., Gómez, R. y Olivares, A. (2005). Obtención y caracterización de carotenoides como material fotosensible. [en línea] *INAOE – Instituto Nacional de Astrofísica Óptica y Electrónica*. Disponible en: <https://inaoe.repositorioinstitucional.mx/jspui/bitstream/1009/1579/1/FloresRJA.pdf>
- f

- Gharsallaoui, A., Roudaut, G., Chambin, O., Voilley, A., y Saurel, R. (2007). “Applications of spray-drying in microencapsulation of food ingredients: An overview”. *Food Research International* [en línea]. pp. 1107-1121. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2007.07.004>
- Goindi, S., Kaur, A., Kaur, R., Kalra, A., y Chauhan, P. (2016). “Nanoemulsions: an emerging technology in the food industry”. *Emulsions* [en línea]. pp. 651-688. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1016/B978-0-12-804306-6.00019-2>
- Grune, T., Lietz, G., Palou, A., Ross, A. C., Stahl, W., Tang, G., Thurnham, D., Yin, S., y Biesalski H. (2010). “β-Carotene Is an Important Vitamin A Source for Humans”. *The Journal of Nutrition* [en línea]. 140(12), pp. 2268S–2285S. Disponible en: [doi:10.3945/jn.109.119024](https://doi.org/10.3945/jn.109.119024)
- Guevara, A. (2015). *Elaboración de pulpas, zumos, néctares, deshidratados, osmodeshidratados y fruta confitada* [en línea]. Disponible en: <http://www.lamolina.edu.pe/postgrado/pmdas/cursos/dpactl/lecturas/Separata%20Pulpas%20n%C3%A8ctares,%20merm%20desh,%20osmodes%20y%20fruta%20confitada.pdf>
- Gul, K., Tak, A., Singh, A. K., Singh, P., Yousuf, B., y Wani, A. (2015). “Chemistry, encapsulation, and health benefits of β-carotene - A review”. *Cogent Food & Agriculture* [en línea]. pp. 1-12. ISSN 2331-1932. Disponible en: <https://doi.org/10.1080/23311932.2015.1018696>
- Handelman, J. (2001). “The Evolving Role of Carotenoids in Human Biochemistry”. *Nutrition* [en línea]. 17(10), pp. 818-822. Disponible en: [doi:10.1016/s0899-9007\(01\)00640-2](https://doi.org/10.1016/s0899-9007(01)00640-2)
- Haro, G., Ichau, M., Morillo, Y., Rosero, J. y Suárez, M. (2019). “Eficiencia de encapsulación de carotenoides extraídos de capsicum annuum en nanopartículas de zeína”. *FIGEMPA: Investigación y desarrollo* [en línea], Quito, Ecuador. 1(1), pp. 2-3. Disponible en: [doi:https://doi.org/10.29166/revfig.v1i1.1017](https://doi.org/10.29166/revfig.v1i1.1017)
- Haskell, J. (2012). “The challenge to reach nutritional adequacy for vitamin A: β-carotene bioavailability and conversion—evidence in humans”. *The American Journal of*

Clinical Nutrition [en línea]. 96(5), pp.1193S-1203S. Disponible en: [doi:10.3945/ajcn.112.034850](https://doi.org/10.3945/ajcn.112.034850)

Heredia, F., Meléndez, A. y Vicario, I. (2004). “Estabilidad de los pigmentos carotenoides en los alimentos”. [en línea]. pp. 1-8. ISSN 00040622. Disponible en: <https://idus.us.es/bitstream/handle/11441/26409/Estabilidad+de+los+pigmentos+carotenoides+en+los+alimentos.pdf;jsessionid=136A67FD6AD81296368A5DB803406932?sequence=1&isAllowed=y>

Hernández, R. y Blanco, D. (2015). “Evaluación de polvos de zanahoria obtenidos por deshidratación por aire forzado a diferentes temperaturas”. *IDESIA*[en línea]. 33(4), pp. 75-80. Disponible en: <https://scielo.conicyt.cl/pdf/idesia/v33n4/art10.pdf>

INFOAGRO. (2018). “El cultivo de la zanahoria”. Disponible en: <https://www.infoagro.com/hortalizas/zanahoria.htm>

INTA. (2013). *Manual de Producción de Zanahoria. Capítulo 2: Características botánicas y tipos varietales* [en línea]. Buenos Aires-Argentina: Ediciones INTA. Disponible en: https://inta.gob.ar/sites/default/files/script-tmp-inta_-_cap_2_caractersticas_botnicas_y_tipos_varieta.pdf

Ipiiales, G. (2012). Comportamiento agronómico del cultivo de zanahoria (*Daucus carota L.*) con Bio Ezkudo, Nitropower y Foliabono Alga 300[en línea] (Trabajo de titulación). (Pregrado) Universidad Técnica Estatal de Quevedo. Quevedo, Ecuador. pp.8-9 Disponible en: <https://repositorio.uteq.edu.ec/bitstream/43000/2505/1/T-UTEQ-0085.pdf>

Jiménez, M., García, H., y Beristain, C. (2004). “Spray-drying microencapsulation and oxidative stability of conjugated linoleic acid”. *European Food Research and Technology* [en línea]. 219(6), pp. 588-592. Disponible en: [doi:10.1007/s00217-004-0992-4](https://doi.org/10.1007/s00217-004-0992-4)

