



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI
FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS Y RECURSOS
NATURALES

CARRERA DE AGROINDUSTRIA

PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

OBTENCIÓN DE POLVO MICROENCAPSULADO DE
ZANAHORIA VARIEDAD CHANTENAY (*Daucus carota subsp.*
***sativus*) POR EL MÉTODO DE SECADO POR ASPERSIÓN**

Proyecto de Investigación presentado previo a la obtención del Título de Ingenieras Agroindustriales.

AUTORAS:

Lemache Ruíz Silvia Verónica

Simba Tipantuña Blanca Piedad

TUTORA:

Moreano Terán Nancy Fabiola

LATACUNGA - ECUADOR

Julio 2025

DECLARACIÓN DE AUTORÍA

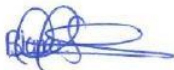
Lemache Ruíz Silvia Verónica, con cédula de ciudadanía No. 1752581974 y Simba Tipantuña Blanca Piedad, con cédula de ciudadanía No. 0550210009, declaramos ser autoras del presente Proyecto de Investigación: **“OBTENCIÓN DE POLVO MICROENCAPSULADO DE ZANAHORIA VARIEDAD CHANTENAY (*Daucus carota subsp. sativus*) POR EL MÉTODO DE SECADO POR ASPERSIÓN”**, siendo la Ingeniera Nancy Fabiola Moreano Terán, Tutora del presente trabajo; y, eximimos expresamente a la Universidad Técnica de Cotopaxi y a sus representantes legales de posibles reclamos o acciones legales.

Además, certificamos que las ideas, conceptos, procedimientos y resultados vertidos en el presente trabajo investigativo, son de nuestra exclusiva responsabilidad.

Latacunga, 21 de julio del 2025



Silvia Verónica Lemache Ruíz
C.C: 1752589174
ESTUDIANTE



Blanca Piedad Simba Tipantuña
C.C: 0550210009
ESTUDIANTE

CONTRATO DE CESIÓN NO EXCLUSIVA DE DERECHOS DE AUTOR

Comparecen a la celebración del presente instrumento de cesión no exclusiva de obra, que celebran de una parte **LEMACHE RUÍZ SILVIA VERÓNICA**, identificada con cédula de ciudadanía **1752589174** de estado civil soltera, a quien en lo sucesivo se denominará **LA CEDENTE**; y, de otra parte, la Doctora Idalia Eleonora Pacheco Tigselema, en calidad de Rectora, y por tanto representante legal de la Universidad Técnica de Cotopaxi, con domicilio en la Av. Simón Rodríguez, Barrio El Ejido, Sector San Felipe, a quien en lo sucesivo se le denominará **LA CESIONARIA** en los términos contenidos en las cláusulas siguientes:

ANTECEDENTES: CLÁUSULA PRIMERA. - **LA CEDENTE** es una persona natural estudiante de la carrera de Agroindustria, titular de los derechos patrimoniales y morales sobre el trabajo de grado **“OBTENCIÓN DE POLVO MICROENCAPSULADO DE ZANAHORIA VARIEDAD CHANTENAY (*Daucus carota subsp. sativus*) POR EL MÉTODO DE SECADO POR ASPERSIÓN”**, la cual se encuentra elaborada según los requerimientos académicos propios de la Facultad; y, las características que a continuación se detallan:

Historial Académico

Inicio de la carrera: octubre 2021 - marzo 2022

Finalización de la carrera: abril – agosto 2025 Tutora:

Ing. Nancy Fabiola Moreano Terán

Tema: **“OBTENCIÓN DE POLVO MICROENCAPSULADO DE ZANAHORIA VARIEDAD CHANTENAY (*Daucus carota subsp. sativus*) POR EL MÉTODO DE SECADO POR ASPERSIÓN”**

CLÁUSULA SEGUNDA. - **LA CESIONARIA** es una persona jurídica de derecho público creada por ley, cuya actividad principal está encaminada a la educación superior formando profesionales de tercer y cuarto nivel normada por la legislación ecuatoriana la misma que establece como requisito obligatorio para publicación de trabajos de investigación de grado en su repositorio institucional, hacerlo en formato digital de la presente investigación.

CLÁUSULA TERCERA. - Por el presente contrato, **LA CEDENTE** autoriza a **LA CESIONARIA** a explotar el trabajo de grado en forma exclusiva dentro del territorio de la República del Ecuador.

CLÁUSULA CUARTA. - OBJETO DEL CONTRATO: Por el presente contrato **LA CEDENTE**, transfiere definitivamente a **LA CESIONARIA** y en forma exclusiva los siguientes derechos patrimoniales; pudiendo a partir de la firma del contrato, realizar, autorizar o prohibir:

- a) La reproducción parcial del trabajo de grado fijando en el soporte informático conocido como repositorio institucional que se ajuste a ese fin. b) La publicación del trabajo de grado.
- c) La traducción, adaptación, arreglo u otra transformación del trabajo de grado con fines académicos y de consulta.
- d) La importación al territorio nacional de copias del trabajo de grado hechas sin autorización del titular del derecho por cualquier medio incluyendo mediante transmisión.

CLÁUSULA QUINTA. - El presente contrato se lo realiza a título gratuito por lo que **LA CESIONARIA** no se halla obligada a reconocer pago alguno en igual sentido **LA CEDENTE** declara que no existe obligación pendiente a su favor.

CLÁUSULA SEXTA. - El presente contrato tendrá una duración indefinida, contados a partir de la firma del presente instrumento por ambas partes.

CLÁUSULA SÉPTIMA. - CLÁUSULA DE EXCLUSIVIDAD. - Por medio del presente contrato, se cede en favor de **LA CESIONARIA** el derecho a explotar la obra en forma exclusiva, dentro del marco establecido en la cláusula cuarta, lo que implica que ninguna otra persona incluyendo **LA CEDENTE** podrá utilizarla.

CLÁUSULA OCTAVA. - LICENCIA A FAVOR DE TERCEROS. - **LA CESIONARIA** podrá licenciar la investigación a terceras personas siempre que cuente con el consentimiento de **LA CEDENTE** en forma escrita.

CLÁUSULA NOVENA. - El incumplimiento de la obligación asumida por las partes en la cláusula cuarta, constituirá causal de resolución del presente contrato. En consecuencia, la resolución se producirá de pleno derecho cuando una de las partes comunique, por carta notarial, a la otra que quiere valerse de esta cláusula.

CLÁUSULA DÉCIMA. - En todo lo no previsto por las partes en el presente contrato, ambas se someten a lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, Código Civil y demás del sistema jurídico que resulten aplicables.

CLÁUSULA UNDÉCIMA. - Las controversias que pudieran suscitarse en torno al presente contrato, serán sometidas a mediación, mediante el Centro de Mediación del Consejo de la Judicatura en la ciudad de Latacunga. La resolución adoptada será definitiva e inapelable, así como de obligatorio cumplimiento y ejecución para las partes y, en su caso, para la sociedad. El costo de tasas judiciales por tal concepto será cubierto por parte del estudiante que lo solicitare.

En señal de conformidad las partes suscriben este documento en dos ejemplares de igual valor y tenor en la ciudad de Latacunga, a los 21 días del mes de julio del 2025.



Silvia Verónica Lemache Ruíz
LA CEDENTE

Dra. Idalia Pacheco Tigselema, Ph.D.
LA CESIONARIA

CONTRATO DE CESIÓN NO EXCLUSIVA DE DERECHOS DE AUTOR

Comparecen a la celebración del presente instrumento de cesión no exclusiva de obra, que celebran de una parte **SIMBA TIPANTUÑA BLANCA PIEDAD** identificada con cédula de ciudadanía **0550210009** de estado civil soltera, a quien en lo sucesivo se denominará **LA**

CEDENTE; y, de otra parte, la Doctora Idalia Eleonora Pacheco Tigselema, en calidad de Rectora, y por tanto representante legal de la Universidad Técnica de Cotopaxi, con domicilio en la Av. Simón Rodríguez, Barrio El Ejido, Sector San Felipe, a quien en lo sucesivo se le denominará **LA CESIONARIA** en los términos contenidos en las cláusulas siguientes:

ANTECEDENTES: CLÁUSULA PRIMERA. - LA CEDENTE es una persona natural estudiante de la carrera de Agroindustria, titular de los derechos patrimoniales y morales sobre el trabajo de grado **“OBTENCIÓN DE POLVO MICROENCAPSULADO DE ZANAHORIA VARIEDAD CHANTENAY (Daucus carota subsp. sativus) POR EL MÉTODO DE SECADO POR ASPERSIÓN”**, la cual se encuentra elaborada según los requerimientos académicos propios de la Facultad; y, las características que a continuación se detallan:

Historial Académico

Inicio de la carrera: octubre 2021 - marzo 2022

Finalización de la carrera: abril – agosto 2025

Tutora: Ing. Nancy Fabiola Moreano Terán

Tema: **“OBTENCIÓN DE POLVO MICROENCAPSULADO DE ZANAHORIA VARIEDAD CHANTENAY (Daucus carota subsp. sativus) POR EL MÉTODO DE SECADO POR ASPERSIÓN”**

CLÁUSULA SEGUNDA. - LA CESIONARIA es una persona jurídica de derecho público creada por ley, cuya actividad principal está encaminada a la educación superior formando profesionales de tercer y cuarto nivel normada por la legislación ecuatoriana la misma que establece como requisito obligatorio para publicación de trabajos de investigación de grado en su repositorio institucional, hacerlo en formato digital de la presente investigación.

CLÁUSULA TERCERA. - Por el presente contrato, **LA CEDENTE** autoriza a **LA CESIONARIA** a explotar el trabajo de grado en forma exclusiva dentro del territorio de la República del Ecuador.

CLÁUSULA CUARTA. - OBJETO DEL CONTRATO: Por el presente contrato **LA CEDENTE**, transfiere definitivamente a **LA CESIONARIA** y en forma exclusiva los siguientes derechos patrimoniales; pudiendo a partir de la firma del contrato, realizar, autorizar o prohibir:

- a) La reproducción parcial del trabajo de grado fijando en el soporte informático conocido como repositorio institucional que se ajuste a ese fin. b) La publicación del trabajo de grado.
- c) La traducción, adaptación, arreglo u otra transformación del trabajo de grado con fines académicos y de consulta.
- d) La importación al territorio nacional de copias del trabajo de grado hechas sin autorización del titular del derecho por cualquier medio incluyendo mediante transmisión.

CLÁUSULA QUINTA. - El presente contrato se lo realiza a título gratuito por lo que **LA CESIONARIA** no se halla obligada a reconocer pago alguno en igual sentido **LA CEDENTE** declara que no existe obligación pendiente a su favor.

CLÁUSULA SEXTA. - El presente contrato tendrá una duración indefinida, contados a partir de la firma del presente instrumento por ambas partes.

CLÁUSULA SÉPTIMA. - CLÁUSULA DE EXCLUSIVIDAD. - Por medio del presente contrato, se cede en favor de **LA CESIONARIA** el derecho a explotar la obra en forma exclusiva, dentro del marco establecido en la cláusula cuarta, lo que implica que ninguna otra persona incluyendo **LA CEDENTE** podrá utilizarla.

CLÁUSULA OCTAVA. - LICENCIA A FAVOR DE TERCEROS. - LA CESIONARIA podrá licenciar la investigación a terceras personas siempre que cuente con el consentimiento de **LA CEDENTE** en forma escrita.

CLÁUSULA NOVENA. - El incumplimiento de la obligación asumida por las partes en la cláusula cuarta, constituirá causal de resolución del presente contrato. En consecuencia, la resolución se producirá de pleno derecho cuando una de las partes comunique, por carta notarial, a la otra que quiere valerse de esta cláusula.

CLÁUSULA DÉCIMA. - En todo lo no previsto por las partes en el presente contrato, ambas se someten a lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, Código Civil y demás del sistema jurídico que resulten aplicables.

CLÁUSULA UNDÉCIMA. - Las controversias que pudieran suscitarse en torno al presente contrato, serán sometidas a mediación, mediante el Centro de Mediación del Consejo de la Judicatura en la ciudad de Latacunga. La resolución adoptada será definitiva e inapelable, así como de obligatorio cumplimiento y ejecución para las partes y, en su caso, para la sociedad. El costo de tasas judiciales por tal concepto será cubierto por parte del estudiante que lo solicitare.

En señal de conformidad las partes suscriben este documento en dos ejemplares de igual valor y tenor en la ciudad de Latacunga, a los 21 días del mes de julio del 2025.

Blanca Piedad Simba Tipantuña
LA CEDENTE

Dra. Idalia Pacheco Tigselema, Ph.D.
LA CESIONARIA

AVAL DE LA TUTORA DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

En calidad de Tutora del Proyecto de Investigación con el título:

“OBTENCIÓN DE POLVO MICROENCAPSULADO DE ZANAHORIA VARIEDAD CHANTENAY (*DAUCUS carota subsp. sativus*) POR EL MÉTODO DE SECADO POR ASPERSIÓN”, de Lemache Ruíz Silvia Verónica y Simba Tipantuña Blanca Piedad, de la carrera de Agroindustria, considero que el presente trabajo investigativo es merecedor del Aval de aprobación al cumplir las normas, técnicas y formatos previstos, así como también han incorporado las observaciones y recomendaciones propuestas en la Pre defensa.

Latacunga, 21 de julio del 2025



Ing. Nancy Fabiola Moreano Terán, Mg

C.C: 0503352122

DOCENTE TUTORA

AVAL DE APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE TITULACIÓN

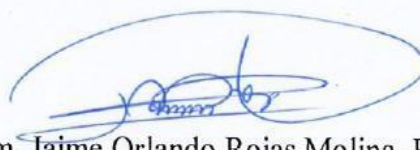
En calidad de Tribunal de Lectores, aprobamos el presente Informe de Investigación de acuerdo a las disposiciones reglamentarias emitidas por la Universidad Técnica de Cotopaxi; y, por la Facultad de Ciencias Agropecuarias y Recursos Naturales; por cuanto, las postulantes: Lemache Ruíz Silvia Verónica y Simba Tipantuña Blanca Piedad, con el título de Proyecto de Investigación: **“OBTENCIÓN DE POLVO MICROENCAPSULADO DE ZANAHORIA CHANTENAY (*Daucus carota subsp. sativus*) POR EL MÉTODO DE SECADO POR ASPERSIÓN”**, ha considerado las recomendaciones emitidas oportunamente y reúne los méritos suficientes para ser sometido al acto de sustentación del trabajo de titulación.

Por lo antes expuesto, se autoriza grabar los archivos correspondientes en un CD, según la normativa institucional.

Latacunga, 21 de julio del 2025



Ing. Franklin Antonio Molina Borja, Ph.D.
C.C: 0501821433
LECTOR 1 (PRESIDENTE)



Quim. Jaime Orlando Rojas Molina, Ph.D.
C.C: 0502645435
LECTOR 2 (MIEMBRO)



Ing. Gabriela Beatriz Arias Palma, Mg.
C.C: 1714592746
LECTOR 3 (MIEMBRO)

AGRADECIMIENTO

Agradezco a la Universidad Técnica de Cotopaxi, a la Facultad de Ciencias Agropecuarias y Recursos Naturales, especialmente a la carrera de Agroindustria, así como a los docentes, por brindar una formación académica de calidad y con enfoque humanista.

Expreso un agradecimiento especial a la ingeniera Nancy Moreano por su paciencia durante el desarrollo de esta investigación, así como por compartir sus conocimientos y experiencia, los cuales fueron fundamentales para la culminación exitosa del trabajo.

Silvia Verónica Lemache Ruíz

AGRADECIMIENTO

En primer lugar, quiero agradecer a Dios por darme salud, vida y haberme guiado hasta el lugar en el que me encuentro. Le doy gracias por brindarme sabiduría, constancia y perseverancia para culminar este proyecto. Asimismo, agradezco a la Universidad Técnica de Cotopaxi de la Facultad de Ciencias Agropecuarias y Recursos Naturales, por su compromiso en la formación integral y por el acompañamiento durante todo el proceso.

De igual manera, expreso mi sincero agradecimiento a los docentes de la carrera de Agroindustria, quienes, con sus enseñanzas y conocimientos nos han sabido guiar y formar no solo como personas profesionales sino también como personas humanistas comprometidas.

Finalmente, quiero manifestar un profundo agradecimiento a nuestra tutora la ingeniera Nancy Moreano, quien ha sido una guía constante y un gran apoyo para que este proyecto se culmine de manera exitosa. Agradecer también a los lectores por orientarnos y ser pacientes a lo largo del proyecto final.

Blanca Piedad Simba Tipantuña

DEDICATORIA

Dedico el presente trabajo con profunda gratitud a mi pareja, David Quinatoa, por su apoyo incondicional, tiempo y esfuerzo hacia mí. Agradezco su constante motivación para superarme y sobrepasar mis límites, así como su paciencia y confianza depositadas para alcanzar esta meta académica. Su presencia, ayuda y apoyo moral han sido fundamentales para culminar este proceso formativo y personal. Por ello, te dedico este logro con todo mi amor y cariño, reconociéndote como la persona más importante en mi vida.

Asimismo, dedico este logro a mis hermanos Carolina, David, Marco y Estefanía Ruíz, quienes me han brindado su confianza y respaldo incondicional durante cada etapa de mi vida y a lo largo de todo este proceso.

Silvia Verónica Lemache Ruíz

DEDICATORIA

Dedico la presente tesis a mi familia, cuyo apoyo constante y consejos incondicionales han sido fundamentales para alcanzar una de las metas más significativas en mi formación académica. En particular, la dedico a mis padres, Francisco Simba y María Tipantuña, quienes con su respaldo moral y sabios consejos me han orientado y motivado a perseverar en este camino.

Asimismo, dedico este trabajo a mis hermanos, quienes, en los momentos de dificultad se constituyeron en un pilar de fortaleza y aliento para continuar adelante. De manera especial, reconozco a mi hermana Alexandra, por su fe inquebrantable en mis capacidades y sus palabras de aliento; a mi hermano Marco, por su confianza en mi desarrollo profesional; a mi hermana María, por sus palabras motivadoras; y a mi cuñado Fernando, por su constante motivación y apoyo.

Finalmente, extendiendo esta dedicatoria a mis amigos y personas cercanas, quienes con su apoyo incondicional y confianza han contribuido significativamente a que este logro sea posible.

Blanca Piedad Simba Tipantuña

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI
FACULTAD DE CIENCIAS Y RECURSOS NATURALES

TÍTULO: “OBTENCIÓN DE POLVO MICROENCAPSULADO DE ZANAHORIA
VARIEDAD CHANTENAY (*Daucus carota subsp. sativus*) POR EL MÉTODO DE SECADO
POR ASPERSIÓN”

Autoras:
Lemache Ruíz Silvia Verónica
Simba Tipantuña Blanca Piedad

RESUMEN

En el presente estudio se desarrolló polvo microencapsulado de zanahoria variedad chantenay (*Daucus carota subsp. sativus*) mediante secado por aspersión. La extracción del jugo se realizó mediante trituración mecánica en una licuadora industrial durante 5 min, utilizando una relación masa/volumen 2:1,5. La caracterización físico y química del jugo arrojó los siguientes resultados: acidez titulable de 0,06 %, pH de 6,90; sólidos solubles 12,00 °Bx, densidad relativa de 1,03 g/cm³ y contenido de betacarotenos de 56,20 µg/g.

Para la microencapsulación se empleó maltodextrina y goma xanthan como materiales encapsulantes. Las pruebas experimentales se diseñaron utilizando el software estadístico Minitab versión 21.1.0, estableciendo 13 corridas experimentales. Se evaluaron como factores la temperatura de aire de entrada (140, 160 y 180 °C) y la velocidad de alimentación (500, 700 y 900 ml/h); las variables respuesta fueron el porcentaje de humedad, el contenido de betacarotenos y el rendimiento del proceso de microencapsulación.

La optimización del modelo experimental determinó que las condiciones ideales del proceso fueron una temperatura de aire de entrada de 140 °C y una velocidad de alimentación de 900 ml/h, obteniéndose una humedad de 3,28 %, un contenido de betacarotenos de 25,77 µg/g, densidad aparente de 0,56 k/cm³, densidad compacta de 0,78 g/cm³, índice de Carr de 28,21, índice de Hausner de 1,40, solubilidad de 91,42 %, higroscopicidad de 20,00 %, capacidad antioxidante de 40,37 µm Trolox/kg y ángulo de reposo de 30,93 rad.

Para la evaluación de la vida útil del polvo microencapsulado de zanahoria, se realizaron pruebas aceleradas durante 30 días para aerobios totales y para coliformes totales de 35 °C, y para mohos y levaduras a temperaturas de 20 °C a 25 °C. Se obtuvieron los siguientes resultados: aerobios totales de 27x10² UFC/g; mohos < 10 UFC/g; levaduras de < 10 UFC/g y coliformes totales de < 10 UFC/g. Para evaluar la vida útil, se aplicó la ecuación de crecimiento microbiano de primer orden, la cual determinó que el tiempo de vida del polvo microencapsulado es de 275 días. Finalmente, el análisis de costos determinó que el precio del polvo microencapsulado de zanahoria, con un peso neto de 50 g es de \$4,40.

Palabras clave: Microencapsulación, zanahoria, betacarotenos, aspersión.

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI

FACULTAD DE CIENCIAS Y RECURSOS NATURALES

THEME: “OBTAINING MICROENCAPSULATED POWDER FROM CHANTENAY VARIETY CARROT (*Daucus carota subsp. sativus*) BY SPRAY DRYING”

Authors:

Lemache Ruíz Silvia Verónica
Simba Tipantuña Blanca Piedad

ABSTRACT

In this study, microencapsulated powder from Chantenay variety carrots (*Daucus carota subsp. sativus*) was developed using spray drying. Juice extraction was performed by mechanical grinding in an industrial blender for 300 seconds, using a mass-to-volume ratio of 2:1.5. The physical and chemical characterization of the juice yielded the following results: titratable acidity of 0.06%, pH of 6.90; soluble solids of 12.00 °Bx, relative density of 1.03 g/cm³, and beta-carotene content of 56.20 µg/g. Maltodextrin and xanthan gum were used as encapsulating materials for microencapsulation. Experimental tests were designed using Minitab statistical software version 21.1.0, establishing 13 experimental runs. The factors evaluated were inlet air temperature (140, 160, and 180 °C) and feed rate (8, 10, and 12 rpm); the response variables were moisture content, beta-carotene content, and microencapsulation yield. The optimization of the experimental model determined that the ideal process conditions were an inlet air temperature of 140 °C and a feed rate of 12 rpm, resulting in a moisture content of 3.28%, a beta-carotene content of 27.78 µg/g, apparent density of 0.56 [k/cm]³, compact density of 0.78 [g/cm]³, Carr index of 28.21, Hausner index of 1.40, solubility of 91.42%, hygroscopicity of 20.00%, antioxidant capacity of 40.37 µm Trolox/kg and angle of repose of 30.93 rad. To assess the shelf life of the microencapsulated carrot powder, accelerated tests were conducted for 30 days for total aerobes and total coliforms at 35°C, and for molds and yeasts at temperatures ranging from 20°C to 25°C. The following results were obtained: total aerobes of 27x 10² CFU/g; molds <10 CFU/g; yeasts <10 CFU/g; and total coliforms <10 CFU/g. To evaluate shelf life, the first-order microbial growth equation was applied, which determined the shelf life of the microencapsulated powder to be 275 days. Finally, the cost analysis showed that the price of the microencapsulated carrot powder, with a net weight of 50 g, was \$4.50.

