



UTMACH

FACULTAD DE CIENCIAS QUÍMICAS Y DE LA SALUD

CARRERA DE ALIMENTOS

**Obtención de un encapsulado de extracto de algarrobina, suero dulce y
banano, mediante liofilización.**

**CRUZ MARTINEZ LEONOR ISABEL
INGENIERA EN ALIMENTOS**

**DURAN MORENO LEIDY PAULINA
INGENIERA EN ALIMENTOS**

**MACHALA
2024**



UTMACH

FACULTAD DE CIENCIAS QUÍMICAS Y DE LA SALUD

CARRERA DE ALIMENTOS

Obtención de un encapsulado de extracto de algarrobina, suero dulce y banano, mediante liofilización.

**CRUZ MARTINEZ LEONOR ISABEL
INGENIERA EN ALIMENTOS**

**DURAN MORENO LEIDY PAULINA
INGENIERA EN ALIMENTOS**

**MACHALA
2024**



UTMACH

FACULTAD DE CIENCIAS QUÍMICAS Y DE LA SALUD

CARRERA DE ALIMENTOS

TRABAJOS EXPERIMENTALES

Obtención de un encapsulado de extracto de algarrobina, suero dulce y banano, mediante liofilización.

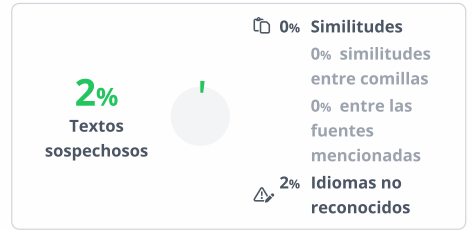
**CRUZ MARTINEZ LEONOR ISABEL
INGENIERA EN ALIMENTOS**

**DURAN MORENO LEIDY PAULINA
INGENIERA EN ALIMENTOS**

SIGUENZA TOLEDO JOAQUIN DARWIN

**MACHALA
2024**

OBTENCIÓN DE UN ENCAPSULADO DE EXTRACTO DE ALGARROBINA, SUERO DULCE Y BANANO, MEDIANTE LIOFILIZACIÓN.



Nombre del documento: TESIS LADY-LEONOR.pdf
ID del documento: 999f9deff626ccc7a7b753054dbdf206fd5844ec
Tamaño del documento original: 1,56 MB
Autores: LEONOR ISABEL CRUZ MARTÍNEZ, LEIDY PAULINA DURAN MORENO

Depositante: JOAQUIN DARWIN SIGUENZA TOLEDO
Fecha de depósito: 10/2/2025
Tipo de carga: interface
fecha de fin de análisis: 10/2/2025

Número de palabras: 16.494
Número de caracteres: 104.243


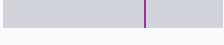

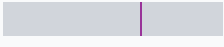
Ubicación de las similitudes en el documento:



Fuentes principales detectadas

Nº	Descripciones	Similitudes	Ubicaciones	Datos adicionales
1	riunet.upv.es https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/56749/SAPPER - MEDIDA DE LAS PROPIEDADES... 3 fuentes similares	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (41 palabras)
2	www.controlsanitario.gob.ec https://www.controlsanitario.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2014/07/ec.nte_1334.3... 1 fuente similar	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (41 palabras)

Fuentes con similitudes fortuitas

Nº	Descripciones	Similitudes	Ubicaciones	Datos adicionales
1	www.redalyc.org Caracterización del aceite de semilla de la especie Prosopis jul... https://www.redalyc.org/journal/5826/582661248004/html/	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (13 palabras)
2	m.riunet.upv.es https://m.riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/83506/Talens - Determinación de la isotherm...	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (13 palabras)
3	1library.co Cálculo del tiempo de residencia - Diseño de un proceso de obtenció... https://1library.co/article/cálculo-tiempo-residencia-diseño-proceso-obtención-harina-partir.z...	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (11 palabras)
4	CEDILLO_LÓPEZ_COMPILATIO.pdf FORMULACIÓN DE UN UNTABLE DE ... #aaca52 El documento proviene de mi biblioteca de referencias	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (10 palabras)

CLÁUSULA DE CESIÓN DE DERECHO DE PUBLICACIÓN EN EL REPOSITORIO DIGITAL INSTITUCIONAL.