Kehr, E., Saavedra, G. (2018). *Zanahoria (Daucus carota L., var. sativus Hoffm.)*. Instituto de Investigaciones Agropecuarias INIA. Ministerio de Agricultura. [en línea]. Chile. Boletín 411. pp. 74. Disponible en: <https://biblioteca.inia.cl/bitstream/handle/123456789/6818/Capitulo%202.%20Zanahoria.pdf?sequence=3&isAllowed=y>

- Kha, T., Nguyen, M., Roach, P., y Stathopoulos, C. (2014). "Microencapsulation of Gac oil: Optimisation of spray drying conditions using response surface methodology". *Powder Technology* [en línea]. 264, pp. 298-309. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1016/j.powtec.2014.05.053>
- Kuklinski, C. (2000). *Farmacognosia: Estudio de las drogas y sustancias medicamentosas de origen natural* [en línea]. Barcelona-España: OMEGA S.A. Disponible en: <https://booksmedicos.org/farmacognosia-estudio-de-las-drogas-y-sustancias-medicamentosas-de-origen-natural/>
- Lei, Z., Li, C., y Chen, B. (2003). "Extractive Distillation: A Review". *Separation & Purification Reviews* [en línea] 32(2), pp. 121-213. ISSN 1542-2119. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1081/SPM-120026627>
- Liang, R., Huang, Q., Ma, J., Shoemaker, C. F., y Zhong, F. (2013) "Effect of relative humidity on the store stability of spray-dried beta-carotene nanoemulsions". *Food Hydrocolloids* [en línea] 33(2), pp. 225-233. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodhyd.2013.03.015>
- Lópe, L. y Villalta M. (2009). Propuesta de un método para la elaboración de microesferas matriciales de ácido acetilsalicílico utilizando alginato de sodio por la técnica de gelificación iónica [en línea] (Trabajo de titulación). (Pregrado) Universidad de El Salvador. San Salvador, El Salvador. p.54. Disponible en: <http://ri.ues.edu.sv/id/eprint/2785>
- López, A. (2011) Estudio de factibilidad para la producción y comercialización de la zanahoria (*Daucus carota L*), híbrido Cupar, en el Chaupi, provincia de Pichincha [en línea] (Trabajo de titulación). (Pregrado) Universidad San Francisco de Quito. Quito, Ecuador. p.2. Disponible en: <http://192.188.53.14/bitstream/23000/1369/1/102391.pdf>
- Luján, M. (2010). Determinación de los tiempos de reducción decimal (D) a distintas temperaturas de cepas de *Alicyclobacillus spp* aisladas durante la elaboración de zumos concentrados de manzana. Comportamiento de las mismas frente a sanitizantes de uso industrial [en línea] (Trabajo de titulación). (Maestría) Universidad Nacional del Litoral, Santa Fe, Argentina. pp. 1-120. Disponible en:

<https://bibliotecavirtual.unl.edu.ar:8443/bitstream/handle/11185/400/Tesis.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

- Luna, J., López, J., Jiménez, O., y Luna Guevara, L. (2016). “Microencapsulación de algunos compuestos bioactivos mediante secado por aspersión”. *Revista Iberoamericana de las Ciencias Biológicas y Agropecuarias* [en línea], 5(10), pp. 1-11. ISSN: 2007-9990. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.23913/ciba.v5i10.56>
- Madene, A., Jacquot, M., Scher, J. y Desobry, S. (2006). “Flavour encapsulation and controlled release – a review”. *International Journal of Food Science and Technology* [en línea]. volumen (41), pp. 1-21. Número DOI 10.1111/j.1365-2621.2005.00980.x. Disponible en: <https://ifst.onlinelibrary.wiley.com/doi/epdf/10.1111/j.1365-2621.2005.00980.x>
- Martínez, V. (2011). Efecto de la sustitución parcial de harina de trigo, por dos tipos de harina de zanahoria blanca (*Arracacia xanthorrhiza*), en la calidad de la pasta [En línea] (Trabajo de titulación). (Pregrado) Universidad Técnica de Ambato, Ambato, Ecuador. pp. 1-56. Disponible en: <https://repositorio.uta.edu.ec/bitstream/123456789/840/3/AL454%20Ref.%203403.pdf>
- Mohd, F., Manaf, S. y Hamzah, F. (2017). “Preservation of Bioactive Compound via Microencapsulation”. *Chemical Engineering Research Bulletin* [en línea]. 19, pp. 50-56. ISSN: 2072-9510. Disponible en: <https://doi.org/10.3329/cerb.v19i0.33796>
- Mondragón, R., Julia, J., Barba, A., y Jarque, J. (2013). “El proceso de secado por aspersión: formación de gránulos y cinética de secado de gotas”. *Boletín de la Sociedad Española de Cerámica y Vidrio* [en línea]. 52(4), pp. 159-168. ISSN: 0366-3175. Disponible en: <https://core.ac.uk/download/pdf/61429024.pdf>
- Morales, E. (2011). Uso de zanahoria amarilla (*Daucus carota*) para elaborar una bebida fermentada [en línea] (Trabajo de titulación). (Pregrado) Universidad Técnica de Ambato. Ambato, Ecuador. pp. 1-37. Disponible en: <https://repositorio.uta.edu.ec/bitstream/123456789/3257/1/PAL261.pdf>
- Morowvat, M. y Younes, G. (2016). “Spray-Drying Microencapsulation of β -Carotene Contents in Powdered *Dunaliella salina* Biomass”. *International Journal of*