Keywords: Microencapsulation, carrot, beta-carotene, spray drying.

ÍNDICE DE CONTENIDO

DECLARACIÓN DE AUTORIA.....	ii
CONTRATO DE CESIÓN NO EXCLUSIVA DE DERECHOS DE AUTOR	iii
CONTRATO DE CESIÓN NO EXCLUSIVA DE DERECHOS DE AUTOR	iv
AGRADECIMIENTO.....	ix
AGRADECIMIENTO.....	x
DEDICATORIA.....	xi
DEDICATORIA.....	xi
RESUMEN.....	xiii
ABSTRACT	xiv
1) INFORMACIÓN GENERAL.....	3

2) DISEÑO DEL INFORME	4
2.1 Planteamiento del problema.....	4
2.2 Formulación del problema	4
2.3 Objetivos.....	5
2.3.1 Objetivo General.....	5
2.3.2 Objetivos Específicos	5
2.4 Actividades y tareas en relación con los objetivos planteados	5
2.5 Fundamentación teórica	8
2.5.1 Marco teórico.....	8
2.5.2 Antecedentes.....	8
2.5.3 Origen de la zanahoria	10
2.5.4 Taxonomía	10
2.5.5 Variedades de zanahoria	11
2.5.6 Composición nutricional.....	11
2.5.7 Propiedades de la zanahoria.....	12
2.5.8 Contenido de carotenoides de zanahoria	12
2.5.9 Compuestos fenólicos de la zanahoria.....	13
2.5.10 Compuestos antioxidantes de la zanahoria.....	13
2.5.11 Uso en la alimentación	13
2.5.12 Uso medicinal	14
2.5.13 Métodos de extracción.....	14
2.5.14 Extracción mecánica.....	14
2.5.15 Extracción por expresión	14
2.5.16 Extracción por incisiones.....	14
2.5.17 Extracción por trituración	15
2.5.18 Alimentos funcionales	15
2.5.19 Importancia del desarrollo de alimentos funcionales	15
2.5.20 Microencapsulación.....	15
2.5.21 Aplicación de la microencapsulación	16
2.5.22 Métodos de microencapsulación.....	16
2.5.23 Microencapsulación de secado por aspersion.....	17
2.5.24 Factores de microencapsulación	18
2.5.25 Temperatura del aire de entrada (TAE).....	18

2.5.26	Material encapsulante	18
2.5.27	Velocidad de flujo de alimentación	19
2.5.28	Beneficios de la microencapsulación	19
2.5.29	Aplicaciones de la microencapsulación.....	19
2.5.30	Proceso de secado por aspersion	20
2.5.31	Vida útil	20
2.5.32	Pruebas del tiempo de vida útil.....	21
2.5.33	Microbiología predictiva	21
2.5.34	Pruebas aceleradas	21
2.6	Metodología del proyecto de investigación.....	21
2.6.1	Tipos de investigación	22
2.6.2	Investigación bibliográfica	22
2.6.3	Investigación cuantitativa	22
2.6.4	Investigación descriptiva	22
2.6.5	Investigación experimental.....	22
2.6.6	Métodos de investigación	22
2.6.7	Método inductivo.....	23
2.6.8	Método científico.....	23
2.6.9	Técnicas de investigación	23
2.6.10	Técnica de observación	23
2.7	Materiales, reactivos, materiales y equipos	23
2.7.1	Materia prima	23
2.7.2	Reactivos	24
2.7.3	Materiales	24
2.7.4	Equipos	24
2.8	Metodología de caracterización de la materia prima.....	25
2.8.1	Metodología para optimizar el proceso de microencapsulación	25
2.8.2	Determinación del rendimiento	25
2.8.3	Humedad.....	26
2.8.4	Betacarotenos.....	26
2.8.5	Metodología para los análisis físicos del polvo microencapsulado.....	26
2.8.6	Densidad aparente.....	26
2.8.7	Densidad compacta.....	27
2.8.8	Índice de Carr	27

2.8.9 Índice de Hausner	27
2.8.10 Solubilidad.....	28
2.8.11 Higroscopicidad.....	29
2.8.12 Capacidad antioxidante.....	29
2.8.13 Ángulo de reposo.....	29
2.8.14 Metodología para los análisis microbiológicos	30
2.8.15 Metodología del tiempo de vida útil.....	30
2.8.16 Metodología para la elaboración de polvo microencapsulado de zanahoria	31
2.8.17 Diagrama del proceso	32
2.9 Hipótesis	33
2.9.1 Hipótesis nula	34
2.9.2 Hipótesis alterna	34
2.10 Diseño experimental.....	34
2.10.1 Operacionalización de las variables.....	35
2.11 Corridas experimentales	35
2.12 ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS	36
2.12.1 Caracterización del jugo de zanahoria variedad Chantenay (<i>Daucus carota subsp. sativus</i>)	36
2.13 Optimización del proceso de microencapsulación del jugo de zanahoria del porcentaje de humedad.....	38
2.13.1 Evaluación del modelo del porcentaje de humedad del polvo microencapsulado de zanahoria	40
2.13.2 Modelo codificado para evaluar el porcentaje de humedad del polvo microencapsulado de zanahoria	41
2.13.3 Diseño de superficie respuesta del porcentaje de humedad del polvo microencapsulado de zanahoria	43
2.14 Optimización del proceso de microencapsulación del jugo de zanahoria del contenido de betacarotenos	44
2.14.1 Evaluación del modelo del porcentaje de betacarotenos del polvo microencapsulado de zanahoria	46
2.14.2 Modelo codificado para evaluar el contenido de betacarotenos del polvo microencapsulado de zanahoria	47
2.14.3 Diseño de superficie respuesta del contenido de betacarotenos del polvo microencapsulado de zanahoria	48
2.14.4 Rendimiento del polvo microencapsulado de zanahoria por el método de secado por aspersión	50

2.15 Caracterización del polvo optimizado microencapsulado en función de las propiedades físicas.....	51
2.16 Análisis microbiológico de la mejor corrida experimental del polvo microencapsulado de zanahoria.....	55
2.17 Análisis del tiempo de vida útil del polvo microencapsulado de zanahoria de la mejor corrida experimental.....	57
2.18 Análisis de costo de producción de la mejor corrida durante la obtención del polvo microencapsulado de zanahoria.....	58
3) IMPACTOS DEL PROYECTO.....	61
3.1 Impactos técnicos.....	61
3.2 Impactos ambientales.....	61
3.3 Impactos sociales.....	62
3.4 Impactos económicos.....	62
4) RECURSOS Y PRESUPUESTOS.....	62
5) CONCLUSIONES.....	64
6) RECOMENDACIONES.....	65
7) BIBLIOGRAFÍA.....	66

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Actividades y tareas en relación de los objetivos planteados	6
Tabla 2. Clasificación taxonómica de la zanahoria	10
Tabla 3. Variedades de la zanahoria	10
Tabla 4. Composición nutricional de la zanahoria por 100 g	11
Tabla 5. Métodos de microencapsulación	16
Tabla 6. Característica de los equipos	24
Tabla 7. Metodologías para la caracterización físico y químico de la materia prima ...	24
Tabla 8. Descripción del diseño experimental del polvo microencapsulado de zanahoria	33
Tabla 9. Tipos de variables	34
Tabla 10. Corridas experimentales para el microencapsulado del jugo de zanahoria ...	35
Tabla 11. Características fisicoquímicas del jugo de zanahoria	35
Tabla 12. Optimización del porcentaje de humedad del polvo microencapsulado de	

zanahoria por el método de secado por aspersión	38 Tabla
13. Tabla análisis de varianza del porcentaje de humedad	39
Tabla 14. Parámetro del modelo codificado para el porcentaje de humedad	40 Tabla
15. Optimización del contenido de betacarotenos del polvo microencapsulado de zanahoria por el método de secado por aspersión.	44 Tabla
16. Tabla análisis de varianza del contenido de betacarotenos	45
Tabla 17. Parámetro del modelo codificado para el contenido de betacarotenos	46 Tabla
18. Rendimiento del polvo microencapsulado de zanahoria por el método de secado por aspersión	50
Tabla 19. Caracterizaciones físicas del polvo microencapsulado de zanahoria	51
Tabla 20. Análisis microbiológico de la mejor corrida experimental	55
Tabla 21. Estudio de estabilidad del tiempo acelerado.....	56
Tabla 22. Determinación del costo de producción de la mejor corrida	58
Tabla 23. Costo del material de envasado para la mejor corrida	58
Tabla 24. Total, de costos de producción de la materia prima y del envase	58
Tabla 25. Mano de obra directa	59
Tabla 26. Costos indirectos de fabricación	59
Tabla 27. Costo total de producción	60 Tabla
28. Tabla de costos	62

ÍNDICE DE FIGURA

Figura 1. Proceso de microencapsulación por aspersión	19
Figura 2. Diagrama del proceso de elaboración del polvo microencapsulado de zanahoria	32
Figura 3. Gráfica de superficie respuesta del porcentaje de humedad	42
Figura 4. Gráfica de superficie respuesta del contenido de betacarotenos	48

ÍNDICE DE ECUACIÓN

Ecuación 1: Rendimiento	25
Ecuación 2: Densidad aparente	25
Ecuación 3: Densidad compacta	26
Ecuación 4: Índice de Carr	26

Ecuación 5: índice de Hausner	27
Ecuación 6: Solubilidad	27
Ecuación 7: Higroscopicidad	28
Ecuación 8: Ángulo de reposo	28
Ecuación 9: Crecimiento microbiano de primer orden.....	29

INTRODUCCIÓN

La microencapsulación es una técnica utilizada para encapsular compuestos bioactivos sólidos, líquidos o gaseosos dentro de los materiales encapsulantes, ya sean naturales o sintéticos, formando partículas microscópicas esféricas (Choudhury et al., 2021). Esta técnica permite retener los compuestos activos en el núcleo de las microcápsulas, mejorando su estabilidad, biodisponibilidad y vida útil, además de protegerlos frente a condiciones ambientales adversas como la luz, la oxidación y el calor durante el procesamiento y almacenamiento (Lobel et al., 2024). Según Díaz (2023), en la industria alimentaria, la microencapsulación se emplea para preservar el aroma, color y sabor, enmascarar sabores indeseables y mejorar la textura del alimento.

Durante el proceso de microencapsulación, el material encapsulante actúa como matriz protectora del núcleo, tanto en la encapsulación, como en la manipulación posterior. En este estudio se emplearon polisacáridos naturales, como la maltodextrina y la goma xanthan, materiales que deben soportar el estrés mecánico durante la manipulación, garantizar la estabilidad, poseer buena capacidad emulsionante y gelificante, alta solubilidad, baja viscosidad e higroscopicidad y mejorar la textura (Coimbra et al., 2021).

El secado por aspersión es una de las técnicas más utilizadas en la industria alimentaria debido a su rentabilidad, la aplicación constante de bajas temperaturas, su versatilidad, la capacidad para producir polvos que preservan compuestos termosensibles y el control que permite sobre la biodisponibilidad de los ingredientes bioactivos, como los betacarotenos (Moeller et al., 2018). Además, al ser un proceso continuo, transforma una sustancia líquida en partículas secas mediante la aplicación de temperaturas de aire de entrada entre 140°C a 200 °C. Este método involucra etapas como la atomización de la solución, el secado, la evaporación del agua y la separación del producto (Rodríguez et al., 2022).

Los factores más relevantes a controlar durante el secado por aspersión incluyen la selección adecuada del equipo, la temperatura de aire de entrada (que debe balancear el rendimiento y la preservación de los compuestos activos), la velocidad de alimentación, el control de la humedad del aire para evitar la absorción de humedad por el polvo microencapsulado y la monitorización constante del proceso (Setyaningsih et al., 2020; Ramírez & Sánchez, 2023). Un parámetro

crítico es el porcentaje de humedad del producto final, ya que afecta la estabilidad y la vida útil, por lo tanto, se debe mantener entre 1,5 y 9,55 % (Acevedo et al., 2021).

El rendimiento del proceso depende principalmente de la temperatura de aire de entrada, ya que un aumento favorece la recuperación del producto, pero temperaturas superiores a 190 °C degradan los compuestos bioactivos y reduce el rendimiento del proceso de secado por aspersión (Acevedo et al., 2021). Además, la concentración adecuada de materiales de encapsulación, como la maltodextrina y la goma xanthan, ayuda a reducir la adhesión del polvo a las paredes de la cámara de secado (Nik, et al., 2024).

La microencapsulación del jugo de zanahoria representa una alternativa eficaz para conservar los compuestos bioactivos, como los betacarotenos, permitiendo desarrollar alimentos funcionales, saludable y con mayor tiempo de vida útil, aptos para el consumo directo y la incorporación a diversos productos alimenticios. Además, su implementación en las parroquias rurales del cantón Latacunga favorece el desarrollo agrario, económico y comercial local, promoviendo la obtención de productos que cumplen con altos estándares de calidad y aportan beneficios a la salud de los consumidores.

1) INFORMACIÓN GENERAL

Título de investigación:

“Obtención de polvo microencapsulado de zanahoria variedad Chantenay (*Daucus carota subsp sativus*) por el método de secado por aspersión”.

Fecha de inicio: octubre del 2024

Fecha de finalización: agosto de 2025

Lugar de ejecución:

Provincia: Cotopaxi – Zona 3

Cantón: Latacunga

Parroquia: Eloy Alfaro

Institución: Universidad Técnica de Cotopaxi

Facultad que auspicia: Ciencias Agropecuarias y Recursos Naturales

Carrera que auspicia: Ingeniería Agroindustrial

Equipo de trabajo:

Tutor: Ing. Nancy Fabiola Moreano Terán

Investigadora 1: Silvia Verónica Lemache Ruíz

Investigadora 2: Blanca Piedad Simba Tipantuña

Línea de investigación de la carrera:

Línea: Tecnología industrial, gestión de la producción, riesgos y seguridad laboral.

Sub línea: Optimización de procesos tecnológicos agroindustriales.

2) DISEÑO DEL INFORME

2.1 Planteamiento del problema

El cultivo de zanahoria en Ecuador ha experimentado un crecimiento importante en las últimas décadas. En el año 2018, el país registró una producción anual de 28.130 toneladas, provenientes principalmente de las provincias de Pichincha, Cotopaxi, Tungurahua, Bolívar y Chimborazo (Tobar et al., 2018). Sin embargo, para el año 2021, la producción anual reportada fue de 6,21 toneladas, lo que representa una disminución considerable en la producción respecto a años anteriores. Actualmente, el 94 % de la producción nacional de zanahoria se concentra en las provincias de Chimborazo y Cotopaxi, que son destinados para al consumo humano y animal (Ajila et al., 2024).

La zanahoria es un alimento funcional compuesto por hidratos de carbono, azúcar, vitaminas, minerales y agua. Este vegetal favorece la producción de melanina, inhibe el desarrollo de la enfermedad de Alzheimer y la formación de cataratas (Pereira, 2021). A pesar de su alto contenido de β -caroteno, el consumo de zanahoria en el país es de apenas 1,64 kg por persona al año. Esta baja ingesta se atribuye a las pérdidas durante las etapas de producción, procesamiento y distribución en los canales comerciales, así como en las exigencias del mercado en cuanto al tamaño, forma y apariencia del producto. Además, influyen el limitado conocimiento sobre los procesos de microencapsulación de alimentos y al déficit tecnológico en la transformación de la zanahoria. Todos estos factores generan pérdidas agrícolas anuales de 11,612 toneladas de zanahoria, lo que afecta negativamente al desarrollo agrario y económico del país (Cruz, 2020).

La presente investigación tiene como objetivo microencapsular los compuestos activos presentes en el jugo de zanahoria (*Daucus carota subsp. sativus*), conservar las características organolépticas del alimento y proporcionar una barrera protectora para los compuestos bioactivos sensibles a factores ambientales. Asimismo, busca contribuir a la creación e innovación de alimentos funcionales ricos en antioxidantes, así como incentivar la búsqueda de nuevas aplicaciones del extracto de zanahoria en la industria alimentaria (Tangarife et al., 2021).

2.2 Formulación del problema

¿Cómo influye la temperatura de aire de entrada y la velocidad de alimentación en la optimización del proceso de microencapsulación del polvo de zanahoria variedad Chantenay (*Daucus carota subsp sativus*) mediante el método secado por aspersión?

2.3 Objetivos

2.3.1 Objetivo General

Obtener polvo microencapsulado de zanahoria variedad Chantenay (*Daucus carota subsp. sativus*) por el método de secado por aspersión.

2.3.2 Objetivos Específicos

- Caracterizar el jugo de zanahoria en función de sus propiedades físicas y químicas.
- Optimizar el proceso de microencapsulación del jugo de zanahoria variedad Chantenay (*Daucus carota subsp. sativus*) en función de los factores: temperatura de aire de entrada y la velocidad de alimentación.
- Caracterizar el polvo microencapsulado optimizado en función de las propiedades fisicoquímicas.
- Establecer el tiempo de vida útil de la mejor corrida durante el almacenamiento.
- Realizar el costo de producción de la mejor corrida de polvo microencapsulado de zanahoria.

2.4 Actividades y tareas en relación con los objetivos planteados

En la tabla 1 se muestra se presenta de manera clara el cuadro de actividades propuestas correspondientes al proceso desarrollado durante esta investigación:

Tabla 1 *Actividades y tareas en relación de los objetivos planteados*

OBJETIVOS	ACTIVIDADES	METODOLOGÍAS	RESULTADOS
Caracterizar el jugo de zanahoria en función de sus propiedades físicas y químicas.	Extracción del jugo de zanahoria mediante la aplicación del método de extracción mecánica por trituración. Análisis fisicoquímicos.	Método de extracción mecánica por trituración Análisis fisicoquímico Acidez – (Volumetría) - INEN 750, 2013 pH – (Potenciométrico) - INEN 1842, 2013 Sólidos solubles – (Refractométrico) – INEN 2173, 2013 Densidad – (Densimétrico) – AOAC 945.06 Betacarotenos – (Espectrofotometría) - MO – LSAIA – 31	En la tabla 11 así como en los anexos 4 y 10 se presenta el análisis fisicoquímico de la materia prima.
Optimizar el proceso de microencapsulación del jugo de zanahoria variedad Chantenay (<i>Daucus carota</i> subsp. <i>sativus</i>) en función de los factores: temperatura de aire de entrada y velocidad de alimentación.	Selección de los agentes encapsulantes maltodextrina y goma xanthan. Temperatura de entrada de aire. Velocidad de alimentación.	Diseño experimental de superficie respuesta Humedad (%) – MO-LSAIA-01.01 Betacarotenos – (Espectrofotometría) - MO – LSAIA – 31 Rendimiento (Jácome, 2022)	En las tablas 12, 15 y 18, así como en el anexo 9, se presentan las condiciones óptimas del microencapsulado.
Caracterizar el polvo microencapsulado optimizado en función de las propiedades físicas.	Análisis fisicoquímicos.	Densidad aparente (Enríquez et al., 2023) Densidad compacta (Enríquez et al., 2023) Índice de Carr (Olguin, 2019) Índice de Hausner (Iglesias & Pichucho, 2021) Solubilidad (Quijije & Tigma, 2022) Higroscopicidad (Huaman et al., 2024) Capacidad antioxidante – (Espectrofotómetro) - MIN – 211 Ángulo de reposo (Villena et al., 2023)	Los análisis físicos de la mejor corrida se presentan en la tabla 19 y en el anexo 6.
Establecer el tiempo de vida útil de la mejor corrida durante el almacenamiento.	Análisis microbiológicos y pruebas de estabilidad acelerada.	Aerobios totales - Método AOAC, Ed. 22.2023. 990.12 Mohos - Método AOAC 997.02 Levaduras - Método AOAC 997.02 Coliformes totales – Método AOAC, Ed. 22. 2023 991.14	El análisis del tiempo de vida útil del mejor tratamiento se presenta en las tablas 20 y 21.

Realizar el costo de producción de la mejor corrida del polvo microencapsulado de zanahoria.	Determinar el costo de producción del polvo microencapsulado.	Análisis del costo de producción.	El análisis de los costos de producción de la mejor corrida se presenta en las tablas 23, 24, 25, 26 y 27.
--	---	-----------------------------------	--

2.5 Fundamentación teórica

2.5.1 Marco teórico

2.5.2 Antecedentes

Santos & Santos (2021) evaluaron la microencapsulación del jugo de mora (*Rubus glaucus*) utilizando goma garrofín como encapsulante. En el proceso de atomización, se aplicaron nueve tratamientos con diferentes concentraciones (10 %, 20 % y 30 %) y temperaturas de deshidratación (120 °C, 150 °C y 180 °C). Durante este proceso, se identificó que el tratamiento T3 atomizado a 120 °C y con 30 % de goma garrofín, presentó el mayor rendimiento de encapsulación, con una significancia del 5 %. Por lo tanto, se concluye que la temperatura no tiene efecto significativo sobre el rendimiento de la microencapsulación del jugo de mora atomizada.

Navarrete & Tapia (2022) centraron su estudio en la microencapsulación del extracto de chillangua (*Eryngium foetidum*) mediante el método de secado por aspersión, utilizando las velocidad de flujo de alimentación de 500, 600 y 700 ml/h, y temperaturas de aire de entrada de 130, 140 y 150 °C. Se realizaron 13 corridas para la encapsulación, y se estableció que la velocidad de flujo de alimentación óptima fue de 149,93 ml/h a una temperatura de 500 °C. El microencapsulado obtenido presentó un rendimiento del 92,99 %, humedad del 21,11 % y una eficiencia del 90,80 %.

Pérez (2022) desarrolló la microencapsulación de los compuestos fenólicos de la planta de sunfo (*Clionopodium nubigenum Kunth Kuntze*) mediante secado por aspersión, utilizando velocidades de flujo de alimentación de 500, 600 y 700 ml/h y una temperatura de entrada de aire de 130, 140 y 150 °C. Los resultados experimentales mostraron que al aplicar una velocidad de flujo de 500 ml/h y una temperatura de 150 °C, se obtuvo un rendimiento del 92,14% y una eficiencia de microencapsulación del 91,34 %, lo que indica que la velocidad de flujo es un factor crítico para obtener microcápsulas de calidad.

Jácome (2022) evaluó el proceso de encapsulación mediante el secado por aspersión para conservar el contenido de betacarotenos en zanahoria de rechazo de postcosecha. En el estudio se aplicaron diferentes temperaturas (150, 170 y 190 °C) y se utilizaron materiales de pared como maltodextrina (35, 50 y 65 %) y goma arábiga (65, 50 y 35 %). La investigación se centró

en determinar el tratamiento que mejor preservara los β -carotenos, obteniendo que la combinación del 50 % de maltodextrina y el 50 % de goma arábica a 150 °C permitió conservar el 24,29 % de los β - carotenos.

Chamba & Quispe (2022) indicaron que para la microencapsulación del extracto de orégano (*Origanum vulgare, L.*) mediante secado por aspersión se utilizó una mezcla de goma arábica y maltodextrina como material encapsulante. Emplearon el software Design Expert 8.0.6 para establecer un diseño experimental con nueve corridas, evaluando el flujo de alimentación (500, 600 y 700 ml/h) y la temperatura de entrada de aire (130, 140 y 150 °C). Obtuvieron un encapsulado óptimo con un 3,35 % de humedad, un rendimiento del 93,44 % y una eficacia del 94,89 % al aplicar un flujo de 500 ml/h y una temperatura de 150 °C.