Pharmaceutical and Clinical Research [en línea]. 8(11), pp. 1533-1536. ISSN-0975 1556. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/311603961_Spray-drying_microencapsulation_of_b-carotene_contents_in_powdered_Dunaliella_salina_biomass

Naveda G. (2010). Establecimiento de un proceso de obtención de extracto de ruda (*Ruta graveolens*), con alto contenido de polifenoles [en línea] (Trabajo de titulación). (Pregrado) Escuela Politécnica Nacional. Quito, Ecuador. p.8. Disponible en: <https://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/2295/1/CD-3036.pdf>

NTE-ISO 750:2013.*Productos Vegetales y de Frutas – Determinación de la Acidez Titulable (IDT)*

NTE INEN 2983:2016.*Complementos nutricionales: Requisitos.*

NTE INEN 2471:2010.*Mezclas en polvo para preparar refrescos o bebidas instantáneas: Requisitos.*

NTC 404.*Norma Técnica Colombiana para zumos y pulpas de frutas.*

Ortíz, A. y Mamani, M. (2015). Obtención del beta- caroteno a partir de la zanahoria y su aplicación en la industria alimenticia [en línea] (Trabajo de titulación). (Pregrado) Universidad Mayor de San Andrés. La Paz, Bolivia.pp.17-18. Disponible en: <https://repositorio.umsa.bo/handle/123456789/9307>

Oxley, J. (2014) “Chapter 4 - Overview of Microencapsulation Process Technologies”. *Microencapsulation in the Food Industry* [en línea], pp. 35-46. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-404568-2.00004-2>

Parra, R. (2011). “Revisión: Microencapsulación de Alimentos”. *Revista Facultad Nacional de Agronomía Medellín* [en línea], 63(2), pp. 5669-5684. Disponible en: <http://www.scielo.org.co/pdf/rfnam/v63n2/a20v63n01.pdf>

Paulo, F. y Santos, L. (2017). “Design of experiments for microencapsulation applications: A review”. *Materials Science and Engineering: C* [en línea]. 77, pp. 1327-1340. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.msec.2017.03.219>

- Prata, A., García, L., Tonon, R. V., y Hubinger, M. (2013). “Wall Material Selection for Encapsulation by Spray Drying”. *Journal of Colloid Science and Biotechnology* [en línea], 2(2), pp. 86-92. Disponible en: <https://doi.org/10.1166/jcsb.2013.1039>
- Rascón, M., Beristain, C., García, H. y Salgado, M. (2011). “Carotenoid retention and storage stability of spray-dried encapsulated paprika oleoresin using gum Arabic and Soy protein isolate as wall materials”. *LWT – Food Science and Technology* [en línea], 44(2), pp.549-557. Disponible en: [doi: 10.1016/j.lwt.2010.08.021](https://doi.org/10.1016/j.lwt.2010.08.021)
- Reina, C. y Bonilla, J. (1997). *Manejo postcosecha y evaluación de calidad para la zanahoria (Daucus carota L) que se comercializa en la ciudad de Neiva* [en línea]. Neiva-Colombia: Universidad Surcolombiana. Disponible en: <http://bibliotecadigital.agronet.gov.co/handle/11348/4697>
- Richmond, F. (2009). Evaluación agronómica de 12 cultivares comerciales de zanahoria (*Daucus carota L.*) en Cot, Cartago [en línea] (Trabajo de titulación). (Pregrado) Universidad de Costa Rica. San José, Costa Rica. p.18. Disponible en: <http://repositorio.sibdi.ucr.ac.cr:8080/jspui/bitstream/123456789/3064/1/30057.pdf>
- Rodriguez, A., Lopez, P. y Costa, L. “Microencapsulation and Its Uses in Food Science and Technology: A Review”. *Microencapsulation - Processes, Technologies and Industrial Applications* [en línea] pp. 1-18. Disponible en: <https://doi.org/10.5772/intechopen.81997>
- Rosa, E., Tsukada, M., y Freitas, L. (2006). “Secagem por Atomização na Indústria Alimentícia: Fundamentos e Aplicações”. *Jornada Científica da Fazu/Faculdades Associadas de Uberaba* [en línea] pp. 1-12. Disponible en: <http://www.labmaqdobrasil.com.br/downloads/spray-dryers/Fundamentos%20e%20Aplicacoes%20da%20Secagem%20por%20Atomizacao%20na%20Industria%20de%20Alimentos.pdf>
- Rozano, V., Quiróz, C., Acosta, J., Pimentel, L. y Quiñones, E. (2004). “Hortalizas, las llaves de la energía”. *Revista Digital Universitaria*[en línea], 5 (7), pp. 1-30. Número ISSN 1067-6079. Disponible en: http://www.revista.unam.mx/vol.6/num9/art88/sep_art88.pdf

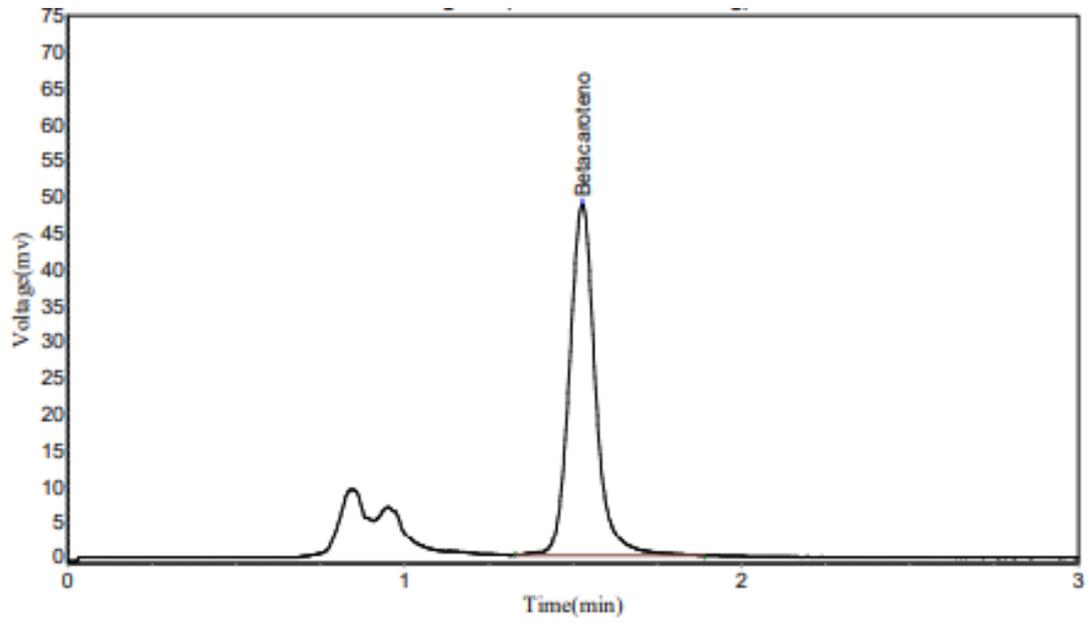
- Sáenz, C., Tapia, S., Chávez, J. y Paz, R. (2009). "Microencapsulation by spray drying of bioactive compounds from cactus pear (*Opuntia ficus-indica*)". *Food Chemistry* [en línea]. (114), pp. 616-622. Número ISSN 03088146. Disponible en: <http://repositorio.uchile.cl/handle/2250/158135>
- Sandoval, A., Rodríguez, E., y Ayala A. (2004). "Encapsulación de Aditivos para la Industria de Alimentos. Ingeniería y Competitividad". *Ingeniería y Competitividad* [en línea]. 5(2), pp. 73-83. Disponible en: https://revistaingenieria.univalle.edu.co/index.php/ingenieria_y_competitividad/%20article%20/view%20/2298
- SANUTRICION. (2012). "Carotenoides". [en línea], Argentina. p. 1. Disponible en: <http://www.sanutricion.org.ar/files/upload/files/carotenoides.pdf>
- Saravia, N. (2011). "Estudio para la optimización de la formulación del nectar de naranja con zanahoria para mejorar el sabor y reducir las mermas". [en línea] (Trabajo de titulación). (Pregrado) Universidad Tecnológica Equinoccial. Quito, Ecuador. p.40. Disponible en: http://repositorio.ute.edu.ec/bitstream/123456789/4908/1/44181_1.pdf
- Serra Costa, S., Souza, B., Martín, A., Bagnara, F., Ragadalli, S. y Costa A. (2015). "Drying by spray drying in the food industry: Micro-encapsulation, process parameters and main carriers used". *African Journal of Food Science* [en línea]. 9(9), pp. 462-470. ISSN: 1996-0794. Disponible en: <https://doi.org/10.5897/ajfs2015.1279>
- Shahidi, F. y Han, X. (1993). "Encapsulation of Food Ingredients". *Critical Reviews in Food Science and Nutrition* [en línea]. 33(6), pp. 501-547. Disponible en: <https://doi.org/10.1080/10408399309527645>
- Sobel, R., Versic, R. y Gaonkar, A. (2014). "Chapter 1 - Introduction to Microencapsulation and Controlled Delivery in Foods". *Microencapsulation in the Food Industry*[en línea], pp. 3-12. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-404568-2.00001-7>
- Suárez, M., Rosero, J., Morillo, Y., Haro, G., y Ichau, M. (2019). "Eficiencia de encapsulación de carotenoides extraídos de capsicum annum en nanopartículas de zeína". *FIGEMPA: Investigación y Desarrollo* [en línea]. 1 (1), pp. 47-52. ISSN: 1390-7042. Disponible en: <https://doi.org/10.29166/revfig.v1i1.1017>