Pacheco & Toapanta (2022) realizaron un estudio sobre la microencapsulación del extracto de eneldo (*Anethum graveolens*) mediante secado por aspersión, utilizando maltodextrina y goma arábica como materiales encapsulantes. El proceso se llevó a cabo con temperaturas de aire de entrada de 130 °C a 150 °C y una velocidad de flujo de alimentación de 500 a 700 ml/h. Para el diseño experimental, emplearon el programa Design Expert 8.0.6. Los resultados indicaron que la temperatura óptima de aire de entrada es 150 °C, con una velocidad de flujo de 500 ml/h, logrando un rendimiento del 89,23 %, una humedad del 2,29 % y una eficiencia del microencapsulado del 88,23 %.

Encalada (2022) se enfocó en la microencapsulación del jugo de mandarina (*Citrus reticulata*) mediante secado por aspersión, utilizando temperaturas de entrada de 125 a 155 °C, concentraciones de maltodextrina del 3 al 9 % y un flujo de alimentación de 3 a 6 ml/h. min^{-1} . Mediante el uso del programa Design-Expert, se concluyó que la temperatura de entrada óptima de 125 °C, una concentración de maltodextrina de 5,07 % y el flujo de alimentación de 3 ml/h. min^{-1} produjeron un rendimiento óptimo del 62,173 %, una actividad antioxidante de 6252,270 $\mu\text{g Trolox}\cdot\text{eq g}^{-1}$ y un contenido de vitamina C de 19,941 $\text{mg}\cdot 100 \text{ g}^{-1}$.

Iglesia & Pichucho (2021) estudiaron la microencapsulación del extracto de cedrón (*Aloysia citrodora*) mediante secado por aspersión (Spray drying), realizando nueve corridas experimentales con maltodextrina y goma arábica. Se evaluaron flujos de alimentación de 500,

600 y 700 ml/h y temperaturas de entrada de 130, 140 y 150 °C. Los resultados indicaron que la temperatura óptima de aire de entrada fue de 150 °C, con una velocidad de flujo de alimentación 500 ml/h, logrando un rendimiento idóneo de 94,70 %, una humedad de 3,845 % y una eficiencia de microencapsulación de 93,9 %.

2.5.3 Origen de la zanahoria

Las primeras zanahorias eran de color púrpura y se cultivaron en Afganistán alrededor del año 3000 a.C. Estas zanahorias púrpuras se difundieron en la antigua Grecia y Roma a través de actividades comerciales (Valle, 2023). En el siglo XVII, en los países bajos los agricultores holandeses emplearon métodos de cruzamiento y selección para desarrollar un cultivo selectivo de zanahorias. Durante este proceso, surgió una mutación genética que dio lugar a una zanahoria carnosa, dulce y de color naranja intenso, la cual se popularizó en Europa y el resto del mundo (Prió, 2024). Actualmente, el cultivo de zanahoria tiene una alta demanda en las provincias de Cotopaxi y Tungurahua debido a su elevado contenido de carotenos y vitaminas (Estrada et al., 2022; Maldonado, 2023).

2.5.4 Taxonomía

La zanahoria es una raíz pivotante, napiforme, bianual y de color naranja intenso. Pertenece al reino Plantae y se clasifica como una planta con flores comestibles. Durante el primer año, desarrolla una roseta de hojas lineales, de color verde, con pecíolos alargados y una raíz pequeña, redonda o cilíndrica. En el segundo año, se forma un tallo que puede alcanzar hasta 1,5 metros de altura, del cual emergen flores blancas y semillas ovoides de color amarillo grisáceo. En esta etapa, la raíz tiene a crecer entre 1 a 10 cm y adquieren un tono naranja característico (Pereira, 2021). A continuación, en la tabla 2 se presenta la clasificación taxonómica de la zanahoria.

Tabla 2 *Clasificación taxonómica de la zanahoria*

Reino	Plantae
Nombre común	Zanahoria
Nombre científico	<i>Daucus carota sativus</i>
Género	<i>Daucus</i>
Reino	Plantae
Subreino	Embriofitas
División	Angiosperma
Phylum	Traqueofitas
Orden	Solanales
Clase	Angiosperma
Subclase	Dicotiledónea

Fuente: (Meza, 2020)

2.5.5 Variedades de zanahoria

Cada variedad de zanahoria presenta diferencias en el tamaño, forma, ápice radicular y uso. El aprovechamiento de la raíz depende de las características fisicoquímicas y morfológicas (Saavedra & Kehr, 2021). En la provincia de Cotopaxi, las variedades de zanahoria presentes son Nantes, Danvers, Chantenay y Emperador como se muestra en la tabla 3.

Tabla 3 *Variedades de la zanahoria*

Variedad	Tamaño	Forma	Ápice radicular	Uso
Nantes	20 cm	Cilíndrica	Obtusa	Alimentario e industrial
Danvers	20 cm	Cónica	Aguda	Alimentario e industrial
Chantenay	15 cm	Cónica	Aguda	Alimentario e industrial
Emperador	30 cm	Cónica	Aguda	Alimentario

Fuente: (Saavedra & Kehr, 2021)

2.5.6 Composición nutricional

La zanahoria fresca es un alimento rico en vitaminas y minerales, los cuales son importantes para la salud ocular, digestiva y cardiovascular. A continuación, en la tabla 4 se presenta su composición nutricional por cada 100 g.

Tabla 4 *Composición nutricional de la zanahoria por 100 g*

Minerales	Valor
------------------	--------------

Calorías (Kcal)	40,00
Proteínas (g)	0,90
Grasas totales (g)	0,24
Hidratos de carbono (g)	9,58
Ca (g)	0,34
Hierro (mg)	0,40
Fósforo (mg)	25,00
Sodio (mg)	40,00
Potasio (mg)	240,00
Magnesio (mg)	9,00
Cobre (mg)	0,02
Zinc (mg)	0,20
Vitamina C (mg)	6,00

Fuente: (Motegaonkar et al., 2024)

2.5.7 Propiedades de la zanahoria

La zanahoria contiene un alto nivel de carotenoides, compuestos fenólicos y poliacetilenos, así como ácido ascórbico y tocoferol (alfa-tocoferol) (Rafiq et al., 2022). Estos compuestos bioactivos actúan como fuentes antioxidantes que confieren propiedades medicinales al organismo, tales como la prevención del envejecimiento prematuro de la piel, la reducción de arrugas, la regulación de la circulación sanguínea, el fortalecimiento del sistema inmunitario y la inhibición del proceso oxidativo del organismo (Espinoza et al., 2021).

2.5.8 Contenido de carotenoides de zanahoria

Los carotenoides son insolubles en agua y solubles en solventes orgánicos, además son susceptibles a isomerizaciones (cis – trans), hidrogenación y ciclación en presencia de luz, calor, metales, ácidos y oxígeno (Ortega & Suquitana, 2023). “La zanahoria se caracteriza por contener el 75 % de carotenos relacionados con la vitamina A, de los cuales el 23 % corresponde a β -caroteno y el 1,9 % a α -caroteno, representado principalmente por la luteína” (Rafiq et al., 2022). Los carotenos se utilizan en la industria alimentaria como colorantes naturales y en el ámbito farmacéutico como moduladores del sistema inmunitario para reducir el riesgo de sufrir enfermedades degenerativas y problemas cardiovasculares (Miekus et al., 2019).

2.5.9 Compuestos fenólicos de la zanahoria

Los compuestos fenólicos actúan como antioxidantes y agentes mejoradores del color, aroma y sabor. La zanahoria contiene ácidos hidroxicinámicos, representados en un 42,2 % por ácido clorogénico, que a su vez constituyen el 61,8 % del total de compuestos fenólicos juntos con otros derivados como el ácido dicafeoilquínicos y el ácido clorogénico (Rafiq et al., 2022). Estos compuestos están asociados con una menor incidencia de enfermedades crónicas no transmisibles, tales como la diabetes mellitus y enfermedades cardiovasculares en la población adulta (Cereceres et al., 2019).

2.5.10 Compuestos antioxidantes de la zanahoria

Los compuestos antioxidantes son un grupo de sustancias naturales, tanto exógenas como endógenas, presentes en alimentos de origen vegetal y están asociados con los compuestos fenólicos (Zofia et al., 2020). La zanahoria contiene sustancias antioxidantes como polifenoles, flavonoides, ácido ascórbico y carotenos, que inhiben las reacciones oxidativas causadas por los radicales libres en las células humanas. Estos compuestos ejerce actividades anticancerígenas, regulan el sistema inmunitario y reducen la inflamación en el organismo (Espinoza et al., 2021).

2.5.11 Uso en la alimentación

La zanahoria es un alimento funcional compuesto de entre el 86 al 90 % de agua. Además, constituye una fuente de vitaminas, entre las que destacan la vitamina A (derivada del betacaroteno) importantes para el sistema inmunitario, y las vitaminas del complejo B (tiamina y riboflavina) esenciales para las funciones cerebrales y vitamina E que son relevantes para la estabilidad de las membranas celulares (Mandrigh et al., 2023). Gracias a su riqueza en compuestos activos y su versatilidad, es empleada en la elaboración de salteados, ensaladas, tartas, galletas, bebidas, muffins, cremas, conservas, jaleas, mermeladas, helados, purés y snacks (Rivera, 2022). Sin embargo, no todas las partes de la planta son consumidas; las flores, tallos y hojas se utilizan como forraje para los animales.

2.5.12 Uso medicinal

La zanahoria posee propiedades terapéuticas que contribuyen a la protección de la salud cardiovascular, así como a la prevención del estreñimiento y de la anemia ferropénica, así como a la prevención de problemas visuales como cataratas, conjuntivitis y resequedad ocular (Norberto, 2020). Además favorece la salud mental y la producción de colágeno, mantiene la elasticidad de la piel, combate los radicales libres que producen la pigmentación, ofrece protección solar, favorece la cicatrización del tejido cutáneo, cura las quemaduras solares, previene el aumento del colesterol, regula la presión arterial y protege las células contra agentes como virus y bacterias (Rafiq et al., 2022).

2.5.13 Métodos de extracción

2.5.14 Extracción mecánica

En el método de extracción mecánica se emplean equipos industriales que aplican movimientos abrasivos o de presión sobre el alimento vegetal para obtener fluidos con principios activos disueltos en forma de zumo (Carbajal et al., 2022). La extracción de jugos se realiza mediante técnicas como la expresión, la incisión y la trituración.

2.5.15 Extracción por expresión

El método de extracción por expresión consiste en comprimir el material vegetal utilizando prensas de tornillo o despulpadoras de frutas, las cuales aplican fuerzas externas, principalmente presión, para obtener zumos y aceites de cortezas (Jara, 2023).

2.5.16 Extracción por incisiones

El método se aplica para extraer el principio activo exudado (resina y miel) de la materia vegetal mediante la incisión de las capas externas de la plantas vivas (Piñero et al., 2021).

2.5.17 Extracción por trituración

El método de extracción por trituración se realiza utilizando agua en una licuadora de alimentos, los cuales generan fuerzas centrífugas mediante cuchillas giratorias que corta, tritura y separa el jugo de la pulpa de las verduras y raíces (Luzón et al., 2021).

2.5.18 Alimentos funcionales

Los alimentos de origen vegetal y animal, como frutas, verduras, raíces, carnes, cereales y plantas aromáticas, se catalogan como alimentos funcionales debido a su contenido de compuestos bioactivos (Bansal et al., 2023). Los alimentos funcionales son productos naturales y procesados de consumo habitual en la dieta convencional, que proporcionan efectos nutricionales intrínsecos al organismo y mejoran el estado de salud del consumidor (Rico & Martín, 2023). La zanahoria forma parte de estos componentes funcionales naturales gracias a su contenido de carotenos, que contribuyen a prevenir la aparición de cáncer y las alteraciones visuales (Zapata, 2020).

2.5.19 Importancia del desarrollo de alimentos funcionales

Los alimentos funcionales otorgan múltiples beneficios al organismo: combaten la malnutrición, fortalecen el sistema inmunológico, promueven la innovación alimentaria, fomentan una alimentación saludable y sostenible, previenen ciertos tipos de patologías e impulsan el desarrollo económico (Rico & Martín, 2023). Tal como señala Villagrán et al., (2022) estos alimentos contribuyen a reducir enfermedades tales como la obesidad, trastornos gastrointestinales, cardiovasculares, neurodegenerativas, mentales, afecciones cognitivas y problemas del sistema metabólico.

2.5.20 Microencapsulación

La microencapsulación es un proceso que consiste en encapsular alimentos sólidos, líquidos y gaseosos como material activo con una película continua que forma una microcápsula con un tamaño entre 0.1 y 1000 μm (Furuta & Neoh, 2021). El tamaño de las microcápsulas depende del método de encapsulación y de la naturaleza del material de la pared. Los materiales de

encapsulación están compuestos por proteínas y polisacáridos, tales como carboximetilcelulosa, quitosano, pectina, maltodextrina, goma arábica y goma xantana (Calderón & Ponce, 2022).

La técnica de microencapsulación permite conservar la funcionalidad del alimento, retener las moléculas activas, controlar la liberación y solubilidad del material activo, además de facilitar su transporte, manipulación y almacenamiento. Asimismo enmascarar sabores desagradables, retrasa la evaporación de sustancias volátiles y protege los compuestos bioactivos frente a factores extrínsecos como la temperatura, la luz, la humedad y el oxígeno (Ozkan et al., 2019; Calderón & Ponce, 2022).

2.5.21 Aplicación de la microencapsulación

La microencapsulación se utiliza en la industria alimentaria para el desarrollo de alimentos funcionales y enriquecidos con ingredientes bioactivos, como fitonutrientes, probióticos, prebióticos, enzimas y antioxidantes, que proporcionan beneficios para la salud (Arenas et al., 2020). Además, esta técnica se utiliza ampliamente en productos alimenticios como jugos, mermeladas, compotas, chocolates, pastas, leches, manteca vegetal, granos enriquecidos como el arroz, productos de panadería como galletas de masa quebrada, así como en productos cárnicos y avícolas (Marcial et al., 2019).

2.5.22 Métodos de microencapsulación

La implementación del método de microencapsulación depende de las características fisicoquímicas del principio activo, de la vía de administración de la formulación y de las propiedades del material de recubrimiento (Brignone et al., 2020). Los métodos de microencapsulación se clasifican en químicos, fisicoquímicos y físicos, como se muestra en la tabla 5.

Tabla 5 *Métodos de microencapsulación*

Método	Polímero	Factor	Tamaño de partícula
Métodos químicos			
Emulsión	Quitosano Alginato Liposomas	Interfase agua-aceite Agitación	0.5 - 1 000 (μm)
Policondensación interfacial	-	Interfase de la emulsión	0.5 - 1 000 (μm)
Métodos físico-químicos			
Coacervación	Goma tragacanto Goma arábica	Aglomeración	5 - 1 000
Evaporación con solvente	Ácido poliláctico	Aglomeración	0.5 - 1 000 (μm)
Precipitación	Goma Características	gelana químicas	5 - 1 000 (μm)
Métodos físicos			
Secado por aspersión	Alginato Inulina Maltodextrina	Temperatura	1 – 500 (μm)
Liofilización	Celulosa Maltodextrinas	Sonicación	20 - 500 (μm)
Encapsulación electrostática	Alginato Pectina	Capacitancia	20 - 500 μm

Fuente: (Ozkan et al., 2019; Coelho et al., 2019; Zheng & McClements, 2020)

2.5.23 Microencapsulación de secado por aspersión

Según Fu et al., (2020) la técnica de secado por aspersión es empleada en la industria alimentaria para convertir los alimentos líquidos en productos sólidos que poseen micropartículas de entre 3 y 800 μm . El proceso de microencapsulación se basa en la pulverización de un producto en estado sólido, líquido o gaseoso mediante una corriente de aire caliente, con el fin de obtener un polvo fino que conserve los compuestos bioactivos. La microencapsulación comprende las etapas de alimentación, atomización, secado del material y eliminación del disolvente (Rodríguez & López, 2021).

2.5.24 Factores de microencapsulación

Durante el proceso de microencapsulación por secado por aspersión, se deben considerar la temperatura de aire de entrada, el material encapsulante y la velocidad de flujo de alimentación, ya que son variables que influyen en la calidad del alimento, el rendimiento y la eficiencia del proceso (Setyaningsih et al., 2020).

2.5.25 Temperatura del aire de entrada (TAE)

La temperatura de aire de entrada influye significativamente en la eficiencia del proceso. Un aumento en la temperatura incrementa la retención de polvo y el rendimiento del proceso, sin embargo, temperaturas excesivamente altas pueden causar la rotura de las membranas, provocando la liberación y degradación del núcleo encapsulado. Por otro lado, una temperatura más baja ayuda a evitar la degradación de los compuestos activos del alimento encapsulado (Ramírez & Sánchez, 2023).

2.5.26 Material encapsulante

El uso de materiales encapsulantes depende de las características del núcleo y de las propiedades que se desee conferir al producto (Gammone et al., 2019). El material encapsulante debe emulsificar el principio activo, estabilizar la emulsión, sellar la estructura del material encapsulado, inactivar el núcleo durante las etapas de producción y almacenamiento, y proteger los compuestos bioactivos del alimento frente a las condiciones ambientales (Geranpour et al., 2020).

Los materiales utilizados para la microencapsulación de alimentos son biopolímeros derivados de carbohidratos, grasas, proteínas animales y vegetales. En la industria alimentaria, se emplea maltodextrina que es un polisacárido parcialmente hidrolizado de almidón, debido a su capacidad para mejorar el color, aroma, sabor y solubilidad de los productos encapsulados (Xiao et al., 2022). La goma xanthan es un polisacárido natural utilizado como espesante, estabilizador, gelificante y texturizante en las industrias alimentaria, farmacéutica y cosmética (Nsengiyumva & Alexandridis, 2022).

2.5.27 Velocidad de flujo de alimentación

La velocidad de flujo de alimentación influye en el porcentaje de humedad del microencapsulado (Geranpour et al., 2020). Un aumento en la velocidad de alimentación reduce el tiempo de contacto de las gotas asperjadas con la temperatura de la cámara de secado, lo que provoca una menor evaporación. Además, disminuye bruscamente el tamaño de las partículas, acelera la formación de una costra en la pared del tanque de secado, reduce la cantidad del producto encapsulante y favorece la colisión entre las partículas (Rodríguez et al., 2022).

2.5.28 Beneficios de la microencapsulación

- **Protección del compuesto:** Proporciona la encapsulación del alimento mediante el recubrimiento del componente activo, evita alteraciones en las características físicas de la sustancia frente a las condiciones ambientales (Ribeiro et al., 2020).
- **Versatilidad de aplicación:** La técnica de secado por aspersion se emplea para obtener harinas de frutas y verduras, suplementos alimenticios y aditivos a partir de sustancias líquidas (López et al., 2024)
- **Control de las propiedades del producto:** Permite ajustar diferentes parámetros operativos, como la temperatura de aire de entrada y de salida, así como la velocidad de alimentación, con el fin de obtener un polvo microencapsulado con características físicas y químicas adecuadas (López et al., 2024).
- **Preservar la calidad:** La microencapsulación por secado por aspersion permite emplear temperaturas bajas para minimizar la degradación de los componentes bioactivos y conservar las propiedades funcionales (Malamatari et al., 2020).

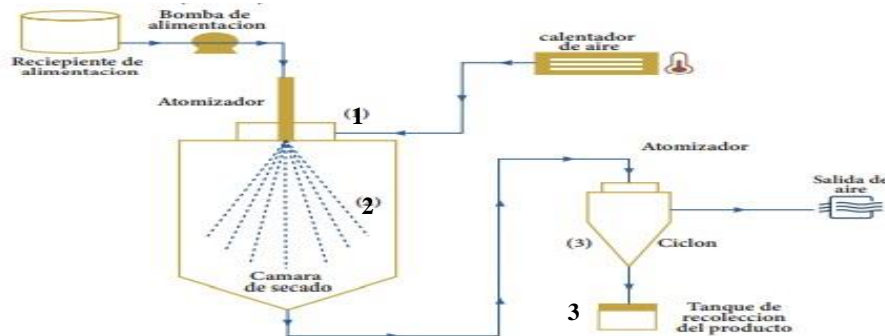
2.5.29 Aplicaciones de la microencapsulación

La microencapsulación se emplea en diversas industrias, incluyendo la farmacéutica, médica, textil, alimentaria, agroquímica, metalúrgica, ambiental, cosmética y biotecnológica. Esta técnica permite proteger y mejorar las características organolépticas, así como prolongar la vida

útil de los alimentos (Vélez et al., 2024). En la industria alimentaria, la microencapsulación se utiliza para la elaboración de polvos derivados de los productos lácteos, aceites, frutas, vegetales, hortalizas y extractos de plantas aromáticas (Garzón et al., 2023).

2.5.30 Proceso de secado por aspersión.

Figura 1 Proceso de microencapsulación por aspersión



Fuente: (Malamatari et al., 2020)

En la figura 1 se muestra el mecanismo de microencapsulación por secado por aspersión, que comienza con la fase de atomización mediante una bomba de presión que transfiere la solución líquida polimérica a través de un atomizador de dos boquillas giratorias (Malamatari et al., 2020). A continuación, en la fase de conversión de gota a partícula, la solución entra en contacto con la corriente de aire cuya temperatura de entrada oscila entre 150 a 200 °C, mientras que la temperatura de salida varía entre 50 y 90 °C. Esto permite que la solución polimérica alcance un equilibrio entre la presión del vapor y la temperatura del tanque, lo que provoca la transferencia del agua del producto al aire. Como resultado, se forma un material microencapsulado sólido que pasa por un ciclón para separar las partículas encapsuladas del aire húmedo (Rodríguez et al., 2022).

2.5.31 Vida útil

La determinación de la vida útil de los productos alimenticios es fundamental para garantizar su inocuidad y calidad durante un periodo específico, en el cual deben conservar sus características fisicoquímicas, sensoriales y microbiológicas tanto en el almacenamiento como en la comercialización (Isuiza et al., 2018; Díaz, 2022). La duración de la vida útil depende de diversos factores endógenos, como el contenido de nutrientes, el pH y la actividad de agua, así

como de factores externos, entre los que se incluyen las condiciones climatológicas, como la humedad relativa, la temperatura, los gases de la atmósfera y el tiempo de almacenamiento (Rodríguez, 2022).

2.5.32 Pruebas del tiempo de vida útil

2.5.33 Microbiología predictiva

El análisis de vida útil en microbiología predictiva se basa en la respuesta del crecimiento, supervivencia e inactivación de los microorganismos bajo condiciones ambientales controladas en el laboratorio, utilizando modelos matemáticos y datos experimentales para predecir su comportamiento ante cambios en dichas condiciones (Palacios, 2022). La microbiología predictiva surge como un área emergente cuantitativa destinada a la determinación del tiempo de vida útil de los productos alimenticios mediante parámetros intrínsecos y extrínsecos que afecten el crecimiento, desarrollo e inactivación microbiológica (López, 2021).

2.5.34 Pruebas aceleradas

Las pruebas aceleradas se emplean para determinar la vida útil a largo plazo de un alimento mediante ensayos de laboratorio, en los cuales la muestra es sometida a condiciones ambientales desfavorables controladas constantemente durante un intervalo de tiempo determinado. Durante este periodo, se evalúa el deterioro de sus características a través de análisis fisicoquímicos y microbiológicos (Bailón et al., 2018). En el ámbito industrial, estas pruebas permiten evaluar la confiabilidad del producto, acelerar el desarrollo de nuevos productos y determinar las condiciones óptimas de uso, así como el área adecuada para su almacenamiento (Méndez et al., 2015).

2.6 Metodología del proyecto de investigación

2.6.1 Tipos de investigación

2.6.2 Investigación bibliográfica

La investigación tuvo como objetivo recopilar información verídica sobre las generalidades, composición nutricional, contenido de compuestos bioactivos, usos y beneficios de la materia prima, así como los métodos de extracción y caracterización del jugo de zanahoria, la microencapsulación por secado por aspersión y los materiales encapsulantes. Para ello, se extraen datos de libros, revistas científicas, tesis, sitios web y documentales.

2.6.3 Investigación cuantitativa

La presente investigación es cuantitativa, ya que se empleó un análisis matemático y estadístico durante la recopilación de datos numéricos relacionados con las variables dependientes e independientes en el proceso de microencapsulación. Para ello se utilizó un registro que permitió corroborar las hipótesis planteadas, optimizar el proceso y evaluar el rendimiento del polvo microencapsulado de zanahoria (López, 2021).

2.6.4 Investigación descriptiva

La investigación descriptiva permitió recopilar las características de la población estudiada mediante la descripción de la técnica de extracción del jugo de zanahoria, los factores que influyen en el proceso de microencapsulación, la metodología experimental de superficie respuesta y la discusión bibliográfica de los resultados obtenidos.

2.6.5 Investigación experimental

La investigación experimental permitió recopilar datos durante la obtención de polvo microencapsulado de zanahoria utilizando el equipo spray drying modelo LPG. Para ello, se realizaron 13 corridas experimentales, controlando la temperatura de aire de entrada y la velocidad de alimentación.

2.6.6 Métodos de investigación

2.6.7 Método inductivo

El método inductivo se aplicó en la hipótesis nula como en la hipótesis alterna mediante la observación y la recopilación de información relacionada con las características fisicoquímicas que debe cumplir el extracto acuoso de la zanahoria y el polvo microencapsulado optimizado conforme a la normativa INEN. Además, la información obtenida durante el proceso de secado por aspersión se resume en un diagrama de flujo que describe la obtención del polvo microencapsulado de zanahoria.

2.6.8 Método científico

La metodología científica aplicada durante el proceso de microencapsulación del jugo de zanahoria incluye enfoques bibliográficos, cuantitativos, descriptivos y experimentales. Mismos que permitieron la obtención de nuevos conocimientos relacionados con la producción de polvo microencapsulado de zanahoria variedad Chantenay (*Daucus carota subsp sativus*).

2.6.9 Técnicas de investigación

2.6.10 Técnica de observación

Es un método de investigación descriptiva, sistemático y controlado que permite registrar y analizar el comportamiento de fenómenos en un entorno definido (Medina et al., 2023). La técnica de observación facilita la identificación de los factores del proceso que influyen en la microencapsulación del jugo de zanahoria.

2.7 Materiales, reactivos, materiales y equipos

Entre los materiales, reactivos y equipos empleados en el proyecto se encuentran los siguientes:

2.7.1 Materia prima

24 kg de zanahoria variedad Chantenay (*Daucus carota subsp sativus*)

2.7.2 Reactivos

- Agua destilada
- Hidróxido de sodio al 0,1 N
- Fenolftaleína al 0,1
- Alcohol etílico al 96 %
- Ácido peracético
- Maltodextrina
- Goma Xanthan
- Ácido cítrico

2.7.3 Materiales

- Piseta de laboratorio plástica
- Vasos de precipitación
- Probeta de vidrio
- Platos de aluminio para balanza
- Matraz Erlenmeyer
- Bureta
- Pipeta volumétrica
- Recipientes de acero inoxidable
- Fundas stand up/ Doypack con zipper
- Espátulas de silicona
- Cernidor de acero inoxidable

2.7.4 Equipos

Los equipos utilizados durante la obtención de polvo microencapsulado de zanahoria se muestran a continuación en la tabla 6.

Tabla 6

Característica de los equipos

Equipo	Modelo	Capacidad
Balanza analítica	ELICROM 220 x 0,1	300,00 g
Balanza digital	Tcs – 150 – ZE21	2,20 lb

Balanza de pie	TRÚMAX	30,00 kg
pHmetro	GERMANY	10,00 – 14,00
Refractómetro digital	MA871	0 a 85 % Bx
Spray Dryer	LPG – 5	500,00 kg
Licuadora industrial	EHI – 002	25,00 L
Quemador industrial	5 in	-
Selladora manual	Fr - 400	230 °C

2.8 Metodología de caracterización de la materia prima

La caracterización de la materia prima se realizó por duplicado en los laboratorios de la carrera de Agroindustria de la Universidad Técnica de Cotopaxi, siguiendo la metodología establecida por la normativa ecuatoriana NTE INEN, así como por otros investigadores, tal como se muestra en la tabla 7.

Tabla 7 Metodologías para la caracterización físico y químico de la materia prima

Parámetro	Metodología
Acidez titulable	NTE 750, 2013
pH	NTE 1842, 2013
Sólidos solubles	NTE 2173, 2013
Densidad relativa	AOAC 945.06
Betacarotenos	MO – LSAIA – 31

Elaborador por: Lemache & Simba, 2025

2.8.1 Metodología para optimizar el proceso de microencapsulación

2.8.2 Determinación del rendimiento

La determinación del rendimiento del polvo microencapsulado de zanahoria se establece la relación entre el polvo obtenido y el volumen del jugo de entrada. El cálculo se realizó empleando la ecuación propuesta por Jácome (2022).

$$\% \text{ Rendimiento} = \frac{P_p}{P_j} \times 100 \quad \text{Ecuación 1}$$

Donde:

R_p : rendimiento del polvo

P_p : peso del volumen obtenido

P_j : peso del jugo

2.8.3 Humedad

El análisis de la humedad se realizó en el laboratorio Iniap ubicado en la ciudad de Quito, tomando como referencia el método MO-LSAIA-01.01.

2.8.4 Betacarotenos

Para la determinación del contenido de betacarotenos se toma como referencia el método MO – LSAIA – 31 de espectrofotometría a una longitud de onda de 450 nm y utilizando una curva estándar de β – caroteno.

2.8.5 Metodología para los análisis físicos del polvo microencapsulado

2.8.6 Densidad aparente

Para la determinar de la densidad aparente se empleó la metodología descrita por Enriquez et al, (2023). Se pesaron 50 g de la muestra de polvo utilizando una balanza analítica, y posteriormente se depositaron en una probeta de 100 ml sin compactar. Finalmente, se determinó la relación entre la masa y el volumen de la muestra aplicando la ecuación correspondiente.

$$\delta a = \frac{m}{v}$$

Ecuación 2

Donde:

δa : densidad aparente m:

masa de la muestra (g) V:

volumen de la muestra (ml)

2.8.7 Densidad compacta

Para determinar la densidad compacta, se empleó la metodología dispuesta por Enriquez et al, (2023). Se pesaron 50 g de la muestra de polvo utilizando una balanza analítica, los cuales se depositaron en una probeta de 100 ml y se compactaron con una varilla. A continuación, se registró el volumen final (Vf) y se aplicó la siguiente ecuación.

$$\delta c = \frac{m}{v} \quad \text{Ecuación 3}$$

Donde:

δc : Densidad compacta

m: masa del polvo (g) v:

volumen ocupado (ml)

2.8.8 Índice de Carr

La densidad aparente o densidad de empaque está determinada por la forma de las partículas, la fluidez y el peso del polvo microencapsulado por unidad de volumen, factores que afectan los procesos de empaque y transporte. Por otro lado, la densidad compacta corresponde al volumen que ocupa el alimento después de ser sometida a fuerzas externas, y se mide en función del grado de compactación (Ding et al., 2020). Para la determinación del índice de Carr se utilizó la metodología propuesta por Rojas (2019), aplicando la siguiente ecuación.

$$Ic = \frac{\delta c - \delta a}{\delta c} * 100 \quad \text{Ecuación 4}$$

Donde:

Ic: índice de Carr

δc : densidad compacta

δa : densidad aparente

2.8.9 Índice de Hausner

La determinación del índice de Hausner se realizó aplicando la ecuación 6 y considerando el volumen aparente y el volumen comprimido del material empleado. Este índice es un indicador clave para evaluar el comportamiento de la materia durante la producción y el almacenamiento, por lo tanto, un índice de Hausner bajo garantiza la calidad del producto final (Iglesias & Pichucho, 2021).

$$IH = \frac{\delta c}{\delta a} \quad \text{Ecuación 5}$$

Donde:

Ic: índice de Hausner

δc : densidad compacta

δa : densidad aparente

2.8.10 Solubilidad

La solubilidad se determinó siguiendo la metodología de Chamba & Quispe (2022). Se mezcló 1 gramo de muestra de polvo en 100 ml de agua destilada durante 5 min utilizando un agitador. Luego, la solución se transfirió a un tubo de ensayo, donde se agitó manualmente hasta que la muestra se solubiliza. Posteriormente, los tubos se centrifugaron a 5260 rpm durante 5 min. Finalmente, se tomaron 21 ml de la disolución y se colocaron en una cápsula, la cual se secó en un horno a 105 °C hasta alcanzar un peso constante, para luego aplicar la ecuación correspondiente.

$$S = \frac{ws * 4}{wm} * 100 \quad \text{Ecuación 6}$$

Donde:

S: solubilidad

ws: peso sólido (g)

wm: peso de la muestra (ml)

2.8.11 Higroscopicidad

La higroscopicidad se determinó pesando $0,20 \pm 0,01$ g de micropartículas, las cuales se colocaron en una desecadora con solución saturada de NaCl (HR: 75%) durante 2 h. Finalizado el proceso se aplicó la ecuación propuesta por Huaman et al, (2024).

$$H = \frac{wf-wi}{wi} * 100 \quad \text{Ecuación 7}$$

Donde:

H: higroscopicidad (%)

wf: peso final (g)

wi: peso inicial (g)

2.8.12 Capacidad antioxidante

Para determinar la capacidad antioxidante, se tomó como referencia el parámetro TEAC (Trolox Equivalent Antioxidant Capacity) mediante el ensayo DPPH, siguiendo la metodología del laboratorio INIAP, que emplea el método interno MIN – 211 basado en espectrofotómetro.

2.8.13 Ángulo de reposo

Para determinar el ángulo de reposo del polvo microencapsulado de zanahoria, se pesaron 500 g de la muestra en polvo. Durante el proceso se utilizó un embudo de 25 cm de altura, desde el cual se dejó caer la harina de manera natural sobre una superficie horizontal. Al finalizar, se midió la altura del cono formado con una cinta métrica, y para determinar el diámetro del cono se aplicó la ecuación propuesta por Villena et al, (2023).

$$\theta = \tan^{-1}\left(\frac{h}{r}\right) \quad \text{Ecuación 8}$$

Donde:

θ : ángulo de reposo (°)

\tan^{-1} : tangente h :

altura del cono (cm)

r : radio del cono (cm)

2.8.14 Metodología para los análisis microbiológicos

El análisis microbiológico se realizó en el laboratorio EcuChemLab, ubicado en la ciudad de Quito, y comprendió de los siguientes parámetros:

- **Recuento de aerobios totales:** Método Petrifilm AOAC, Ed. 22.2023. 990.12
- **Mohos y levaduras:** Bajo el método Petrifilm AOAC, 997.02
- **Coliformes totales:** Bajo el método Petrifilm AOAC, Ed. 22.2023. 991.14

2.8.15 Metodología del tiempo de vida útil

El análisis del tiempo de vida mediante la prueba de estabilidad acelerada considera aspectos microbiológicos y de estabilidad bajo condiciones aceleradas. Por lo tanto, se aplica la ecuación 9 del crecimiento microbiano de primer orden con el fin de evaluar la viabilidad del producto y garantizar la calidad del alimento.

$$N_t = N_0 e^{kt}$$

Ecuación 9

Donde:

N_t : Concentración del tiempo

N_0 : Concentración inicial K: tasa

de crecimiento microbiano t:

Tiempo

2.8.16 Metodología para la elaboración de polvo microencapsulado de zanahoria

Recepción de la materia prima: Se recibieron 2,20 kg de zanahoria variedad Chantenay (*Daucus carota subsp sativus*) en óptimas condiciones, provenientes de la asociación de productores de Lasso, ubicada en la parroquia de Tanicuchi.

Selección: Se verificó la calidad de la zanahoria mediante el descarte de las materias que presentaban daños físicos o contaminación microbiológica.

Lavado: La materia prima pesada fue lavada con abundante agua, frotando constantemente con un cepillo suave para eliminar la suciedad de la superficie.

Sanitización: En la etapa, se empleó el método de inmersión en una disolución de agua y ácido peracético durante 40 s. Transcurrido este tiempo, las zanahorias se retiraron de la disolución y se enjuagaron con abundante agua para eliminar los residuos del ácido.

Corte: La zanahoria sanitizada fue cortada en rodajas y sumergida en una disolución de agua con ácido cítrico.

Pesaje: Durante el proceso de pesaje se utilizó una balanza de pie. Se colocó un balde de acero inoxidable de capacidad de 10 L, se taró y se pesó la zanahoria desinfectada y cortada en rodajas.

Escaldado: El escaldado se realizó a 80 °C durante 5 min. Al finalizar, se aplicó un choque térmico para evitar la sobrecocción.

Extracción: Para la obtención del jugo, se utilizaron 2 kg de zanahoria y 1,5 L de agua, los cuales fueron triturados durante 5 min en una licuadora industrial.

Filtrado: El jugo de zanahoria se filtró utilizando una olla y un cernidor de acero inoxidable de 200 mesh para obtener un jugo limpio, homogéneo y con partículas finas. Posteriormente, se midieron los sólidos solubles según la normativa ecuatoriana NTE INEN-ISO 2173, 2013 y el pH conforme a la norma NTE INEN-ISO 1842, 2013.

Estandarizado: La estandarización se realizó con 700 g de pulpa de zanahoria, al 20 % de maltodextrina, 0.2 % de goma xanthan y 0,1 % de ácido cítrico.

Homogeneización: La mezcla de las materias encapsuladas (maltodextrina y goma xanthan) con el jugo se homogeneizó durante 3 min en la licuadora industrial.

Pasteurización: La dilución obtenida fue sometida a pasteurización a una temperatura de 60 a 65 °C durante 30 min, mezclando constantemente con una espátula de silicona plana para evitar que se quemara.

Atomización del jugo: Se colocaron 1 L de solución con polímeros en una jarra de plástico. Se configuró la temperatura de aire del Spray Dryer y la velocidad de alimentación de la bomba de presión a 900 ml/h. La manguera de transferencia se introdujo en el recipiente de alimentación para convertir la solución en partículas.

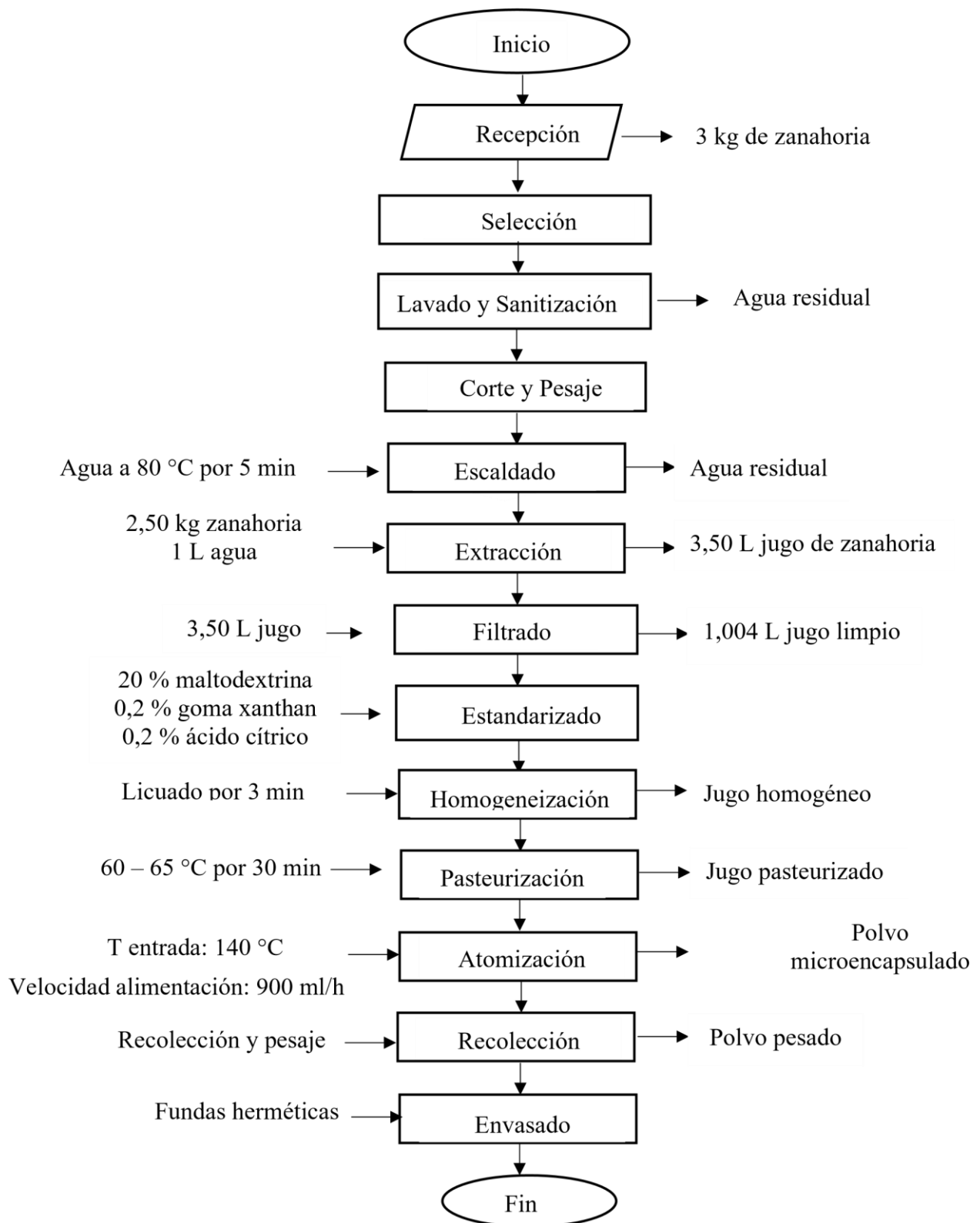
Recolección: Finalizado el proceso de atomización, se recogió el producto de los recolectores de polvo del equipo. Posteriormente, se pesó el polvo utilizando una balanza digital.

Envasado: El polvo microencapsulado de zanahoria obtenido fue envasado en fundas herméticas metalizadas con zipper y en fundas plásticas transparentes.

Almacenado: El producto final fue etiquetado y almacenado en un lugar fresco y seco, a temperatura ambiente.

2.8.17 Diagrama del proceso

Figura 2. *Diagrama del proceso de elaboración del polvo microencapsulado de zanahoria*



Elaborado por: *Lemache & Simba, 2025*

2.9 Hipótesis

2.9.1 Hipótesis nula

Ho: La temperatura de aire de entrada y la velocidad de alimentación no influyen en el porcentaje de humedad, el contenido de betacarotenos y el rendimiento del polvo obtenido durante el proceso microencapsulación del zumo de zanahoria (*Daucus carota subsp. sativus*).

2.9.2 Hipótesis alterna

H1: La temperatura de aire de entrada y la velocidad de alimentación no influyen en el porcentaje de humedad, el contenido de betacarotenos y el rendimiento del polvo obtenido durante el proceso microencapsulación del zumo de zanahoria (*Daucus carota subsp. sativus*).

2.10 Diseño experimental

En el presente trabajo de investigación se realizó un análisis detallado de las propiedades fisicoquímicas y microbiológicas del polvo microencapsulado de zanahoria variedad Chantenay (*Daucus carota subsp sativus*), obtenido mediante la metodología de secado por aspersión. Para ello, se empleó el programa Minitab Statistical Software, con el cual se implementó el diseño experimental de superficie respuesta. En la tabla 8 se presenta la descripción del diseño experimental tomando en cuenta las variables de estudio como la temperatura de aire de entrada y la velocidad de alimentación.

Tabla 8 Descripción del diseño experimental del polvo microencapsulado de zanahoria

Detalle	Unidad	Tipo	Valor		
			Mínimo	Intermedio	Máximo
Temperatura de aire de entrada	° C	Numérica	140	160	180
Velocidad de alimentación	ml/h	Numérica	500	700	900

Elaborador por: Lemache & Simba, 2025

Durante la investigación se presentan las variables de estudio dependientes e independientes, los indicadores de análisis y las mediciones realizadas en la mejor corrida experimental, tal como se muestra en la tabla 9.

2.10.1 Operacionalización de las variables

Tabla 9 *Tipos de variables*

Variable dependiente	Variables independientes	Indicadores	Mediciones
Propiedades fisicoquímicas y microbiológicas del polvo microencapsulado de zanahoria	Temperatura de aire de entrada	Análisis fisicoquímicos	Humedad Betacarotenos Rendimiento
	Velocidad de alimentación	Análisis físicos	Densidad aparente Densidad compacta Índice de Carr Índice de Hausner Solubilidad Higroscopicidad Capacidad antioxidante Ángulo de reposo
		Análisis microbiológicos	Aerobios totales Mohos Levaduras Coliformes totales

Elaborador por: *Lemache & Simba, 2025*

2.11 Corridas experimentales

En la tabla 10 se presentan 13 corridas experimentales y las combinaciones de las variables de estudio (temperatura de aire de entrada y la velocidad de alimentación) que permiten la optimización del proceso de secado por aspersion.

Tabla 10 *Corridas experimentales para el microencapsulado del jugo de zanahoria*

Corrida	Temperatura de aire de entrada (°C)	Velocidad de alimentación (ml/h)
1	140	500
2	140	700

3	140	900
4	160	500
5	160	700
6	160	900
7	180	500
8	180	700
9	180	900
10	140	700
11	160	500
12	180	900
13	140	900

Elaborador por: Lemache & Simba, 2025

2.12 ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

2.12.1 Caracterización del jugo de zanahoria variedad Chantenay (*Daucus carota subsp. sativus*)

A continuación, se presenta la caracterización fisicoquímica de la materia prima empleada en la investigación: zanahoria variedad Chantenay (*Daucus carota subsp. sativus*). En este apartado se detallan las propiedades de la materia prima, las cuales servirán como referencia para la obtención del polvo microencapsulado. Los resultados correspondientes se describen en la tabla 11.

Tabla 11 Características fisicoquímicas del jugo de zanahoria

Parámetros	Resultados
Acidez titulable (% v/v de ácido málico)	0,06
pH	6,90
Sólidos solubles (° Bx)	12,00
Densidad relativa (g/m ³)	1,03
Betacarotenos (µg/g)	56,20

Elaborador por: Lemache & Simba, 2025

La zanahoria variedad Chantenay (*Daucus carota subsp. sativus*) se distingue de otras variedades por sus características de color, tamaño y forma. La raíz presenta un color naranja intenso, mide aproximadamente 15 cm de longitud y tiene una forma cónica con ápice radicular agudo (Saavedra & Kehr, 2021). Esta planta bianual se cultiva en climas fríos, con suelos arenosos y arcillosos bien drenados, a temperaturas entre 15 y 25 °C y en altitudes que oscilan entre 2200 - 3200 msnm (Pereira, 2021).