- Tanumihardjo, S. (2013). "Carotenoids: Health Effects". *Encyclopedia of Human Nutrition* [en línea]. 1(1), pp. 292-297. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-375083-9.00045-3>
- Tanon, R., Pedro, R., Grosso, C. y Hubinger, M. (2012). "Microencapsulation of Flaxseed Oil by Spray Drying: Effect of Oil Load and Type of Wall Material". *Drying Technology: An International Journal* [en línea]. (30), pp. 1491-1501. Número ISSN 0737-3937. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/237568766_Microencapsulation_of_Flaxseed_Oil_by_Spray_Drying_Effect_of_Oil_Load_and_Type_of_Wall_Material
- Torres, G. (2013). Comportamiento agronómico de 7 híbridos de zanahoria amarilla (*Daucus carota*) en el cantón Píllaro provincia de Tungurahua [en línea] (Trabajo de titulación). (Pregrado) Universidad Técnica Estatal de Quevedo. Quevedo, Ecuador. Disponible en: <https://repositorio.uteq.edu.ec/bitstream/43000/2817/1/T-UTEQ-0355.pdf>
- Universidad de La Rioja. (2012). La medida práctica del color [en línea]. La Rioja, España. p.12. Disponible en: https://www.unirioja.es/cu/fede/color_de_vino/capitulo04.pdf
- Urango, L., Montoya, G., Cuadros, M., Henao, D., Zapata, P., López, L., Castaño, E., Vanegas, C., Loaiza, M. y Gómez, B. (2009). "Efecto de los compuestos bioactivos de algunos alimentos en la salud". *Perspectivas en Nutrición humana* [en línea]. 11(1), pp. 27-38. ISSN 0124-4108. Disponible en: <http://www.scielo.org.co/pdf/penh/v11n1/v11n1a3.pdf>
- USDA. (2019). *FoodData Central: Carrots, raw*. Disponible en: <https://fdc.nal.usda.gov/fdc-app.html#/food-details/170393/nutrients>
- Vasco, V. (2008). Obtención y caracterización de carotenoides como material fotosensible. [en línea] (Trabajo de titulación). (Pregrado) Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. Riobamba, Ecuador. pp. 1-75. Disponible en: <http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/204/1/56T00176.pdf>
- Wandrey, C. y Bartkowiak, A. (2010). *Materials for encapsulation*. Springer, New York: Springer Science + Business Media, LLC. ISBN: 978-1-4419-1008-0, pp. 31-100.

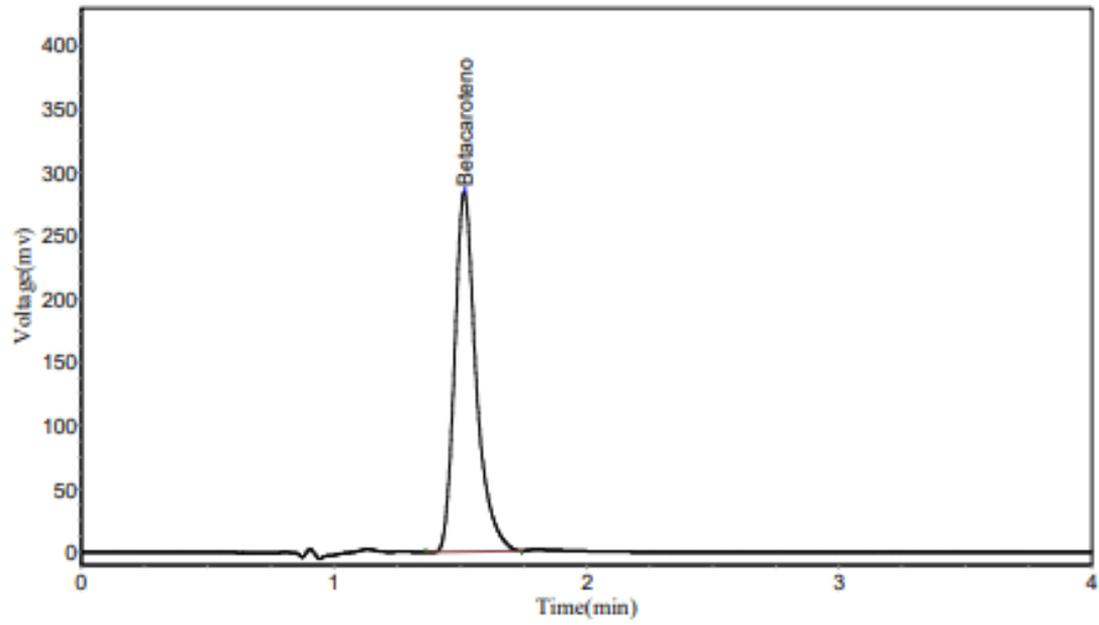
- Wingqvist, A. (2011). Extraction, Isolation and Purification of β -carotene[en línea]. Karlstads Universitet. Karlstad, Suecia. pp. 17-19. Disponible en: <http://kau.diva-portal.org/smash/get/diva2:506614/FULLTEXT01.pdf>
- Yáñez, J., Salazar, J., Chaires, L., Jiménez, J., Márquez, M. y Ramos, E. (2002). “Aplicaciones Biotecnológicas de la Microencapsulación”. *Avance y Perspectiva* [en línea]. 21, pp.313-319. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/271836989_Aplicaciones_biotecnologicas_de_la_microencapsulacion
- Yerbabuena, S. (2013). Obtención de café a partir de la zanahoria (*Daucus carota*) en la Comunidad San José de Chanchahuán- Parroquia Calpi- Cantón Riobamba- Provincia de Chimborazo [en línea] (Trabajo de titulación). (Pregrado) Universidad Nacional de Chimborazo. Riobamba, Ecuador. p. 13. Disponible en: <http://dspace.unach.edu.ec/bitstream/51000/413/1/UNACH-EC-IAGRO-2013-0002.pdf>
- Zaccari, F. (2010). Caracterización de seis cultivares de zanahorias (*Daucus carota*, L.), crudas y cocidas al vapor, por color y contenido y bioaccesibilidad *in vitro* de betacarotenos y minerales [en línea] (Trabajo de titulación). (Maestría) Universidad de la República. Montevideo, Uruguay. p.5. Disponible en: <https://www.colibri.udelar.edu.uy/jspui/bitstream/20.500.12008/1812/1/0055zac.pdf>
- Zapana, Y. y Callo, H. (2010). Evaluación de horno de incineración convencional para la determinación de cenizas en cinco variedades de quinua. [En línea] (Trabajo de titulación). (Pregrado) Universidad Nacional del Altiplano, Puno, Perú. pp. 1-102. Disponible en: http://repositorio.unap.edu.pe/bitstream/handle/UNAP/3505/Zapana_Tacca_Yanet_Callo_Calli_Herbert.pdf?sequence=5&isAllowed=y