En la caracterización de la materia prima el porcentaje de acidez titulable fue de 0,06 % de ácido málico, este valor se compara con el estudio de Arora et al, (2019) titulado “Physicochemical and bioactive compounds in carrot and beetroot juice”, donde se establece que el rango de acidez titulable para el jugo de zanahoria es $0,06 \pm 0,03$ % (v/v de ácido málico). Se determina que los valores obtenidos se encuentran dentro del rango reportado en la literatura.

El porcentaje de ácido málico varía en alimentos de acuerdo al tipo de raíz, la madurez, las condiciones ambientales de cultivo y procesamiento. Según Rodríguez (2023) la determinación de ácido málico en los alimentos permite evaluar la frescura y los cambios en las características organolépticas. Así mismo la medición de la acidez titulable durante la microencapsulación permite determinar la estabilidad de las condiciones de higiene, la calidad y la conservación del producto (Jumbo et al., 2024).

El pH obtenido en la materia prima fue de 6,90. Este valor se compara con el estudio realizado por Ortiz (2020) en su investigación titulada “El desarrollo tecnológico de la extracción de zanahoria (*Daucus carota L.*) pasteurizado y determinación de la vida útil”, donde establece que el pH del jugo de zanahoria oscila alrededor de $6,5 \pm 0,5$. Según estos parámetros bibliográficos de referencia, el valor del pH obtenido en esta investigación se encuentra dentro de los rangos óptimos.

La variación del pH depende de factores como el proceso de producción, la conservación, el tiempo y la temperatura de almacenamiento del alimento. Pereira (2021) señala que la determinación del pH en la industria alimentaria permite medir de forma cuantitativa el grado de acidez. Además el pH influye en la estabilidad y conservación de los compuestos bioactivos del jugo de zanahoria durante el proceso de microencapsulación y almacenamiento (Bell et al., 2016).

Los resultados obtenidos para los sólidos solubles totales (SST) fueron de 12 ° Bx. Este valor se comparado con la investigación de Jácome (2022) titulada “Evaluación del proceso de encapsulación mediante secado por aspersion para la conservación de betacarotenos contenidos en la zanahoria de rechazo” en la que se reporta que los (SST) oscila entre 6 a 12 °Bx. Por lo tanto, el contenido de SST se encuentra dentro de los rangos establecidos según la bibliografía. El contenido de sólidos solubles totales en las raíces varía según el índice de madurez, el

contenido de azúcar y la calidad de las características organolépticas. La determinación de °Bx permite estandarizar el contenido de sólidos solubles totales de la materia prima mediante la incorporación del material encapsulante, como la maltodextrina (Tangarife et al., 2021).

La densidad del jugo de zanahoria determinada fue de $1,03 \text{ g/cm}^3$. Este resultado se compara con la investigación de Jahanbakhshi et al., (2018) sobre la “Determinación de propiedades físicas y mecánicas de zanahoria”, reporta valores que oscila entre $1,00 \text{ g/cm}^3$ y $1,17 \text{ g/cm}^3$. De acuerdo con estos datos de referencia, la densidad absoluta obtenida en el presente estudio se encuentra dentro de los rangos establecidos. Es importante mencionar que la variación de la densidad es directamente proporcional a la composición del jugo, la presencia de sólidos disueltos, la temperatura y el contenido de materia seca en el volumen de la muestra (Janiszewska et al., 2023). La medición de la densidad del jugo permite controlar la concentración de sólidos y optimizar el proceso de atomización y microencapsulación (Degreef, 2023).

El contenido de betacarotenos fue de $56,20 \mu\text{g/g}$. Este valor se compara con la investigación de Purkiewicz et al., (2020) titulado “Impacto del método de extracción y las diferentes variedades de zanahoria en perfil de carotenoides, el contenido fenólico total y las propiedades antioxidantes de los jugos” en la cual se reporta un contenido de betacarotenos es de $30 \mu\text{g/g}$ a $60 \mu\text{g/g}$. En comparación con los resultados analizados, se establece que el contenido de betacarotenos presentes en este estudio cumple con el rango óptimo.

Además, el contenido de betacarotenos depende de factores como el estado de madurez, las operaciones de procesamiento, la presencia de oxígeno, la temperatura y la intensidad de luz durante el almacenamiento del alimento. La microencapsulación permite conservar los compuestos bioactivos y evitar la degradación frente a las condiciones ambientales. La microencapsulación del contenido de betacarotenos presentes en el jugo de zanahoria mejora su estabilidad, eficiencia, biodisponibilidad y la liberación controlada (Rezagholidade et al., 2024).

2.13 Optimización del proceso de microencapsulación del jugo de zanahoria del porcentaje de humedad

La optimización permite determinar las condiciones adecuadas del proceso de producción que minimicen errores y maximicen la eficiencia del estudio, con el fin de alcanzar resultados estadísticamente significativos en la variable respuesta (Marcial & Méndez, 2022). En el presente trabajo se combinaron factores como la temperatura de aire de entrada ($^{\circ}\text{C}$) y la velocidad de alimentación (ml/h), con el objetivo de identificar las condiciones idóneas para evaluar la mejor corrida experimental en función del porcentaje de humedad. En la tabla 12 se presenta la optimización del porcentaje de humedad del polvo microencapsulado de zanahoria, obtenido mediante el método de secado por aspersión utilizando el diseño de superficie respuesta.

Tabla 12 Optimización del porcentaje de humedad del polvo microencapsulado de zanahoria por el método de secado por aspersión

Corrida	Temperatura de aire de entrada ($^{\circ}\text{C}$)	Velocidad de alimentación (ml/h)	Humedad (%)
1	140	500	3,44
2	140	700	3,38
3	140	900	3,28
4	160	500	3,18
5	160	700	2,89
6	160	900	2,61
7	180	500	2,98
8	180	700	2,41
9	180	900	2,35
10	140	700	3,38
11	160	500	3,18
12	180	900	2,61
13	140	900	3,28

Elaborador por: Lemache & Simba, 2025

Se realizaron 13 corridas experimentales, tomando como variable respuesta el porcentaje de humedad, representado por la combinación de los factores temperatura de aire de entrada (X_T°) y velocidad de alimentación (X_v). En la corrida experimental nueve se registró un contenido mínimo de humedad de 2,35%, se atribuye al aumento de la temperatura de aire de entrada, lo cual favorece la disminución de la humedad; un contenido bajo de humedad evita la aglomeración entre las partículas y mejora la dispersión del polvo (Tangarife et al., 2021). Mientras que en las corridas dos y diez se obtuvo un 3,38 % de humedad, se debe al aumento de la velocidad de alimentación, que provoca una transferencia de calor más lenta hacia la masa,

dificultando el secado y ocasionando partículas más húmedas (Shishir & Chen, 2017). Además, los polvos microencapsulados que superen el 9,5 % de humedad tienden a aglomerarse, presentan baja fluidez y sufren degradación de los compuestos activos.

2.13.1 Evaluación del modelo del porcentaje de humedad del polvo microencapsulado de zanahoria

En la tabla 13 se presentan los resultados del análisis de varianza (ANOVA) realizado para evaluar el efecto de la variable 1 (temperatura de aire de entrada), la variable 2 (velocidad de alimentación) y su interacción sobre el porcentaje de humedad del polvo microencapsulado de zanahoria. Este análisis permite examinar la interacción entre las variables y su influencia en los distintos tratamientos de estudio.

Tabla 13 *Tabla análisis de varianza del porcentaje de humedad*

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust	Valor F	Valor p
Modelo	5	1,34	0,26	66,81	*
Lineal	2	1,27	0,63	158,81	*
Temperatura	1	0,95	0,95	238,89	*
Velocidad	1	0,31	0,31	78,74	*
Temp*Veloc	1	0,05	0,05	13,75	*
Error	7	0,02	0,01		
Falta de ajuste	3	0,02	0,01	*	*
Total		1,36			
CV	$\frac{12}{4,42}$				

GL: grados de libertad; **SC:** suma de cuadrados; **MC:** cuadrado medios; **F:** calculado; **Valor P:** probabilidad significativa inferior a 0,005*; **CV:** Coeficiente de variación

Elaborador por: *Lemache & Simba, 2025*

Con base al análisis de varianza (ANOVA), se observa que el porcentaje de humedad en el polvo microencapsulado de zanahoria obtenido por el método de secado por aspersion está significativamente influenciado por la variable temperatura que presenta un valor de p de 0,001*, inferior al nivel de significancia de 0,005, lo que indica una diferencia significativa y altamente confiable entre los tratamientos. La variable velocidad de alimentación también mostró un valor de p de 0,001* evidenciando un efecto significativo. Además, la interacción entre ambas variables (temperatura de aire de entrada * velocidad de alimentación) presentó un valor de p de 0,004*, lo que confirma que la interacción entre ambas variables es significativa y confiable. Por lo tanto, se acepta la hipótesis alterna (H_1) y se rechaza la hipótesis nula (H_0).

2.13.2 Modelo codificado para evaluar el porcentaje de humedad del polvo microencapsulado de zanahoria

El modelo codificado, relacionado con los factores temperatura de aire de entrada (XT°) y velocidad de alimentación (XV del método de secado por aspersión, describe los efectos de estas variables sobre el porcentaje de humedad del microencapsulado. Los factores estimados, junto con los indicadores estadísticos R^2 ajustado y el valor F del modelo, permiten evaluar la eficiencia y significancia del modelo estadístico. En la tabla 13 se presenta el modelo codificado correspondiente a la evaluación del porcentaje de humedad, obtenido mediante el diseño superficie respuesta.

Tabla 14 *Parámetro del modelo codificado para el porcentaje de humedad*

Indicador	Humedad
Intercepto	4,59
XT°	-0,01
XV	0,22
$XT^\circ * XV$	- *
R^2	0,97
R^2 ajustado	0,96
F modelo	66,81
F falta de ajuste	*

XT° : temperatura de aire de entrada; XV : velocidad de alimentación; **Símbolo ***: $< 0,005$

Elaborador por: *Lemache & Simba, 2025*

Se presentan los parámetros del modelo codificado para el porcentaje de humedad del polvo microencapsulado de zanahoria. El coeficiente correspondiente a la variable temperatura de aire de entrada (XT°) es -0,0116; al ser un coeficiente negativo, indica que el aumento de temperatura de aire de entrada reduce el porcentaje de humedad de manera significativa ($p \leq 0,001$). Por cada unidad de temperatura que incrementa, el porcentaje de humedad disminuye 0,0116 unidades. Por otro lado, el coeficiente de la variable velocidad de alimentación que la variable (XV) es 0,222; este valor positivo no es estadísticamente significativo, lo que sugiere que el aumento de la velocidad tiende a incrementar el porcentaje de humedad, aunque con menor impacto que la temperatura.

La interacción entre las variables XT° y XV fue de $-0,002937$. Este valor negativo indica que el aumento tanto de la temperatura de aire de entrada como de la velocidad de alimentación permite reducir el porcentaje de humedad del polvo microencapsulado de zanahoria.

El valor de R^2 de $0,97$ indica que el modelo se ajusta adecuadamente y posee una buena capacidad predictiva para explicar la existencia del 97% de la variabilidad del porcentaje de humedad en todas las corridas experimentales. Asimismo, el valor de R^2 ajustado de $0,96$, al ser cercano a 1 , confirma que el modelo presenta una adecuada interacción entre las variables dependientes e independientes de estudio y confirma que el modelo se ajusta a los datos por lo tanto es confiable. Finalmente, el valor F falta de ajuste obtenido es significativo ($0,001^*$), lo que indica que el modelo ofrece un excelente ajuste de los datos experimentales.

El modelo codificado señala que la temperatura de aire de entrada y la velocidad de alimentación de secado por aspersión tiene un efecto negativo sobre el porcentaje de humedad del polvo microencapsulado de zanahoria. Se establece que el aumento de temperatura provoca la disminución de la humedad, al contrario, el incremento de la velocidad de alimentación eleva la humedad.

La humedad obtenida en el polvo microencapsulado de zanahoria fue de $3,28\%$. Estos resultado se comparan con el estudio de Medina et al., (2019) en la “Microencapsulación de ácido gálico mediante secado por aspersión con mucílago de aloe vera (*aloe barbadensis miller*), en el cual se reportaron valores de humedad entre $1,5\%$ y $9,55\%$.

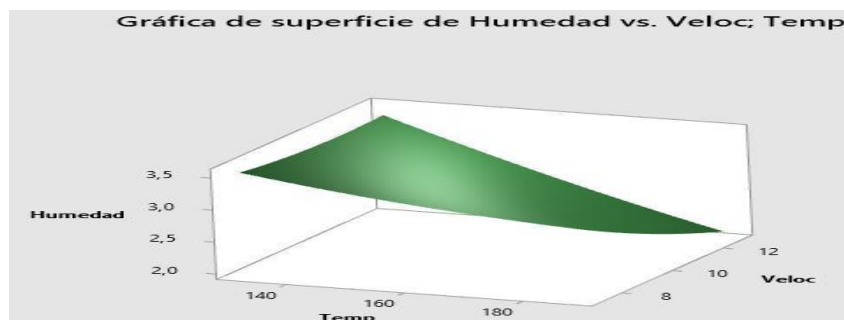
De este modo, se observa que el porcentaje de humedad obtenido en el presente trabajo se encuentra dentro del rango reportado en la literatura. Según Phing & Saleena (2022), la variación en el porcentaje de humedad es proporcional a la temperatura de aire de entrada; es decir, un aumento en la temperatura del aire de entrada disminuye el porcentaje de humedad del polvo microencapsulado, debido a una transferencia de calor más eficiente del aire hacia el producto. Por lo tanto, la determinación del porcentaje de humedad es fundamental para establecer el tiempo de vida útil del alimento microencapsulado, ya que un mayor porcentaje de humedad favorece el crecimiento microbiano y la degradación de los compuestos activos.

2.13.3 Diseño de superficie respuesta del porcentaje de humedad del polvo microencapsulado de zanahoria

El modelo de superficie respuesta demuestra que la temperatura de aire de entrada y la velocidad de alimentación en el secado por aspersión influyen en el porcentaje de humedad del polvo microencapsulado de zanahoria. Este diseño permite visualizar la interacción entre ambas variables independientes y su impacto en el porcentaje de humedad, proporcionando información clave para determinar las condiciones óptimas del proceso de microencapsulación y así mantener un nivel adecuado de humedad en el producto.

En la figura 3 se presenta una representación gráfica del porcentaje de humedad en función de las variables estudiadas: el eje X representa la temperatura de aire de entrada ($^{\circ}\text{C}$), el eje Y la velocidad de alimentación (ml/h) y el eje Z la variable respuesta, es el porcentaje de humedad (%).

Figura 3 Gráfica de superficie respuesta del porcentaje de humedad



Elaborador por: Lemache & Simba, 2025

Se observa que a medida que se aumenta la temperatura de aire de entrada y la velocidad de alimentación durante el proceso de microencapsulación, disminuye el porcentaje de humedad. Este resultado concuerda con el coeficiente negativo encontrado en el modelo codificado, que indica que el incremento de temperatura favorece la reducción del porcentaje de humedad. Por otro lado, el aumento de la velocidad provoca que las partículas no entren en contacto adecuado con el calor de la pared de alimentación, lo que favorece un mayor aumento del porcentaje de humedad (Phing & Saleena, 2022).

Una vez analizado el modelo de superficie de respuesta, se identificaron las condiciones óptimas para el porcentaje de humedad del polvo microencapsulado de zanahoria por el método de secado por aspersión a una temperatura de aire de entrada de 140 °C y una velocidad de alimentación de 900 ml/h. Bajo estas condiciones, se obtuvo un polvo con un porcentaje de humedad ajustada de 3,55 % y una deseabilidad compuesta de 1. Esto indica que, en el proceso experimental propuesto, se logró un porcentaje de humedad dentro del rango óptimo para polvos obtenidos mediante secado por aspersión, que varía entre 1,50 y 9,55 %.

Durante el proceso de secado por aspersión, el aumento de la temperatura del aire de entrada provoca que el jugo de zanahoria atomizado entre en contacto directo con el aire caliente, lo que incrementa la transferencia de energía térmica hacia las gotas del jugo con los materiales encapsulantes dispersos en la cámara de secado. Este fenómeno genera una evaporación mayor de agua contenida en el alimento, resultando en la reducción del porcentaje de humedad del polvo microencapsulado (Tay et al., 2021; Yang et al., 2023).

Es importante que los polvos microencapsulados tengan un porcentaje de humedad inferior al 10 % para prolongar su vida útil y reducir los costos de transporte. En la industria alimentaria, los polvos microencapsulados obtenidos de jugos de verduras, frutas y raíces con buenas propiedades nutritivas son fundamentales para fortificar y mejorar el valor nutricional y sensorial de alimentos como mermeladas, bebidas, lácteos, pastas, bebidas instantáneas, suplementos y harinas (Baldelli et al., 2023).

2.14 Optimización del proceso de microencapsulación del jugo de zanahoria del contenido de betacarotenos

La presencia de betacarotenos en el polvo microencapsulado de zanahoria es fundamental, ya que estos compuestos funcionales son precursores de vitamina A y poseen propiedades antioxidantes, antiinflamatorias y anticancerígenas. Además, actúan como moduladores genéticos (Abd et al., 2023). Su incorporación en los alimentos no solo aporta color, sino también efectos bioactivos beneficiosos para la salud. Según Nurhasanah & Munarso (2024) los betacarotenos están formados por 2 anillos betaiónicos, son compuestos termosensibles. Estas características los hacen susceptibles a la oxidación y degradación cuando la zanahoria es

sometida a altas temperaturas y a la exposición de la luz durante los procesos de producción (Chen et al., 2023).

En la tabla 15 se presenta la optimización del proceso de microencapsulación durante el proceso de secado por aspersión, enfocándose en el contenido de betacarotenos. Se realizaron 13 corridas experimentales, tomando como variable respuesta el contenido de betacarotenos, representado por la combinación de los factores temperatura de aire de entrada (XT°) y la velocidad de alimentación (XV).

Tabla 15 Optimización del contenido de betacarotenos del polvo microencapsulado de zanahoria por el método de secado por aspersión.

Corrida	Temperatura de aire de entrada ($^\circ\text{C}$)	Velocidad de alimentación (ml/h)	deBetacarotenos ($\mu\text{g/g}$)
1	140	500	21,01
2	140	700	22,91
3	140	900	25,77
4	160	500	19,08
5	160	700	22,75
6	160	900	26,41
7	180	500	20,75
8	180	700	22,59
9	180	900	25,75
10	140	700	22,91
11	160	500	19,08
12	180	900	25,76
13	140	900	27,78

Elaborador por: Lemache & Simba, 2025

En la corrida experimental once se registró un contenido de betacarotenos de 19,08 $\mu\text{g/g}$, lo cual se atribuye a las altas temperaturas que favorecen la degradación de los betacarotenos durante el procesamiento y almacenamiento del producto. En contraste, en la corrida experimental 13 se obtuvo un contenido de 27,78 $\mu\text{g/g}$, resultando asociado a la temperatura de 140 $^\circ\text{C}$, que permitió preservar y conservar mejor el contenido de betacaroteno. De esta manera, se obtuvo un polvo microencapsulado de zanahoria estable, con mejores propiedades nutricionales y mayor preservación del compuesto activo. Estos resultados indican que el proceso fue adecuado, ya que protegió eficazmente los betacarotenos presentes en el jugo de zanahoria (Ríos & Gil, 2021).

2.14.1 Evaluación del modelo del porcentaje de betacarotenos del polvo microencapsulado de zanahoria

Los resultados del análisis de varianza (ANOVA) permitieron evaluar el efecto de la temperatura de aire de entrada, la velocidad de alimentación y su interacción durante el proceso de microencapsulación por secado por aspersión sobre el contenido de betacarotenos, tal como se muestra en la tabla 16. El ANOVA facilitó la evaluación de la influencia de estos factores operativos en las diferentes corridas experimentales.

Tabla 16 *Tabla análisis de varianza del contenido de betacarotenos*

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Modelo	5	50,94	10,12	101,44	*
Lineal	2	50,68	25,34	252,29	*
Temperatura	1	0,06	0,06	0,65	*
Velocidad	1	50,61	50,62	503,94	*
Temp*Veloc	1	0,01	0,01	0,14	*
Error	7	0,70	0,10		
Falta de ajuste	3	0,70	0,23	*	*
Total	12	51,65			
CV		3,22			

GL: grados de libertad; **SC:** suma de cuadrados; **CM:** cuadrado medios; **F:** calculado; **Valor P:** probabilidad significativa inferior a 0,005*; **CV:** Coeficiente de variación

Elaborador por: *Lemache & Simba, 2025*

El contenido de betacarotenos en el polvo microencapsulado de zanahoria, obtenido mediante el secado por aspersión, está significativamente influenciado por la temperatura de aire de entrada, presentando un valor de p de 0,001*, inferior al nivel de significancia establecido de 0,005. De igual forma, la velocidad de alimentación afecta de manera significativa el proceso presentando un valor de p de 0,001*. La interacción entre ambas variables mostró una diferencia significativa y confiable entre las corridas, con un valor de p de 0,003. El análisis de varianza (ANOVA) indica que el modelo se ajusta adecuadamente a los datos experimentales, lo que permite aceptar la hipótesis alterna (H_1) y rechazar la hipótesis nula (H_0).

2.14.2 Modelo codificado para evaluar el contenido de betacarotenos del polvo microencapsulado de zanahoria

El modelo codificado para evaluar el contenido de betacarotenos relaciona los factores temperatura de aire de entrada y velocidad de alimentación empleados durante la obtención de polvo microencapsulado de zanahoria mediante secado por aspersion, como se muestra en la tabla 17. Tanto los factores de estudio como los indicadores estadísticos (R^2 , R^2 ajustado y el F falta de ajuste) permiten evaluar la eficiencia y significancia del modelo codificado.

Tabla 17 *Parámetro del modelo codificado para el contenido de betacarotenos*

Indicador	Betacaroteno
Intercepto	26,00
XT°	-0,13
XV	0,30
XT° *XV	*
R ²	98,64
R ² ajustado	97,67
F modelo	101,44
F falta de ajuste	*

XT°: temperatura de aire de entrada; XV: velocidad de alimentación; Símbolo *: < 0,005

Elaborador por: Lemache & Simba, 2025

Se presentan los parámetros del modelo codificado para el contenido de betacarotenos en el polvo microencapsulado de zanahoria variedad Chantenay (*Daucus carota subsp sativus*). Para la temperatura de aire de entrada (XT°), se obtuvo un coeficiente de -0,134; al ser negativo, indica que el aumento de la temperatura tiende a degradar el contenido de betacarotenos obteniendo un valor de significancia $p \leq 0,001^*$. Por lo tanto, por cada unidad que incrementa la temperatura, el contenido de betacarotenos se reduce 0,134 unidades. En contraste, el coeficiente correspondiente a la velocidad de alimentación (XV) es 0,308; este valor positivo indica que la velocidad influye significativamente en el contenido de betacarotenos. Es decir, mientras más lenta sea la velocidad de alimentación, los betacarotenos presentes en el jugo de zanahoria se degradan con mayor facilidad, mientras que un aumento en la velocidad permite preservar mejor el contenido de betacarotenos y hace que el proceso de encapsulación sea más rápido y eficiente.