ANEXOS

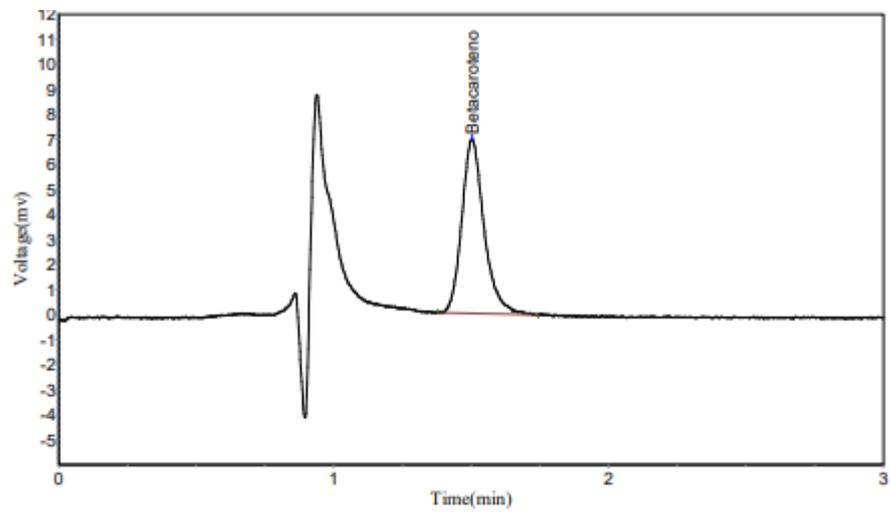
ANEXO A: Cromatograma del zumo de zanahoria



ANEXO B: Cromatograma del estándar (Solución madre)



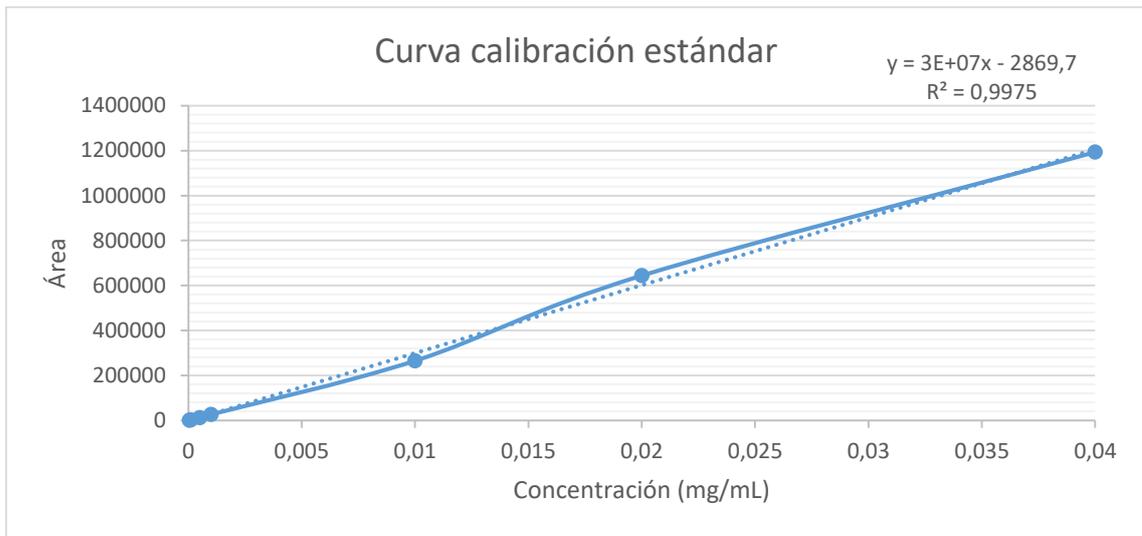
ANEXO C: Cromatograma del polvo de zanahoria