La interacción entre las variables XT° y XV fue de 0,0015. Este valor positivo indica que la temperatura de aire de entrada como de la velocidad de alimentación están directamente relacionadas y, por lo tanto, contribuyen al aumento del contenido de betacarotenos en la solución de alimentación de zanahoria.

El valor de R^2 de 0,9864 indica que el modelo tiene un buen ajuste y muestra eficientemente la variabilidad del contenido de betacarotenos en todos los datos experimentales. El R^2 ajustado fue 0,9767 y al ser cercano a 1, confirma la calidad del ajuste óptimo del modelo. Sin embargo, el valor de F para falta de ajuste es altamente significativo ($p = 0,001^*$), lo que indica que el modelo ajustado es idóneo.

El modelo codificado señala que la temperatura de aire de entrada y la velocidad de alimentación durante el secado por aspersión tienen un efecto inversamente proporcional sobre el contenido de betacarotenos. Por lo tanto, el aumento de estos factores facilita la degradación del contenido de betacarotenos.

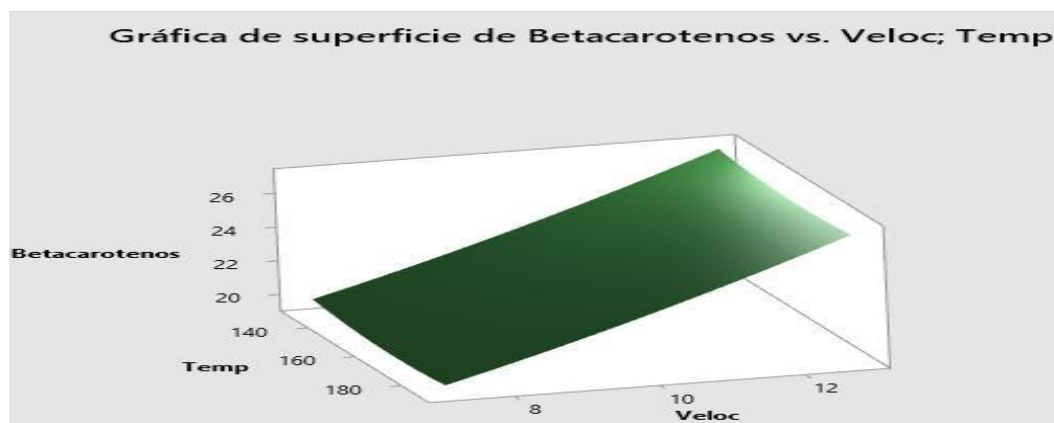
El contenido de betacarotenos obtenido en el estudio, fue de 27,78 $\mu\text{g/g}$. Estos resultados se comparan con la investigación de Jácome (2022) titulado “Evaluación del proceso de encapsulación mediante secado por aspersión para la conservación de betacarotenos contenidos en la zanahoria de rechazo”, donde se reportó un valor de 22 $\mu\text{g/g}$. Por lo tanto, el valor obtenido en el presente estudio es ligeramente superior al reportado por Jácome. Según Juliana et al., (2019) la variación en el contenido de betacarotenos depende de la temperatura de aire de entrada empleada durante la obtención de polvo microencapsulado, ya que los betacarotenos son compuestos termosensibles y se degradan a temperaturas superiores a 50 °C. La determinación del contenido de betacaroteno en el polvo microencapsulado de zanahoria permite evaluar la eficiencia del proceso de encapsulación bajo las condiciones operativas utilizadas durante su obtención.

2.14.3 Diseño de superficie respuesta del contenido de betacarotenos del polvo microencapsulado de zanahoria

En la figura 4 se presenta la gráfica del contenido de betacarotenos en función de las variables temperatura de aire de entrada representadas (eje X), velocidad de alimentación (eje Y) y el porcentaje de betacarotenos (eje Z).

Figura 4

Gráfica de superficie respuesta del contenido de betacarotenos



Elaborador por: Lemache & Simba, 2025

Se observa que, a medida que se aumenta la temperatura de aire de entrada, el contenido de betacarotenos disminuye. Por el contrario, el aumento de la velocidad de alimentación durante el proceso de microencapsulación permite preservar el contenido de betacarotenos. Este resultado concuerda con el coeficiente negativo encontrado en el modelo codificado, que evidencia que el aumento de la temperatura de aire provoca la degradación del betacaroteno. Por otro lado, el aumento de la velocidad de alimentación facilita que el jugo de zanahoria sea atomizado más rápido y continua hasta llegar al tanque de secado mediante un sistema de doble boquilla, lo que reduce el tiempo de secado, disminuye la exposición al calor y al oxígeno, mantiene la estabilidad y la preservación del contenido betacarotenos (Moreno et al., 2016). El análisis del modelo de superficie de respuestas permitió identificar las condiciones operativas óptimas para maximizar el contenido de betacarotenos en el polvo microencapsulado de zanahoria obtenido mediante secado por aspersión, como se muestra a continuación.

Durante el proceso de secado por aspersión, la corrida experimental 13 presentó parámetros óptimos para el contenido de betacarotenos, con una temperatura de aire de entrada de 140 °C y una velocidad de alimentación de 900 ml/h. Estas condiciones permitieron obtener un contenido de betacarotenos ajustada de 27,00 μg/g y alcanzar una deseabilidad de 1, dado que

el contenido de betacaroteno depende tanto de la materia prima como de las condiciones de secado.

La optimización de las condiciones de operación durante el proceso de microencapsulación de secado por aspersión permite conservar y proteger los betacarotenos frente a la oxidación, humedad, luz y temperatura (Carlan et al., 2017). Los polvos microencapsulados que contienen betacarotenos son altamente valorados en las industrias alimentaria, farmacéutica y cosmética, debido a su sabor agradable y composición nutricional. Estos se utilizan en productos terminados como dulces, zumos de frutas, salsas, bebidas lácteas, protectores solares, ungüentos, lociones bronceadoras y cremas humectantes (Etzbach et al., 2020).

2.14.4 Rendimiento del polvo microencapsulado de zanahoria por el método de secado por aspersión

El rendimiento en la obtención de polvo microencapsulado de zanahoria variedad Chantenay (*Daucus carota subsp. sativus*) permite optimizar el uso de recursos materiales durante el proceso productivo. El objetivo del presente estudio es optimizar el proceso y el tiempo de microencapsulación del jugo de zanahoria mediante secado por aspersión, tomando como referencia el tratamiento más eficiente en la recuperación de la materia prima y los materiales encapsulantes.

En la tabla 18 se presenta el rendimiento de la mejor corrida experimental durante el proceso de obtención de polvo microencapsulado de zanahoria por el método de secado por aspersión en función de la corrida experimental que conserve el mayor contenido de betacarotenos. Se utilizaron 700 g de zanahoria, 300 g de maltodextrina, 2 g de goma xanthan y 2 g de ácido cítrico, que fueron procesados a 140 °C y 900 ml/h, obteniéndose 384 g de producto final.

Tabla 18

Rendimiento del polvo microencapsulado de zanahoria por el método de secado por aspersión

Corrida	Materias	Peso	T (°C) V (ml/h)	Secado	Rendimiento (%)
----------------	-----------------	-------------	----------------------------	---------------	----------------------------

3	Zanahoria	700 g	T: 140 °C	384 g	38,24
	Maltodextrina	300 g	V: 900 ml/h		
	Goma xanthan	2 g			
	Ácido cítrico	2 g			

Elaborador por: *Lemache & Simba, 2025*

El rendimiento obtenido en la microencapsulación del jugo de zanahoria fue del 38,24 %. Estos resultados se compararon con el estudio de Phing & Saleena (2022) titulado “Efectos de los parámetros de secado por aspersión sobre las propiedades fisicoquímicas de frutas en polvo”, que reporta un rendimiento entre el 25 % y 85 %. Los resultados obtenidos se encuentran dentro del rango óptimo; sin embargo, la variación del rendimiento depende del tipo de materia prima, material encapsulante y del modelo del equipo.

En el caso del jugo de zanahoria, el rendimiento es intermedio debido a que la materia prima empleada contiene entre el 70 al 90 % de agua (Kamińska et al., 2022). Durante el proceso de secado por aspersión, se elimina gran parte del agua y se separan sólidos que se pierden al secarse, por lo que el peso final del producto es menor al volumen inicial del jugo. Según Lema et al., (2023) la determinación del rendimiento permite optimizar los recursos y evaluar la eficiencia y eficacia del proceso operativo.

2.15 Caracterización del polvo optimizado microencapsulado en función de las propiedades físicas

La evaluación de las propiedades físicas del polvo microencapsulado es fundamental para garantizar la calidad del producto y optimizar el proceso industrial. Esta evaluación se realiza comparando los datos obtenidos con los parámetros de calidad establecidos, los cuales definen los límites mínimos y máximos aceptables. La optimización del polvo microencapsulado de zanahoria se realizó con el objetivo de preservar el contenido de betacarotenos tras el proceso de atomización del jugo con polímeros. La corrida experimental 3 presentó un contenido de betacarotenos de 25,77 µg/g, siendo así el tratamiento que mejor conservó el compuesto. Por esta razón, a continuación, se evalúa sus propiedades físicas, las cuales se muestran en la tabla 19.

Tabla 19 Caracterizaciones físicas del polvo microencapsulado de zanahoria

Características físicas evaluadas	Resultados <u>obtenidos</u> 0,56	Parámetros	
		Mínimo	Máximo
Densidad aparente (g/ml)		0,40	0,70
Densidad compacta (g/ml)	0,78	0,60	0,90
Índice de Carr	28,21	15,00	45,00
Índice de Hausner	1,40	1,20	1,40
Solubilidad (%)	91,42	> 90,00	100,00
Higroscopicidad (%)	20,00	-	-
Capacidad antioxidante (μm Trolox/g)	40,37	-	-
Ángulo de reposo (rad)	30,93	25,00	45,00

Elaborador por: Lemache & Simba, 2025

El polvo microencapsulado de zanahoria variedad Chantenay (*Daucus carota subsp. sativus*), obtenido mediante secado por aspersión, presentó una densidad aparente de 0,56 g/ml. En comparación con el estudio de Sarabandi et al., (2018) titulado “Efecto de diferentes portadores sobre la microestructura y las características físicas del concentrado de jugo de manzana secado por aspersión”, donde se reportan valores menores a 0,40 g/ml tienen una densidad baja, valores entre 0,50 g/ml y 0,60 g/ml alta y valores superiores a 0,70 g/ml refleja una densidad aparente muy alta. Según los resultados bibliográficos recopilados, la densidad obtenida es alta, lo que quiere decir que los polvos con densidad aparente alta tienen una buena fluidez, mientras que la densidad baja está presente en los polvos porosos y muy sueltos.

De acuerdo con Stazi (2019), la densidad aparente del material varía según su composición, forma, estructura de los poros internos y el método de almacenamiento; un alimento en polvo con mayor porosidad presenta una menor densidad. La determinación de la densidad aparente es clave para evaluar la estabilidad, textura y calidad del alimento. En la industria alimentaria, la medición de la densidad aparente permite determinar el volumen que ocupa el polvo microencapsulado en un envase, evita el apelmazamiento y facilita su transporte y almacenamiento (Figuroa et al., 2016).

La densidad compacta del polvo microencapsulado de zanahoria obtenido fue de 0,78 g/ml. Estos valores se comparan con los datos reportados por Sarabandi et al., (2018) en su estudio “Efecto de diferentes portadores sobre la microestructura y las características físicas del concentrado de jugo de manzana secado por aspersión”, quienes reportaron un densidad

compacta baja los valores menores de 0,60 g/ml, los valores entre 0,70 g/ml y 0,80 g/ml son altos y valores mayores a 0,90 g/ml son muy altos. La densidad compacta baja del polvo indica que el polvo es poroso mientras que los polvos con alta densidad tienen una buena compactación. La variación de la densidad compacta es proporcional al tamaño de partícula de la muestra. Esta propiedad permite caracterizar la fluidez y uniformidad del polvo microencapsulado cuando es sometido a fuerzas externas durante el almacenamiento y transporte (De La Cruz & Navarro, 2022).

El valor del índice de Carr del polvo microencapsulado de zanahoria fue de 28,21. Estos datos se comparan con el estudio de Islam et al., (2017) titulado “Efectos de la micro molienda húmeda y el secado por aspersión sobre las propiedades fisicoquímicas y antioxidantes del jugo de naranja (*Citrus unshiu*)”, donde se reporta un índice de Carr menor de 15 indica excelente fluidez; entre 15 y 20 tiene buena fluidez; entre 20 y 35 la fluidez es intermedia; entre 35 y 45 tienen poca fluidez y valores mayores a 45 reflejan muy poca fluidez. Los resultados obtenidos se encuentran dentro del rango intermedio (20 – 35). La variación del índice de Carr se debe a las diferencias e interacción entre las partículas de la muestra, las cuales están relacionadas con la densidad aparente y compacta. Según Nandi et al., (2020) el índice de Carr (IC) permite determinar la compresibilidad y la capacidad de compactación del polvo microencapsulado durante su manipulación y procesamiento; a mayor IC, menor es la fluidez y más difícil resulta su manejo.

Los valores del índice de Hausner para el polvo microencapsulado de zanahoria fueron 1,40. Estos resultados se comparan con los reportados por Islam et al., (2017) en su estudio “Efectos de la micro molienda húmeda y el secado por aspersión sobre las propiedades fisicoquímicas y antioxidantes del jugo de naranja (*Citrus unshiu*)”, donde se indica que los valores menores a 1,20 corresponden a polvos con baja cohesividad, valores entre 1,20 y 1,40 indican cohesividad alta, valores superiores a 1,40 reflejan cohesividad muy alta. Por lo tanto, las cifras obtenidas en el estudio se encuentran en el rango intermedio de cohesión. La variación del índice de Hausner depende de la fluidez del polvo y de la interacción entre las partículas; así, las sustancias con menor fluidez presentan un índice de Hausner elevado. El IH permite medir de manera indirecta la capacidad de compresión, la interacción entre las partículas y la distribución homogénea del contenido de betacaroteno en el producto (Schlick et al., 2022).

La solubilidad del polvo microencapsulado de zanahoria fue de 91,42 %. Estos datos se comparan con el estudio de Baltrusch et al., (2022) sobre la “Microencapsulación por secado por aspersión de extractos de té”, en el cual reporta la solubilidad de los polvos obtenidos es superior al 90 %. Por lo tanto, los resultados de estudio se encuentran dentro del parámetro establecido por dichos autores. Según Ramos (2024) la solubilidad del microencapsulado depende de la temperatura de aire de entrada y del contenido del material encapsulante; a menor temperatura y menor contenido de encapsulante, mayor será la solubilidad del polvo. La solubilidad es un indicador de la capacidad de reconstitución, disolución y disponibilidad de los compuestos activos encapsulados. En la industria alimentaria, este parámetro permite ajustar variables operativas, como la temperatura y la concentración del material encapsulante, para asegurar una adecuada protección del compuesto activo y maximizar la eficiencia del proceso (Ríos & Gil, 2021).

La higroscopicidad del polvo microencapsulado de zanahoria fue del 20,00 %. Estos resultados experimentales se comparan con el estudio de Cegledi et al., (2022) titulado “Efecto de la encapsulación por secado por aspersión sobre las propiedades del polvo de extracto de hoja de ortiga” donde se reportaron valores entre $13,93 \pm 0,13$ a $32,92 \pm 0,47$. La variación de la higroscopicidad depende de la cantidad del material encapsulante; es decir, a mayor concentración del material encapsulante, menor será la higroscopicidad. En los polvos microencapsulados, la higroscopicidad permite predecir el comportamiento y la estabilidad del producto final durante el procesamiento y almacenamiento. Una baja indica que el producto tiene una menor retención de humedad lo que favorece su vida útil.

La capacidad antioxidante del polvo microencapsulado de zanahoria fue de 40,37 $\mu\text{m Trolox/g}$, el valor se compara el reportado por Fiallos (2019) en el estudio “Extracción y microencapsulación de carotenoides con capacidad antioxidante a partir de la *Daucus carota*” donde se registró un valor de 39,40 $\mu\text{m Trolox/g}$. La capacidad antioxidante obtenida en este estudio es ligeramente superior al valor reportado bibliográficamente. Según Repajić et al., (2021) la variación en la capacidad antioxidante está influenciada por el contenido de carotenoides en la zanahoria, así como por las condiciones operativas del proceso y el almacenamiento del producto final. La determinación de la capacidad antioxidante del polvo microencapsulado permite confirmar que el material de encapsulación proporciona una barrera protectora adecuada para los betacarotenos, su biodisponibilidad y la calidad del producto

(Arteaga & Miñano, 2016). La capacidad antioxidante en el polvo microencapsulado de zanahoria variedad Chantenay (*Daucus carota sub. sativus*), permite conservar las características organolépticas (color, olor y sabor) y retrasar la oxidación (Martinello & Mutinelli, 2021). En la industria alimentaria los alimentos que tienen una buena capacidad antioxidante son empleados para elaborar suplementos alimenticios, alimentos funcionales y enriquecidos como mermeladas, harinas, ensure, propóleos y jaleas porque tienen propiedades benéficas para la salud porque combate los radicales libres del cuerpo, refuerza el sistema inmunológico y previene daños celulares (Benítez et al., 2020).

El ángulo de reposo del polvo microencapsulado de zanahoria fue de 30,93 rad. Estos resultados se comparan con la escala de valores propuesta por Schlick et al., (2022) donde clasifica el ángulo de reposos en las siguientes categorías: excelente (25 – 30 rad), bueno (31 – 35 rad), justo (36 – 40 rad), pasable (41 – 45 rad), pobre (46 – 55 rad), muy pobre (56 – 65 rad) y muy muy pobre (> 66 rad). El valor obtenido se encuentra dentro de la categoría buena, que oscila entre 31 y 35 rad. La variación del ángulo de reposo en el polvo microencapsulado depende de la fluidez y la cohesión de las partículas; a menor ángulo de reposo, mayor es la fluidez del sólido. Según Schlick et al., (2022) la determinación del ángulo de reposo en la industria alimentaria es un indicador directo de la fluidez de los sólidos secos en tolvas y silos, y permite prevenir el apelmazamiento del producto final.

2.16 Análisis microbiológico de la mejor corrida experimental del polvo microencapsulado de zanahoria.

En la tabla 20 se presenta el análisis microbiológico de la mejor corrida experimental, realizada en el laboratorio químico y microbiológico del Ecuador “EcuChemLab”, ubicado en la ciudad de Quito. Los resultados confirman que el polvo microencapsulado de zanahoria cumple con la normativa ecuatoriana INEN 2983:2022 para suplementos alimenticios.

Tabla 20 *Análisis microbiológico de la mejor corrida experimental*

Parámetros	Resultados	NTE INEN 2983:2016 Limite max.
Aerobios totales (UFC/g)	23x10 ²	1x10 ⁴

Mohos (UFC/g)	<10	1×10^3
Levaduras (UFC/g)	< 10	1×10^3
Coliformes totales (UFC/g)	<10	1×10^2

Elaborador por: *Lemache & Simba, 2025*

La presencia de aerobios totales en el polvo microencapsulado de zanahoria variedad Chantenay (*Daucus carota sub. sativus*) fue de 23×10^2 UFC/g. Estos resultados se comparan con la normativa ecuatoriana NTE INEN 2983:2016 para suplementos alimenticios. El polvo microencapsulado presentó un bajo contenido de aerobios totales, lo que indica que las condiciones del proceso fueron adecuadamente controladas. La determinación de aerobios totales permite evaluar la calidad sanitaria del alimento, las condiciones de manipulación y las prácticas higiénicas durante el manejo de las materias primas, factores que influyen en el tiempo de vida útil del producto (Alegre, 2020).

La presencia de mohos en el polvo microencapsulado fue de <10 UFC/g. Estos resultados se comparan con el estudio de Ortiz (2020) titulado “Desarrollo tecnológico y extracción de zanahoria pasteurizada y determinación de la vida útil”, donde se reportó un valor de <10 UFC/g. El polvo microencapsulado obtenido en este estudio coincide con los datos reportados por dicho autor. Por lo tanto, la presencia de mohos es un indicador de las condiciones de limpieza, desinfección y sanitización de los equipos, del proceso de producción, del personal y del producto final. Este análisis en la industria alimentaria permite evaluar la eficiencia de la limpieza y detectar la posible contaminación microbiológica (Pereira, 2020).

La presencia de levaduras en el polvo microencapsulado de zanahoria fue de <10 UFC/g. Estos resultados se comparan con la norma ecuatoriana para suplementos alimenticios NTE INEN 2983:2016, que establece un límite máximo de 1×10^3 UFC/g para estos microorganismos. Por lo tanto, el valor obtenido es inferior al parámetro establecido por la normativa INEN. La presencia de levaduras en el producto final se debe a deficiencias higiénicas en el ambiente, en las áreas de almacenamiento y en los equipos. El recuento de estos microorganismos permite evaluar si las condiciones de sanitización son adecuadas (Bonifaz, 2019).

La presencia de coliformes totales en el polvo microencapsulado de zanahoria fue de <10 UFC/g. Estos resultados se comparan con la investigación de Pacheco (2022) titulada

“Evaluación del potencial antioxidante del extracto de *Margyricarpus pinnatus* (*Lam. Kuntze*) microencapsulado mediante secado por aspersión”, donde se reportó un valor similar de <10 UFC/g. Los datos analizados concuerdan con los valores establecidos en dicho estudio. La presencia de coliformes totales por encima de los límites indicaría que el agua empleada durante el proceso está contaminada y que existen deficiencias higiénicas en el proceso. Por lo tanto, el recuento de microorganismos en los alimentos es fundamental para garantizar la calidad e inocuidad del producto, asegurando que este no represente un riesgo para la salud del consumidor (Vélez et al., 2024).

2.17 Análisis del tiempo de vida útil del polvo microencapsulado de zanahoria de la mejor corrida experimental

El análisis del tiempo de vida útil del polvo microencapsulado de zanahoria se realizó mediante pruebas aceleradas durante 30 días en el laboratorio EcuChemLab, donde se evaluó la presencia y evolución de microorganismos durante el almacenamiento a temperaturas extremas. Para los aerobios totales se empleó una temperatura de 35 °C; para mohos y levaduras de 20 °C a 25 °C y para los coliformes totales a 35 °C. Estas condiciones aceleran las reacciones de deterioro del producto y permiten predecir su vida útil, cuyos resultados se presentan en la tabla 21.

Tabla 21 Estudio de estabilidad del tiempo acelerado

Parámetros	Resultados	INEN 2983:2016
		Limite max.
Aerobios totales	27x10 ² UFC/g	1x10 ⁴ UFC/g
Mohos	<10 UFC/g	1x10 ³ UFC/g
Levaduras	< 10 UFC/g	1x10 ³ UFC/g
Coliformes totales	<10 UFC/g	1x10 ² UFC/g

Fuente: Laboratorio EcuChemLab, 2025

El polvo microencapsulado de zanahoria presentó 27x10² UFC/g de aerobios totales, los valores para mohos, levaduras y coliformes totales fueron inferiores a <10 UFC/g. Estos datos se comparan con la normativa NTE INEN 2983:2016 para suplementos alimenticios y con el estudio de Sánchez & Villalba (2024) titulado “Elaboración de un suplemento alimenticio a base de suero lácteo”, donde se reportó un valor de 5,2x10² UFC/g para aerobios totales y

valores inferiores a 10 UFC/g para mohos, levaduras y coliformes totales. Los resultados obtenidos se encuentran dentro de los rangos establecidos por la normativa y los datos bibliográficos.