ANEXO D: Diluciones para curva de calibración del estándar

| Concentración (mg/mL) | Medida 1 (área) | Medida 2 (área) | Medida 3 (área) | Promedio | Desviación Estándar | Coef. Varianza (%) |
|----------------------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|-----------------|--------------------------------|-----------------------------------|
| 0.04 | 1202385.125 | 1190709.75 | 1187940.25 | 1193678.375 | 7666.37 | 0.64 |
| 0.02 | 651663.438 | 627710.703 | 653137.5 | 644170.547 | 14273.68 | 2.22 |
| 0.01 | 265239.125 | 262397.719 | 267695.719 | 265110.8543 | 2651.33 | 1.00 |
| 0.001 | 25455.055 | 26737.201 | 26684.842 | 26292.366 | 725.61 | 2.76 |
| 0.0005 | 12453.35 | 12835.015 | 12631.3 | 12639.88833 | 190.98 | 1.51 |
| 0.0001 | 2805.362 | 2486.85 | 2445.6 | 2579.270667 | 196.88 | 7.63 |
| 0.00005 | - | 1404.6 | 1370.8 | 1387.7 | 23.90 | 1.72 |

ANEXO E: Curva de calibración del estándar



ANEXO F: Concentración de betacarotenos en el zumo de zanahoria

| | |
|--|-------------|
| Cantidad (ml) | 1 |
| V aforo (ml) | 20 |
| Medida 1 | 265942.25 |
| Medida 2 | 265043.688 |
| Promedio | 265492.969 |
| Desviación Estándar | 635.38 |
| Coefficiente De Varianza (%) | 0.24 |
| Concentración (mg/mL) | 0.008945422 |
| Factor de dilución (mL de solución/mL soluto) | 20 |
| Concentración (mg/mL de soluto) | 0.178908446 |
| Densidad del zumo (g/mL) | 1.02385 |
| Concentración (mg/g) | 0.174740876 |
| mg de betacaroteno/100 g de zanahoria | 17.8908446 |

ANEXO G: Concentración de betacarotenos en el polvo de zanahoria

| Tratamiento (T-M:GA) | Cantidad (g) | V aforo (mL) | Medida 1 (área) | Concentración (mg/mL) | Factor de dilución (ml de solución /g soluto) | Concentración (mg/g) | mg de betacaroteno/100 g de polvo de zanahoria |
|-----------------------------|---------------------|---------------------|------------------------|------------------------------|--|-----------------------------|---|
| 150°C-35:65 | 1.00 | 20.00 | 36770.57 | 0.001321 | 20.01 | 0.03 | 2.64 |
| 150°C-35:65 | 1.00 | 20.00 | 37563.20 | 0.001348 | 20.01 | 0.03 | 2.70 |
| 150°C-35:65 | 1.00 | 20.00 | 37024.00 | 0.001330 | 20.01 | 0.03 | 2.66 |
| 150°C-50:50 | 1.01 | 20.00 | 37136.00 | 0.001334 | 19.84 | 0.03 | 2.65 |
| 150°C-50:50 | 1.01 | 20.00 | 33806.20 | 0.001223 | 19.84 | 0.02 | 2.42 |
| 150°C-50:50 | 1.01 | 20.00 | 38111.20 | 0.001366 | 19.84 | 0.03 | 2.71 |
| 150°C-65:35 | 1.01 | 20.00 | 39395.25 | 0.001409 | 19.71 | 0.03 | 2.78 |
| 150°C-65:35 | 1.01 | 20.00 | 40482.55 | 0.001445 | 19.71 | 0.03 | 2.85 |
| 150°C-65:35 | 1.01 | 20.00 | 40863.60 | 0.001458 | 19.71 | 0.03 | 2.87 |
| 170°C-35:65 | 1.00 | 20.00 | 41031.50 | 0.001463 | 20.00 | 0.03 | 2.93 |
| 170°C-35:65 | 1.00 | 20.00 | 42634.57 | 0.001517 | 20.00 | 0.03 | 3.03 |
| 170°C-35:65 | 1.00 | 20.00 | 42030.40 | 0.001497 | 20.00 | 0.03 | 2.99 |
| 170°C-50:50 | 1.00 | 20.00 | 34634.70 | 0.001250 | 20.00 | 0.03 | 2.50 |
| 170°C-50:50 | 1.00 | 20.00 | 31370.16 | 0.001141 | 20.00 | 0.02 | 2.28 |
| 170°C-50:50 | 1.00 | 20.00 | 27696.76 | 0.001019 | 20.00 | 0.02 | 2.04 |
| 170°C-65:35 | 0.99 | 20.00 | 31094.50 | 0.001132 | 20.17 | 0.02 | 2.28 |
| 170°C-65:35 | 0.99 | 20.00 | 31822.26 | 0.001156 | 20.17 | 0.02 | 2.33 |
| 170°C-65:35 | 0.99 | 20.00 | 31082.50 | 0.001132 | 20.17 | 0.02 | 2.28 |
| 190°C-35:65 | 1.00 | 20.00 | 24777.97 | 0.000922 | 20.00 | 0.02 | 1.84 |
| 190°C-35:65 | 1.00 | 20.00 | 25643.07 | 0.000950 | 20.00 | 0.02 | 1.90 |
| 190°C-35:65 | 1.00 | 20.00 | 25501.89 | 0.000946 | 20.00 | 0.02 | 1.89 |
| 190°C-50:50 | 1.01 | 20.00 | 21375.20 | 0.000808 | 19.86 | 0.02 | 1.60 |
| 190°C-50:50 | 1.01 | 20.00 | 21914.30 | 0.000826 | 19.86 | 0.02 | 1.64 |
| 190°C-50:50 | 1.01 | 20.00 | 21633.05 | 0.000817 | 19.86 | 0.02 | 1.62 |
| 190°C-65:35 | 1.00 | 20.00 | 24825.50 | 0.000923 | 20.01 | 0.02 | 1.85 |
| 190°C-65:35 | 1.00 | 20.00 | 25087.70 | 0.000932 | 20.01 | 0.02 | 1.86 |
| 190°C-65:35 | 1.00 | 20.00 | 24926.70 | 0.000927 | 20.01 | 0.02 | 1.85 |