La predicción de la vida útil del polvo microencapsulado de zanahoria, se realizó mediante la aplicación de la ecuación de predicción microbiana de primer orden. Se determinó que el tiempo de vida útil del producto está condicionado por el crecimiento de los microorganismos aerobios totales. La evaluación mostró que, al representar un crecimiento potencial, el microencapsulado supera el límite microbiológico establecido de 1×10^4 UFC/g alrededor del día 275, lo que corresponde a una vida útil aproximada de 9 meses. Este valor se compara con la investigación de Mehta et al., (2022) titulado “La microencapsulación como técnica noble para la aplicación de compuestos bioactivos” donde se reporta valores de de 9 a 12 meses. La durabilidad del producto depende de las condiciones ambientales de almacenamiento y del tipo de envase utilizado.

2.18 Análisis de costo de producción de la mejor corrida durante la obtención del polvo microencapsulado de zanahoria

El análisis de los costos de producción se realizó para la mejor corrida experimental durante la obtención del polvo microencapsulado de zanahoria. En la tabla 22 se presenta la determinación del costo de producción de las materias primas, incluyendo zanahoria, maltodextrina, goma xanthan, ácido cítrico, evaluando la cantidad y el costo unitario y el costo total para la obtención de 380 g de polvo microencapsulado. Este polvo fue obtenido en el tratamiento trece con una temperatura de aire de entrada de 140 °C y una velocidad de alimentación de 900 ml/h. El costo total de inversión en las materias primas fue de \$2,35 dólares, con este valor se establece el costo del producto terminado y se evalúa la viabilidad económica que tendrá en el mercado.

Tabla 22 *Determinación del costo de producción de la mejor corrida*

Materia prima	Cantidad	Unidad	Costo unitario	Costo total
Zanahoria	1000	g	0,0015	\$ 1,50
Maltodextrina	300	g	0,001	\$ 0,30
Goma xanthan	2	g	0,011	\$ 0,022
Ácido cítrico	6	g	0,016	\$ 0,096
Agua	1500	g	0,00029	\$ 0,435
Total				\$ 2,35

Elaborador por: *Lemache & Simba, 2025*

En la tabla 23 se presenta el costo de producción del polvo microencapsulado, basado en la relación de 2 L de jugo de zanahoria para obtener 380 g de producto. Este producto terminado se envasa en presentaciones de 50 g, utilizando siete envases plásticos tipo ziploc aluminizados, seleccionados por su versatilidad, la protección que ofrecen para evitar la degradación de los betacarotenos y el bajo costo del material de envase.

Tabla 23 *Costo del material de envasado para la mejor corrida*

Recursos	Cantidad	Unidad	Costo unitario	Costo total
Envase plástico	7	u	0,075	0,53

Elaborador por: *Lemache & Simba, 2025*

En la tabla 24 se presentan los costos de producción correspondiente a la materia prima y al material de envase. La relación entre los costos permite determinar con precisión que el costo para la producción del polvo microencapsulado de zanahoria es de \$2,89 dólares.

Tabla 24 *Total, de costos de producción de la materia prima y del envase*

Recurso	Costo
Materia prima	\$ 2,35
Envase plástico	\$ 0,54
Total	\$ 2.89

Elaborador por: *Lemache & Simba, 2025*

Durante el análisis de costo de producción, es fundamental considerar la mano de obra del trabajador, cuyo costo se establece en \$5,68. Esto se debe a que el proceso de preparación de las materias primas y la microencapsulación por secado por aspersión tiene una duración de 2 h. El costo de la mano de obra se calculó con base en el salario mensual promedio en Ecuador, que es aproximadamente \$500 dólares como se muestra en la tabla 25.

Tabla 25 *Mano de obra directa*

Recurso	Costo
Mano de obra	\$ 5,68

Elaborador por: *Lemache & Simba, 2025*

En la tabla 26 se presentan los costos indirectos de fabricación del polvo microencapsulado de zanahoria obtenido por secado por aspersión. Durante el proceso se consideran insumos y servicios como gas, energía eléctrica, agua, mantenimiento, limpieza, sanitización, control de calidad, alquiler y la supervisión, los cuales son factores clave para garantizar un producto que cumpla con los estándares de calidad. La inversión destinada a los costos indirectos asciende a \$18,3, lo que permite establecer con precisión los costos de producción para el producto terminado.

Tabla 26 *Costos indirectos de fabricación*

Recurso	Costo
Gas	\$ 2,00
Energía eléctrica	\$ 1,50
Agua	\$ 2,00
Mantenimiento	\$ 1,00
Limpieza y sanitización	\$ 0,50
Control de calidad	\$ 0,30
Alquiler	\$ 10,00
Supervisión	\$ 1,00
Total	\$ 18,30

Elaborador por: *Lemache & Simba, 2025*

Costo de producción + adicionales

El margen de utilidad en el sector alimentario varía según el tamaño del emprendimiento. Para una empresa grande, se considera beneficioso un margen de utilidad del 15 %; para empresas medianas, el margen usual oscila entre el 7 % y el 10 %; mientras que las pequeñas empresas suelen tener un margen de utilidad del 2 al 5 % (Haro, 2021). Tomando como referencia los costos de producción, el cálculo de la utilidad se realizó bajo la perspectiva de una empresa grande, por lo que se empleó el 15 %, como se muestra a continuación.

$$2,89 + 5,68 + 18,3 = 26,87 \text{ Utilidad}$$

$$15 \% = 4,03$$

En la tabla 27 se presenta el costo total de producción del polvo microencapsulado de zanahoria, incluyendo la adición del porcentaje de utilidad, lo que permitió establecer que el costo de producción para un envase de 50 g es de \$4,50. Este costo es rentable en el mercado nacional,

donde los precios de polvos microencapsulados oscilan entre USD \$2,50 y \$5,00 por 50 g. El polvo microencapsulado de zanahoria es un alimento con un alto contenido de betacarotenos y propiedades sensoriales son agradables para su consumo. Además, al ser un microencapsulado, es apto para la elaboración de batidos con leche, lo que lo hace atractivo tanto para niños como adultos.

Tabla 27 *Costo total de producción*

$$\text{P.V.P} = \text{Total de costo de producción} + \text{utilidad}$$

$$\text{P.V.P} = (26,89 + 4,03) / 7$$

$$\text{P.V.P} = \$ 4,40$$

Elaborador por: *Lemache & Simba, 2025*

3) IMPACTOS DEL PROYECTO

3.1 Impactos técnicos

El análisis de las características fisicoquímicas del polvo microencapsulado de zanahoria variedad Chantenay (*Daucus carota sub. sativus*), obtenido mediante el método de secado por aspersión, tiene un impacto técnico beneficiosos en el ámbito agroindustrial, ya que permite encapsular los compuestos bioactivos presentes en la zanahoria para prolongar el tiempo de vida útil en comparación con la materia prima, mejorar las características organolépticas propias del alimento fresco y preservar los compuestos nutricionales. Además, contribuye a minimizar la pérdida de recursos materiales, reduce el tiempo de secado, dado que es un proceso continuo. Asimismo, favorece la integración del polvo microencapsulado de zanahoria en otros alimentos y promueve la innovación de productos existentes en el mercado mediante el uso de recursos naturales locales.

3.2 Impactos ambientales

La producción de polvo microencapsulación de zanahoria permite, a largo plazo, evitar la sobreproducción de zanahoria y la explotación continua del suelo, gracias a su mayor tiempo de conservación y fácil utilización. Para la elaboración del microencapsulado, es necesario fomentar y mantener una producción libre de contaminantes químicos, con el fin de preservar

la mayor cantidad posible de minerales y nutrientes presentes en la materia prima. Esto permitirá una reducción significativa en el uso de agentes químicos durante el cultivo de zanahorias, garantizando productos con altos estándares de calidad.

3.3 Impactos sociales

La obtención de polvo microencapsulado de zanahoria, desde la perspectiva social, tiene como objetivo ofrecer a la comunidad de Cotopaxi un alimento funcional de alta calidad que conserve sus compuestos bioactivos y posea características organolépticas superiores, haciéndolo atractivo para el consumidor e incorporable a la dieta diaria. Además, el producto debe adaptarse a las necesidades de los consumidores al ser utilizado en la elaboración de diversos tipos de alimentos, ofreciendo ventajas en cuanto a duración y contenido nutricional en comparación con la materia prima en su estado natural.

De esta manera, el microencapsulado garantizar la seguridad alimentaria de las poblaciones vulnerables, contribuye a combatir la malnutrición, facilita el acceso a alimentos funcionales que proporcionan beneficios para la salud y fomentar el desarrollo agrícola y la innovación de productos. Asimismo, genera oportunidades laborales estables incentiva la producción y comercialización de las materias primas locales.

3.4 Impactos económicos

La obtención de polvo microencapsulado de zanahoria impulsa el desarrollo económico y sostenible de las parroquias rurales del cantón Latacunga ya que la adquisición de la materia prima (zanahoria) potencia su comercialización, apoya la producción local y genera fuentes de empleo sólidas. Para el proceso de microencapsulación se utiliza la tecnología de secado por aspersion, cuyo costo de producción es elevado; por lo tanto, el enfoque de estudio fomenta la inversión económica de entidades privadas que impulsan la creación de empresas tradicionales y microempresas.

4) RECURSOS Y PRESUPUESTOS

En la tabla 28 se muestran los recursos económicos empleados durante este proyecto.

Tabla 28 *Tabla de costos*

Recursos	Cantidad	Unidades	V. unitario	V. total
MATERIALES DE LABORATORIO				
Vasos de precipitación de 10 ml.	1	u	1,55	1,55
Probeta de vidrio de 500 ml.	1	u	7,05	7,05
Platos de aluminio	2	u	1,70	3,40
Matraz Erlenmeyer de 100 ml.	1	u	2,00	2,00
Bureta PTFE de 100 ml.	1	u	22,50	22,50
Pipeta volumétrica de vidrio	1	u	5,50	5,50
EQUIPOS				
Balanza analítica de precisión	4	h	2,00	6,00
Balanza digital CAMBRY Tcs	1	h	0,20	0,20
Balanza de pie marca para 30 kg.	1	h	1,00	1,00
Potenciómetro pH pen with fixed	3	h	0,50	1,50
Refractómetro digital MA871	5	h	0,70	3,50
Termómetro digital para 150 ° C.	12	h	0,50	6,00
Spray Dryer modelo LPG – 5	18	h	20,00	360,00
Licuada industrial INOX EHI	7	h	4,00	24,00
Quemador industrial a gas grande	5	h	0,50	1,50
Medidor de humedad	2	h	7,00	14,00
Selladora manual de película	1	h	0,50	1,00
REACTIVOS				
Agua destilada.	100	ml	1,85	1,85
Hidróxido de sodio al 0,1 N.	500	ml	10,80	10,80
Fenolftaleína al 0,1	100	ml	4,80	4,80
Alcohol etílico al 96 %.	500	ml	2,45	2,45
Ácido peracético al 5 %.	100	ml	3,50	3,50
Maltodextrina.	8000	g	8,00	8,00
Goma Xanthan.	100	g	1,05	1,05
Ácido cítrico	100	g	1,60	1,60
MATERIALES				
Recipientes de acero inoxidable	2	u	20,00	40,00
Jarra de plástico de 4,5 L marca rey plast.	1	u	4,50	4,50
Olla de acero inoxidable Wiking.	1	u	40,00	40,00
Fundas plásticas	12	u	0,10	1,20
Espátula de silicona	2	u	3,00	6,00
Espátula cuchara de acero inoxidable.	1	u	2,35	2,35
Cernidor de acero inoxidable	1	u	8,00	8,00

MATERIA PRIMA				
Zanahoria	24	kg	1,5	22,5
MATERIALES/OFICINA				
Impresiones	350	u	0,05	17,5
Anillados	9	u	1,50	13,5
Internet	5	meses	20,00	100,00
Luz	5	meses	10,00	50,00
Transporte	2	meses	4,00	240,00
Alimentación	2	meses	1,50	90,00
ANÁLISIS DE LABORATORIO				
Carotenoides totales	14	u	50,00	700,00
Humedad	9	u	15,00	135,00
Capacidad antioxidante	1	u	30,00	30,00
Análisis microbiológicos	2	u	50,00	100,00
TOTAL				1606,76

Elaborado por: Lemache & Simba, 2025

5) CONCLUSIONES

El jugo de zanahoria se obtuvo mediante el proceso mecánico de trituración, empleando una relación masa / volumen de 2:1,5 en una licuadora industrial durante 5 min. Como materia prima se utilizaron 700 g de zanahoria junto con 350 g de maltodextrina y 4 g de goma xanthan como material encapsulante, además de 2 g de ácido cítrico. Como resultado, se obtuvo 1004 g del jugo con materiales encapsulantes.

La caracterización física y química realizada en el jugo de zanahoria mostró una acidez titulable de 0,06 % v/v de ácido málico, pH de 6,90, sólidos solubles totales de 12,00 °Bx, una densidad relativa de 1,03 g/cm³ y un contenido de betacarotenos de 56,20 µg/g.

Mediante la optimización del proceso de microencapsulación del jugo de zanahoria variedad Chantenay (*Daucus carota subsp. sativus*), se identificó como tratamiento óptimo la corrida experimental trece, realizada a una temperatura de aire de entrada de 140 °C y una velocidad de alimentación de 900 ml/h. Bajo estas condiciones, se obtuvo una humedad de 3,28 %, un contenido de betacarotenos de 25,77 µg/g y un rendimiento del 38,24 %.

La caracterización del polvo microencapsulado de zanahoria optimizado se realizó mediante ensayos fisicoquímicos, obteniéndose una humedad de 3,28 %, un contenido de betacarotenos de 27,78 $\mu\text{g/g}$ y un rendimiento de 38,24 %. Además, se determinaron una densidad aparente de 0,56 g/ml, una densidad aparente de 0,78 g/ml, un índice de Carr de 28,21, un índice de Hausner de 1,40, una solubilidad de 91,42 %, una higroscopicidad de 20,00 %, una capacidad antioxidante de 40,37 $\mu\text{m Trolox/g}$ y un ángulo de reposo de 30,93 rad.

El análisis de la vida útil se evaluó mediante la prueba de estabilidad acelerada aplicada al tratamiento optimizado correspondiente a la corrida experimental 13. Los resultados indican que el polvo microencapsulado de zanahoria mantiene estabilidad durante los primeros 30 días, presentando una concentración de aerobios totales de 27×10^2 UFC/g, mohos de <10 UFC/g, levaduras de <10 UFC/g y coliformes totales de <10 UFC/g. Debido a que el microencapsulado es un alimento no perecible, se empleó la ecuación de crecimiento microbiano de primer orden para predecir su vida útil. El análisis estima que en el día 275 la concentración de aerobios totales fue de 1×10^4 el cual supera el límite máximo establecido por la norma ecuatoriana NTE INEN 2983:2016 para suplementos alimenticios tipo III.

El análisis de costo realizado en la corrida experimental 13 del polvo microencapsulado de zanahoria mostró que el costo unitario fue de \$4,40 en un producto con un contenido neto de 50 g. Al compararlo con el mercado nacional, se determina que el producto es sostenible comercialmente. Además, al ser un microencapsulado de zanahoria, se trata de un alimento funcional y versátil

6) RECOMENDACIONES

- Calentar el spray dryer durante 45 min y verificar que el tanque esté completamente seco, lo cual evitará que el material encapsulado se adhiera a las paredes del tanque y que el polvo microencapsulado que llega al contenedor no esté completamente seco.
- Ventilar adecuadamente al área donde se encuentre ubicada la maquinaria para evitar que el ambiente tenga un alto porcentaje de humedad, ya que esta es absorbida por el polvo microencapsulado durante su manipulación y recolección.

- El producto terminado debe ser envasado de inmediato en recipientes adecuados al contenido neto del polvo microencapsulado. Se debe evitar la presencia de oxígeno en el envase para prevenir la degradación del compuesto activo, garantizando que no se produzca absorción de humedad que favorezca el crecimiento microbiológico.
- Incorporar el material de pared, como la maltodextrina y la goma xanthan, de forma paulatina para evitar la formación de grumos en las paredes de la licuadora y la dispersión el material en el aire en el aire, lo que podría contaminarlo con otras sustancias.
- Controlar el tiempo del proceso térmico de blanqueamiento y pasteurización para evitar la degradación de los compuestos activos. Se deben respetar las temperaturas máximas de 75 °C para el blanqueamiento y 60 °C para la pasteurización. Durante esta última, si no se controla adecuadamente la temperatura y el tiempo, el jugo que contiene el material de pared puede adherirse a las paredes de la olla, provocando que se queme el material y se pierdan las características físicas y químicas.

7) BIBLIOGRAFÍA

- Abd Al Haleem, E. N., Ahmed, H. I., & El-Naga, R. N. (2023). Lycopene and Chrysin through Mitigation of Neuroinflammation and Oxidative Stress Exerted Antidepressant Effects in Clonidine-Induced Depression-like Behavior in Rats. *Journal of Dietary Supplements*, 20(3), 391-410.
- Acevedo, S., Giraldo, L., & Moreno-Piraján, J. C. (2021). Materiales carbonosos preparados a partir de huesco de palma en la adsorción de CO₂. Caracterización elemental, próxima y morfológica. *Revista Colombiana de Química*, 50(2), 30-39.
- Ajila, K. K. P., Asanza, M. J. C., Iglesias, H. I. P., & Delgado, I. R. (2024). Respuesta del cultivo de zanahoria a la fertilización orgánica y nitrogenada en la granja Santa Inés. *Polo del Conocimiento*. 9(3), 3788-3806.
- Alegre Damian, E. M. (2020). Presencia microbiológica de aerobios mesófilos y *Salmonella* Sp. Y los efectos en la calidad e inocuidad en pechugas de pollo comercializadas en los puestos La Parada y Mercado Central.
- Arenas-Jal, M., Suñé-Negre, J. M., & García-Montoya, E. (2020). An overview of microencapsulation in the food industry: Opportunities, challenges, and innovations. *European Food Research and Technology*, 246(7), 1371-1382.
- Arora, S., Siddiqui, S., & Gehlot, R. (2019). Physicochemical and bioactive compounds in carrot and beetroot juice. *Asian Journal of Dairy and Food Research*, 38(3), 252-256.
- Arteaga, A., & Miñano, H. A. (2016). Optimization of the antioxidant capacity, anthocyanins and rehydration in powder of cranberry (*Vaccinium corymbosum*) microencapsulated with mixtures of hydrocolloids. *Scientia Agropecuaria*, 7, 191-200.
- Bailón-Moreno, R., Olivares-Arias, V., Vicaria, J. M., & Chiadmi-García, L. (2018). Shelflife kinetic model for freeze-dried oranges using sensory analysis and luminance determination. *Journal of Food Science and Technology*, 55(10), 4013-4019.

- Baldelli, A., Ren, M., Liang, D. Y., Lai, S., Hartono, B., Sum, K., & Pratap-Singh, A. (2023). Sprayed microcapsules of minerals for fortified food. *Journal of Functional Foods*, *101*, 105401.
- Baltrusch, K. L., Torres, M. D., Domínguez, H., & Flórez-Fernández, N. (2022). Spray-drying microencapsulation of tea extracts using green starch, alginate or carrageenan as carrier materials. *International Journal of Biological Macromolecules*, *203*, 417-429.
- Bansal, P., Maithani, M., Gupta, V., Kaur, G., & Bansal, R. (2023). Future prospective of nutraceutical and functional food with herbs and spices. En *In Herbs, Spices and Their Roles in Nutraceuticals and Functional Foods* (pp. 361-381). Academic Press.
- Bell, T., Alamzad, R., & Graf, B. A. (2016). Effect of pH on the chemical stability of carotenoids in juice. *Proceedings of the Nutrition Society*, *75*(OCE3), E94.
- Benítez-Estrada, A., Villanueva-Sánchez, J., González-Rosendo, G., Alcántar-Rodríguez, V. E., Puga-Díaz, R., & Quintero-Gutiérrez, A. G. (2020). Determinación de la capacidad antioxidante total de alimentos y plasma humano por fotoquimioluminiscencia: Correlación con ensayos fluorométricos (ORAC) y espectrofotométricos (FRAP). *TIP Revista especializada en ciencias químico-biológicas*, *23*.
- Bonifaz Nieto, J. D. (2019). *Efecto de la inclusión de microencapsulados de tomillo en la elaboración de queso fresco*.
- Brignone, S. G., Ravetti, S., & Palma, S. D. (2020). *Microencapsulación/recubrimiento de sistemas particulados de uso farmacéutico*.
- Calderón-Oliver, M., & Ponce-Alquicira, E. (2022). The Role of Microencapsulation in Food Application. *Molecules*, *27*(5), 1499.
- Carbajal-Solis, D., Del Razo-Jurado, S., Hinojosa-Sánchez, M., & Rivera-Guerrero, J. (2022). Determinación de la capacidad antioxidante de la fresa por métodos de decocción y extracción mecánica en el deterioro de frutas. *Memorias del Concurso Lasallista de Investigación, Desarrollo e innovación*, *8*(3), 5-8.

- Carlan, I. C., Estevinho, B. N., & Rocha, F. (2017). Study of microencapsulation and controlled release of modified chitosan microparticles containing vitamin B12. *Powder Technology*, 318, 162-169.
- Cegledi, E., Garofulić, I. E., Zorić, Z., Roje, M., & Dragović-Uzelac, V. (2022). Effect of Spray Drying Encapsulation on Nettle Leaf Extract Powder Properties, Polyphenols and Their Bioavailability. *Foods*, 11(18), 2852.
- Cereceres-Aragón, A., Rodrigo-García, J., Álvarez-Parrilla, E., & Rodríguez-Tadeo, A. (2019). Ingestión de compuestos fenólicos en población adulta mayor. *Nutrición Hospitalaria*, 36(2), 470-478.
- Chamba Quijije, Y. E., & Quispe Tigma, S. I. (2022). *Desarrollo de un microencapsulado a base de orégano (origanum vulgare, l), mediante secado por aspersión.*
- Chen, L., Xiang, M., Wu, F., Jiang, Y., Wu, Q., Zhang, W., Guo, W., Cai, B., Liang, L., Li, S., Chen, Y., & Du, X. (2023). Encapsulation of lycopene into electrospun nanofibers from whey protein isolate-Tricholoma lobayense polysaccharide complex stabilized emulsions: Structural characterization, storage stability, in vitro release, and cellular evaluation. *International Journal of Biological Macromolecules*, 238, 123993.
- Choudhury, N., Meghwal, M., & Das, K. (2021). Microencapsulation: An overview on concepts, methods, properties and applications in foods. *Food Frontiers*, 2(4), 426442.
- Coimbra, P. P. S., Cardoso, F. D. S. N., & Gonçalves, É. C. B. D. A. (2021). Spray-drying wall materials: Relationship with bioactive compounds. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 61(17), 2809-2826.
- Cruz, B. A. (2020). Acceso a los alimentos en Cuba: Prioridad, dificultades y reservas para mejorar. *Economía y Desarrollo*, 164(2).
- De La Cruz García, R., & Navarro Areche, V. (2022). “*Granulometría, propiedades funcionales y fisicoquímicas de la harina de macha macha (Vaccinium floribundum Kunth) y awilancancho (Disterigma empetrifolium Kunth Drude)*”.