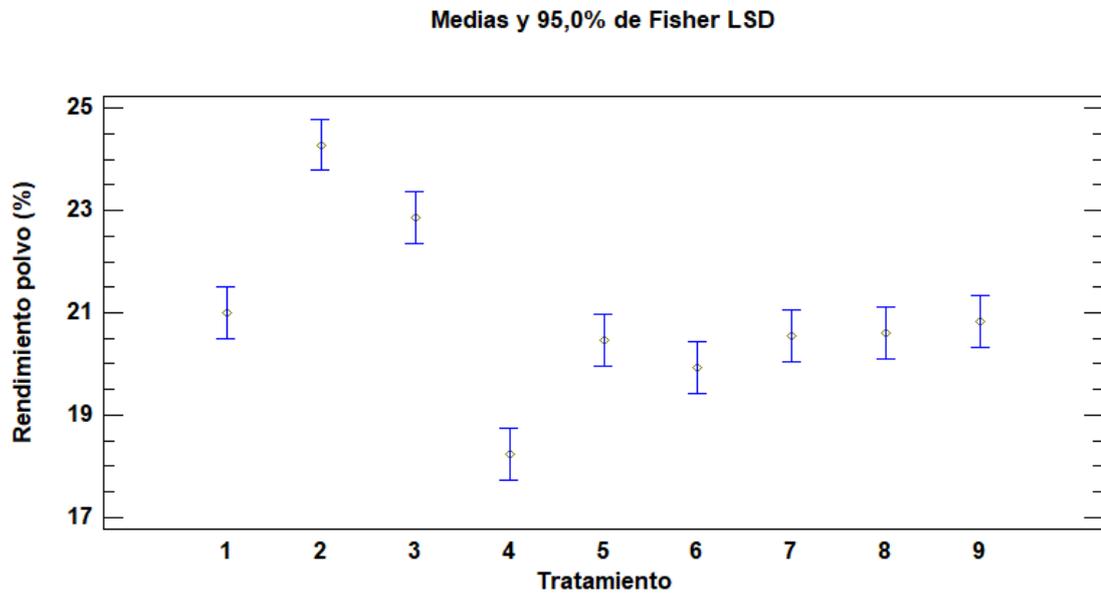
ANEXO H: Rendimiento del polvo de zanahoria

| | | Repeticiones | | | Promedio |
|--------------------|----------|---------------------|----------|----------|-----------------|
| | | 1 | 2 | 3 | |
| Tratamiento | 1 | 20,10 | 21,40 | 21,48 | 20,99 |
| | 2 | 24,30 | 24,00 | 24,56 | 24,29 |
| | 3 | 23,20 | 22,80 | 22,59 | 22,86 |
| | 4 | 18,20 | 18,30 | 18,23 | 18,24 |
| | 5 | 19,92 | 20,43 | 21,01 | 20,45 |
| | 6 | 20,76 | 19,26 | 19,75 | 19,92 |
| | 7 | 20,10 | 19,98 | 21,57 | 20,55 |
| | 8 | 20,20 | 21,00 | 20,58 | 20,59 |
| | 9 | 19,99 | 21,30 | 21,17 | 20,82 |

ANEXO I: Eficiencia de betacarotenos

| Tratamientos | 150°C | 150°C | 150°C | 170°C | 170°C | 170°C | 190°C | 190°C | 190°C |
|---|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
| | - 35:65 | - 50:50 | - 65:35 | - 35:65 | - 50:50 | - 65:35 | - 35:65 | - 50:50 | - 65:35 |
| Betacarotenos zumo (mg) | 131.3 70 | 140.7 01 | 129.0 29 | 101.9 26 | 103.1 67 | 120.3 79 | 122.3 54 | 117.8 28 | 136.2 98 |
| Betacarotenos polvo (mg) | 5.384 | 6.615 | 6.181 | 4.046 | 3.709 | 4.109 | 3.487 | 2.888 | 3.863 |
| Eficiencia betacarotenos (%) | 4.098 | 4.702 | 4.791 | 3.970 | 3.595 | 3.414 | 2.850 | 2.451 | 2.834 |

ANEXO J: Diferencia mínima significativa restringida de Fisher en el rendimiento del polvo de zanahoria.



ANEXO K: Diferencia mínima significativa restringida de Fisher en la eficiencia de betacarotenos.

Medias y 95,0% de Fisher LSD