- Degreef, A. M. (2023). Aplicación de probióticos a jugos naturales enriquecidos con inulina. *Universidad Nacional del Centro de la Provincia de Buenos Aires, Argentina.*
- Díaz Quinaluisa, D. A. (2022). *Análisis de las metodologías más utilizadas para la determinación de la vida útil de alimentos.*
- Díaz-Montes, E. (2023). Wall Materials for Encapsulating Bioactive Compounds via Spray-Drying: A Review. *Polymers, 15*(12), 2659.
- Ding, H., Li, B., Boiarkina, I., Wilson, D. I., Yu, W., & Young, B. R. (2020). Effects of Morphology on the Bulk Density of Instant Whole Milk Powder. *Foods, 9*(8), 1024.
- Encalada Aldaz, J. E. (2022). *Microencapsulación del jugo de mandarina secado por aspersión.*
- Enriquez -Valencia, A. L., Lucas-Aguirre, J. C., Caicedo-Arana, Á., Rodríguez-Henao, E., Aguilera-Arango, G., Cañar-Serna, D. Y., & Ocampo, J. A. (2023). Evaluación fisicoquímica y funcional de harinas y almidones del germoplasma de musa spp. En Colombia. *Chilean journal of agricultural & animal sciences, 39*(1), 107-120.
- Espinoza-Gayosso, N., Ramírez-Moreno, E., del Socorro Cruz-Cansino, N., CervantesElizarrarás, A., & Zafra-Rojas, Q. Y. (2021). Compuestos antioxidantes y su bioaccesibilidad in vitro de la zanahoria (*Daucus carota*): Cambios por procesos térmicos. *Educación y Salud Boletín Científico Instituto de Ciencias de la Salud Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, 10*(19), 239-248.
- Estrada-Arellano, E., Murillo-Amador, B., Cervantes-Vázquez, T. J. Á., Gallegos-Robles, M. Á., Fortis-Hernández, M., & Vázquez-, C. (2022). Fertilización orgánica para mejorar calidad nutraceútica de híbridos de tomate y su efecto en las propiedades químicas del suelo. *Terra Latinoamericana, 40.*
- Etzbach, L., Meinert, M., Faber, T., Klein, C., Schieber, A., & Weber, F. (2020). Effects of carrier agents on powder properties, stability of carotenoids, and encapsulation

- efficiency of goldenberry (*Physalis peruviana* L.) powder produced by co-current spray drying. *Current Research in Food Science*, 3, 73-81.
- Fiallos Yáñez, H. (2019). *Extracción y microencapsulación, de carotenoides con actividad antioxidante a partir de Daucus carota*.
- Figuroa, P. M., Ceballos, M. A., & Hurtado, A. M. (2016). Microencapsulación mediante secado por aspersión de aceite de mora (*Rubus glaucus*) extraído con CO₂ supercrítico. *Revista Colombiana de Química*, 45(2), 39.
- Fu, N., Xiao, J., Woo, M. W., & Chen, X. D. (2020). *Frontiers in Spray Drying*. CRC Press.
- Furuta, T., & Neoh, T. L. (2021). Microencapsulation of food bioactive components by spray drying: A review. *Drying Technology*, 39(12), 1800-1831.
- Gammone, M. A., Riccioni, G., Parrinello, G., & D'Orazio, N. (2019). Omega-3 Polyunsaturated Fatty Acids: Benefits and Endpoints in Sport. *Nutrients*, 11(1), 46.
- Garzón, J., Díaz, L., & Bohórquez, E. (2023). Revisión: Sobre la aplicación de la microencapsulación en la industria alimentaria. *Alimentos hoy*, 31(60), 3-36.
- Geranpour, M., Assadpour, E., & Jafari, S. M. (2020). Recent advances in the spray drying encapsulation of essential fatty acids and functional oils. *Trends in Food Science & Technology*, 102, 71-90.
- Haro Sarango, A. F. (2021). El tamaño de la empresa y su influencia en la productividad del sector comercio. *INNOVA Research Journal*, 6(3), 227-245.
- <https://doi.org/10.33890/innova.v6.n3.2021.1781>
- Huaman López, M., Villanueva-Quejia, E., & Nolzco -Cama, D. (2024). Encapsulación por inclusión molecular del aceite esencial de naranja: Efecto del método de secado en las características físicas, químicas, estructurales y estabilidad. *Scientia Agropecuaria*, 15(1), 33-43.
- Iglesias Chérrez, D. L., & Pichucho Molina, P. E. (2021). *Desarrollo de un microencapsulado de cedrón (Aloysia Citrodora), mediante secado por aspersión*.

- Islam, M. Z., Kitamura, Y., Kokawa, M., Monalisa, K., Tsai, F.-H., & Miyamura, S. (2017). Effects of micro wet milling and vacuum spray drying on the physicochemical and antioxidant properties of orange (*Citrus unshiu*) juice with pulp powder. *Food and Bioproducts Processing*, *101*, 132-144.
- Isuiza, G. G. P., Perez, J. F. L., Sánchez, I. C., Olano, J. C., Salas, W., & Delgado, L. F. V. (2018). Vida en anaquel de galletas saladas utilizando pruebas aceleradas. *Anales Científicos*, *79*(1), 218-225. Universidad Nacional Agraria La Molina.
- Jácome Lagla, W. D. (2022). *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 Lui.*
- Jahanbakhshi, A., Abbaspour-Gilandeh, Y., & Gundoshmian, T. M. (2018). Determination of physical and mechanical properties of carrot in order to reduce waste during harvesting and post-harvesting. *Food Science & Nutrition*, *6*(7), 1898-1903.
- Janiszewska-Turak, E., Pobiega, K., Rybak, K., Synowiec, A., Woźniak, Ł., Trych, U., Gniewosz, M., & Witrowa-Rajchert, D. (2023). Changes in Physical and Chemical Parameters of Beetroot and Carrot Juices Obtained by Lactic Fermentation. *Applied Sciences*, *13*(10), 6113.
- Jara Espinoza, C. L. (2023). *Validación del uso de un Extractor Multipropósito para producir jugo natural de uva "País" (Vitis vinifera L.), usando el método de extracción por vapor.*
- Juliana, J., Indrawati, R., & Yuliati, L. (2019). Effects of pH and Storage Time on the Stability of Papaya and Carrot Extracts. *Indonesian Journal of Natural Pigments*, *1*(1), 25.
- Jumbo, L. D. J., Tenezaca, C. M. C., Parco, S. P. V., & Vargas, G. M. C. (2024). Determinación de la Acidez Titulable en Cítricos Amazónicos: Correlación con la Madurez y la Susceptibilidad a la Pudrición. *Ciencia Latina Revista Científica*

Multidisciplinar, 8(2), 2441-2451.

- Kamińska, I., Lukaszewicz, A., Klimek-Chodacka, M., Długosz-Grochowska, O., Rutkowska, J., Szymonik, K., & Baranski, R. (2022). Antioxidative and osmoprotecting mechanisms in carrot plants tolerant to soil salinity. *Scientific Reports*, 12(1), 7266.
- Lema, X. R., Jácome, C., Arguello, Y., & Andrade-Cuvi, M. J. (2023). Medición del rendimiento de la cadena alimentaria del tomate de árbol. Estudio de caso en Quito-Ecuador. *Revista Iberoamericana de Tecnología Postcosecha*, 24(1), 1-12.
- Lobel, B. T., Baiocco, D., Al-Sharabi, M., Routh, A. F., Zhang, Z., & Cayre, O. J. (2024). Current Challenges in Microcapsule Designs and Microencapsulation Processes: A Review. *ACS Applied Materials & Interfaces*, 16(31), 40326-40355.
- López, A. (2021). *Microbiología Predictiva*.
- López Hernández, O. D., Guerrero Luzuriaga, S. A., Herrera Chávez, B. A., & Rojas Vallejo, M. F. (2024). Microencapsulación por secado por aspersión: Revolucionando la industria. *EDITORIAL UNACH*, 1-202.
- Luzón-Quintana, L. M., Castro, R., & Durán-Guerrero, E. (2021). Biotechnological Processes in Fruit Vinegar Production. *Foods*, 10(5), 945.
- Malamatari, M., Charisi, A., Malamataris, S., Kachrimanis, K., & Nikolakakis, I. (2020). Spray Drying for the Preparation of Nanoparticle-Based Drug Formulations as Dry Powders for Inhalation. *Processes*, 8(7), 788.
- Maldonado Riofrio, M. P. (2023). *Efecto de dos abonos orgánicos líquidos sobre el crecimiento y rendimiento de zanahoria (Daucus carota L.) cultivada en Quinara, Loja*.
- Mandrich, L., Esposito, A. V., Costa, S., & Caputo, E. (2023). Chemical Composition, Functional and Anticancer Properties of Carrot. *Molecules*, 28(20), 7161.

- Marcial, P. E. M., & Méndez, M. M. S. (2022). Optimización de procesos de producción en medianas empresas del sector textil. *RECIAMUC*, 6(1), 226-234.
- Marcial-Coba, M. S., Saaby, L., Knøchel, S., & Nielsen, D. S. (2019). Dark chocolate as a stable carrier of microencapsulated *Akkermansia muciniphila* and *Lactobacillus casei*. *FEMS Microbiology Letters*, 366(2), fny290.
- Martinello, M., & Mutinelli, F. (2021). Antioxidant Activity in Bee Products: A Review. *Antioxidants*, 10(1), 71.
- Medina, M., Rojas, R., Bustamante, W., Loaiza, R., Martel, C., & Castillo, R. (2023). *Metodología de la investigación: Técnicas e instrumentos de investigación*. Instituto Universitario de Innovación Ciencia y Tecnología Inudi Perú.
- Medina-Torres, L., Núñez-Ramírez, D. M., Calderas, F., González-Laredo, R. F., Minjares-Fuentes, R., Valadez-García, M. A., Bernad-Bernad, M. J., & Manero, O. (2019). Microencapsulation of gallic acid by spray drying with aloe vera mucilage (aloe barbadensis miller) as wall material. *Industrial Crops and Products*, 138, 111461.
- Mehta, N., Kumar, P., Verma, A. K., Umaraw, P., Kumar, Y., Malav, O. P., Sazili, A. Q., Domínguez, R., & Lorenzo, J. M. (2022). Microencapsulation as a Noble Technique for the Application of Bioactive Compounds in the Food Industry: A Comprehensive Review. *Applied Sciences*, 12(3), 1424.
- Méndez, M. M. J. R., Medina, M. A. R., & Uribe, M. V. R. (2015). *Selección de un modelo para el análisis de datos de una prueba acelerada*.
- Meza, J. (2020). *Evaluación del aprovechamiento de la zanahoria naranja (Daucus carota) y zanahoria blanca (Arracacia xanthorrhiza), como harinas no tradicionales para la elaboración de pan dulce*. Guayaquil: Universidad Agraria del Ecuador.

- Miekus, N., Iqbal, A., Marszałek, K., Puchalski, C., & Świergiel, A. (2019). Green Chemistry Extractions of Carotenoids from *Daucus carota* L.—Supercritical Carbon Dioxide and Enzyme-Assisted Methods. *Molecules*, *24*(23), 4339.
- Moeller, H., Martin, D., Schrader, K., Hoffmann, W., & Lorenzen, P. Chr. (2018). Spray- or freeze-drying of casein micelles loaded with Vitamin D2: Studies on storage stability and in vitro digestibility. *Lwt*, *97*, 87-93.
- Moreno, T., De Paz, E., Navarro, I., Rodríguez-Rojo, S., Matías, A., Duarte, C., SanzBuenhombre, M., & Cocero, M. J. (2016). Spray Drying Formulation of PolyphenolsRich Grape Marc Extract: Evaluation of Operating Conditions and Different Natural Carriers. *Food and Bioprocess Technology*, *9*(12), 2046-2058.
- Motegaonkar, S., Shankar, A., Tazeen, H., Gunjal, M., & Payyanad, S. (2024). A comprehensive review on carrot (*Daucus carota* L.): The effect of different drying methods on nutritional properties and its processing as value-added foods. *Sustainable Food Technology*, *2*(3), 667-688.
- Nandi, K., Sen, D. J., Patra, F., Nandy, B., Bera, K., & Mahanti, B. (2020). Angle of repose walks on its two legs: Carr index and hausner ratio. *World Journal of Pharmacy and Pharmaceutical Sciences*, *9*(5), 1565-1579.
- Navarrete, L., & Tapia, M. (2022). “Desarrollo de un microencapsulado del extracto de chillangua (*Eryngium foetidum*), mediante secado por aspersión”.
- Nik Abd Rahman, N. F. N., Zubairi, S. I., Hashim, H., & Yaakob, H. (2024). Revolutionizing Spray Drying: An In-Depth Analysis of Surface Stickiness Trends and the Role of Physicochemical Innovations in Boosting Productivity. *Journal of Food Quality*, *2024*(1), 8929464.

- Norberto, M. L. F. (2020). Helado de zanahoria (*Daucus carota*) en base láctea enriquecido con extracto de alfalfa (*Medicago sativa*) como fuente de hierro. (*Doctoral dissertation, Universidad Agraria del Ecuador*).
- Nsengiyumva, E. M., & Alexandridis, P. (2022). Xanthan gum in aqueous solutions: Fundamentals and applications. *International Journal of Biological Macromolecules*, 216, 583-604.
- Nurhasanah, S., & Munarso, S. J. (2024). *Structured Lipids Based on Palm Oil*. In *Biomass Conversion and Sustainable Biorefinery: Towards Circular Bioeconomy* (pp. 193-206). Springer Nature Singapore.
- Ortega Machuca, M. A., & Suquitana Paidá, J. P. (2023). *Evaluación de la correlación entre las imágenes multiespectrales y el contenido de carotenoides en Jungia rugosa*.
- Ortiz León, F. X. (2020). *Desarrollo tecnológico de extracto de zanahoria (*daucus carota* l.) pasteurizado y determinación de vida útil*.
- Ozkan, G., Franco, P., De Marco, I., Xiao, J., & Capanoglu, E. (2019). A review of microencapsulation methods for food antioxidants: Principles, advantages, drawbacks and applications. *Food Chemistry*, 272, 494-506.
- Pacheco Narváez, L. J. (2022). *Evaluación del potencial antioxidante del extracto de *Margyricarpus pinnatus* (Lam.) Kuntze microencapsulado mediante secado por aspersión y su uso en la formulación de una bebida instantánea*.
- Pacheco Párraga, C. N., & Toapanta Quishpe, J. M. (2022). *Microencapsulación de un extracto de eneldo (*Anethum graveolens*) mediante secado por aspersión*.
- Palacios Pariaton, D. V. (2022). *Optimización de parámetros óptimos en la elaboración de pulpa de maracuyá (*Passiflora edulis*) y su periodo de vida útil por microbiología predictiva*.

- Pereira, J. A. (2021). *Efecto de trasplante de plántulas en parámetros morfoagronómicos del cultivo de zanahoria (Daucus carota)*. Ecuador: Universidad Técnica de Machala.
- Pereira, M. S. (2020). Indicadores microbiológicos de inocuidad en alimentos. *Labtrax*.
- Pérez Sánchez, C. F. (2022). *Microencapsulación de compuestos fenólicos de la planta de sunfo (Clionopodium nubigenum Kunth Kuntze), mediante secado por aspersión*.
- Phing, P. L., & Saleena, L. A. K. S. (2022). Effects of spray-drying parameters on physicochemical properties of powdered fruits. *Foods and Raw Materials*, 10(2), 235251.
- Piñero, J., Sifaoui, I., & López, A. (2021, agosto 22). *Desde el extracto crudo al compuesto puro*.
- Prió, J. (2024, abril 10). *¿Qué era antes: La zanahoria morada o la naranja?* La Gourmetería.
- Purkiewicz, A., Ciborska, J., Tańska, M., Narwojsz, A., Starowicz, M., Przybyłowicz, K. E., & Sawicki, T. (2020). The Impact of the Method Extraction and Different Carrot Variety on the Carotenoid Profile, Total Phenolic Content and Antioxidant Properties of Juices. *Plants*, 9(12), 1759.
- Rafiq, N., Gupta, N., Gupta, S., & Kour, D. P. (2022). *Bioactive Compounds and Health Benefits of Carrot*. 9(11), 506-510.
- Ramírez Hermosa, P. E., & Sánchez-Sáenz, C. M. (2023). Rediseño y optimización de un equipo de secado por aspersión mediante CFD. *Chilean journal of agricultural & animal sciences*, 39(2), 239-255.
- Ramos Quispe, I. (2024). *Evaluación de la microencapsulación de compuestos bioactivos extraídos de coronta de maíz morado (ZEA MYSL.) en matrices de maltodextrina y goma de tara*.
- Repajić, M., Cegledi, E., Zorić, Z., Pedisić, S., Elez Garofulić, I., Radman, S., Palčić, I., & Dragović-Uzelac, V. (2021). Bioactive Compounds in Wild Nettle (*Urtica dioica* L.) Leaves and Stalks: Polyphenols and Pigments upon Seasonal and Habitat Variations.

Foods, 10(1), 190.

Rezagholidade-Shirvan, A., Soltani, M., Shokri, S., Radfar, R., Arab, M., & Shamloo, E.

(2024). Bioactive compound encapsulation: Characteristics, applications in food systems, and implications for human health. *Food Chemistry: X*, 101953.

Ribeiro, A. M., Shahgol, M., Estevinho, B. N., & Rocha, F. (2020). Microencapsulation of Vitamin A by spray-drying, using binary and ternary blends of gum arabic, starch and maltodextrin. *Food Hydrocolloids*, 108, 106029.

Rico, D., & Martín-Diana, A. B. (2023). Nutracéuticos y alimentos funcionales aliados para la salud: La necesidad de un diseño “a medida”. *Nutricion Clinica y Dietetica Hospitalaria. Online*, 17(2), 103-118.

Ríos-Aguirre, S., & Gil-Garzón, M. A. (2021). Microencapsulación por secado por aspersión de compuestos bioactivos en diversas matrices: Una revisión. *TecnoLógicas*, 24(51), 206-229.

Rivera Flores, S. (2022). *Zanahoria*.

Rodríguez Galvan, L. E. (2023). *Análisis de Contenido de Ácido Málico*.

Rodríguez, O., & López, O. (2021). Extractos de plantas microencapsulados con potencial actividad antiviral: Una revisión general. *Revista de Investigación y desarrollo I+ D. Investigación y Desarrollo*, 45-48.

Rodríguez Pérez, L. (2022). *Desarrollo de metodología para estudio de vida útil acelerada en chocolates*.

Rodríguez-Hernández, L. M., Aragüez-Fortes, Y., & Pino, J. A. (2022). Microencapsulación de aceites vegetales mediante secado por aspersión. *Afinidad. Journal of Chemical Engineering Theoretical and Applied Chemistry*, 79(596).

Rojas, J. A. O. (2019). Microencapsulación de extractos de chile habanero (capsicum chinense) empleando secado por aspersión y CO₂ supercrítico. (*Doctoral dissertation, Universidad de Cádiz*).

- Saavedra Del Real, G., & Kehr Mellado, E. (2021, mayo 12). *Zanahoria (Daucus carota L., var. Sativus Hoffm.)*.
- Sánchez Tapia, D. K., & Villalba Cueva, M. D. (2024). *Elaboración de un suplemento alimenticio en polvo a partir de suero lácteo*.
- Santos Cubas, D. J. A., & Santos Cubas, L. M. (2021). *Microencapsulación del jugo de mora (Rubus Glaucus) usando goma garrofin en el proceso de atomización*.
- Sarabandi, K. H., Peighamardoust, S. H., Sadeghi Mahoonak, A. R., & Samaei, S. P. (2018). Effect of different carriers on microstructure and physical characteristics of spray dried apple juice concentrate. *Journal of Food Science and Technology*, 55, 30983109.
- Schlick-Hasper, E., Bethke, J., Vogler, N., & Goedecke, T. (2022). Flow properties of powdery or granular filling substances of dangerous goods packagings—Comparison of the measurement of the angle of repose and the determination of the Hausner ratio. *Packaging Technology and Science*, 35(10), 765-782.
- Setyaningsih, D., Kurniawan, D., & Muna, N. (2020). Encapsulation of ginger oleoresin with a combination of maltodextrin and skim milk powder as wall material. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 472(1), 012016. IOP Publishing.
- Shishir, M. R. I., & Chen, W. (2017). Trends of spray drying: A critical review on drying of fruit and vegetable juices. *Trends in Food Science & Technology*, 65, 49-67.
- Stazi, F. (2019). *Advanced building envelope components: Comparative experiments*. Butterworth-Heinemann.
- Tangarife, D. P. P., Arias, L. P., & Zapata, A. M. (2021). Aspectos tecnológicos de la microencapsulación de compuestos bioactivos en alimentos mediante secado por aspersión. *Ciencia & Tecnología Agropecuaria*, 22(1), 1-21.
- Tay, J. B. J., Chua, X., Ang, C., Subramanian, G. S., Tan, S. Y., Lin, E. M. J., Wu, W.-Y., Goh, K. K. T., & Lim, K. (2021). Effects of Spray-Drying Inlet Temperature on the

- Production of High-Quality Native Rice Starch. *Processes*, 9(9), 1557.
<https://www.mdpi.com/2227-9717/9/9/1557>
- Tobar, E. C., Chariguamán, J. V., Albán, A. G., Rivera, M. G., Espín, R. S., & Rivera, V. G. (2018). Aplicación de abonos orgánicos en la producción de zanahoria (*Daucus carota* L.). *Revista de Investigación Talentos*, 5(2), 26-35.
- Valle, I. (2023, noviembre 18). *El motivo por el que cambiaron de color a las zanahorias de púrpura al naranja actual*. 20minutos.
- Vélez, M. I. Z., Zambrano, A. M. V., & Arteaga, T. A. V. (2024). Microencapsulación en la industria alimentaria: Avances y tendencias actuales. *Ciencia y Tecnología Agropecuaria*, 9(2), 51-60.
- Villagrán de la Mora, B. Z., González Torres, Y. S., Montalvo González, E., García de Alba Verduzco, J. E., Ramírez Hernández, B. C., & Anaya Esparza, L. M. (2022). *Alimentos funcionales y su impacto en la salud humana*.
- Villena Carrión, J., Martínez Navarrete, N., Camacho Vidal, M., & Barrial Luján, A. I. (2023). *Perfil nutricional de la vaina del haba (vicia faba) y propiedades tecnofuncionales de su harina*.
- Xiao, Z., Xia, J., Zhao, Q., Niu, Y., & Zhao, D. (2022). Maltodextrin as wall material for microcapsules: A review. *Carbohydrate Polymers*, 298, 120113.
- Yang, H., Ameer, K., Chung, Y. B., Min, S., & Eun, J. (2023). Optimization of spray drying process for recovery of onion–stevia leaf hot water extract powder using response surface methodology. *Food Science & Nutrition*, 11(4), 1770-1784.
<https://doi.org/10.1002/fsn3.3207>
- Zapata, A. E. T. (2020). Alimentos funcionales, bases conceptuales y su aplicación en el diseño de planes de alimentación. *Biociencias*, 15(1).
- Zheng, B., & McClements, D. J. (2020). Formulation of More Efficacious Curcumin Delivery Systems Using Colloid Science: Enhanced Solubility, Stability, and Bioavailability.

Molecules, 25(12), 2791.

Zofia, N. Ł., Martyna, Z. D., Aleksandra, Z., & Tomasz, B. (2020). Comparison of the Antiaging and Protective Properties of Plants from the *Apiaceae* Family. *Oxidative Medicine and Cellular Longevity*, 2020(1), 5307614.