Las que suscriben, CRUZ MARTINEZ LEONOR ISABEL y DURAN MORENO LEIDY PAULINA, en calidad de autoras del siguiente trabajo escrito titulado Obtención de un encapsulado de extracto de algarrobina, suero dulce y banano, mediante liofilización., otorgan a la Universidad Técnica de Machala, de forma gratuita y no exclusiva, los derechos de reproducción, distribución y comunicación pública de la obra, que constituye un trabajo de autoría propia, sobre la cual tienen potestad para otorgar los derechos contenidos en esta licencia.

Las autoras declaran que el contenido que se publicará es de carácter académico y se enmarca en las disposiciones definidas por la Universidad Técnica de Machala.

Se autoriza a transformar la obra, únicamente cuando sea necesario, y a realizar las adaptaciones pertinentes para permitir su preservación, distribución y publicación en el Repositorio Digital Institucional de la Universidad Técnica de Machala.

Las autoras como garantes de la autoría de la obra y en relación a la misma, declaran que la universidad se encuentra libre de todo tipo de responsabilidad sobre el contenido de la obra y que asumen la responsabilidad frente a cualquier reclamo o demanda por parte de terceros de manera exclusiva.

Aceptando esta licencia, se cede a la Universidad Técnica de Machala el derecho exclusivo de archivar, reproducir, convertir, comunicar y/o distribuir la obra mundialmente en formato electrónico y digital a través de su Repositorio Digital Institucional, siempre y cuando no se lo haga para obtener beneficio económico.


CRUZ MARTINEZ LEONOR ISABEL
0705568715


DURAN MORENO LEIDY PAULINA
0750741134

DEDICATORIA

Primero a Dios, quien ha sido mi sustento el día a día, quien me ha dado las fuerzas y sabiduría para seguir adelante y no desmayar, porque así lo dice su palabra (Josué 1:9). A mí hijo, quien ha sido mi motivación y mi ganas de seguir adelante, mi pequeño bebé por siempre a quien amo con todo mi corazón. A mis padres y hermanos, por su amor incondicional, por su apoyo constante y sus enseñanzas, su confianza en mi me impulsa a seguir adelante.

Y finalmente a mi esposo, quien ha sido y es mi compañero, mi amigo y el amor de mi vida, quien me ha conocido en el transcurso de la carrera y es mi ayuda idónea.

Leonor Isabel Cruz Martinez

DEDICATORIA

A Dios, en quién he encontrado fuerzas para empezar cada día, en quién siempre he encontrado y encontraré verdadera compañía y refugio. A mis padres, Mariana Moreno y Pablo Durán, por ellos he llegado hasta estos momentos. A mi hermana, y hermanos mis más sinceros agradecimientos y sepan que aunque no lo digo los quiero una eternidad. A mi abuelita, que a la distancia siento su apoyo y consejos. A mi abuelito, el papi mom, que sepa que a mi alma aún le duele no contar con su presencia.

También va dirigido a mi tutor, Ing. Joaquín, por siempre contar con su apoyo y haberme escuchado, por decirme que lo podía hacer, sus consejos, amistad y sobre todo sus enseñanzas en torno a esta carrera.

Para mi gordita y mi negrito, porque mi anhelo será reencontrarme con ellos.

Leidy Paulina Durán Moreno

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios, por su amor y sabiduría que me han ayudado a superar cada uno de los obstáculos y mantener la fe aún cuando parecía flaquear. A Él le dedico todas mis victorias sabiendo que es el fundamento de todo lo que soy y lo que puedo alcanzar. A mí hijo porque aunque él no lo sabe le agradezco por permitirme ser su mamá, estoy tan orgullosa por eso. A mis padres por hacer de mí una mujer capaz de mucho y por el esfuerzo que día a día hacen por mí. A mis hermanos porque cada uno de ellos aportan a mi vida luz y amor. A mi suegra porque es como mi segunda mamá quien ha abierto sus puertas para hacer de su casa mi segundo hogar.

A mi esposo quien me ha ayudado en todos los ámbitos posibles, quien me ha alentado en todo este proceso, y quien ha sufrido, llorado y festejado cada uno de mis éxitos y derrotas.

A mi tutor de tesis, por su sabiduría, consejos y motivación que fueron clave para el éxito de este proyecto. A mi compañera de tesis, Leidy Durán, por hacer esto posible.

Y finalmente, gracias a todas las personas, amigos y familiares que de alguna u otra manera contribuyeron a mi vida académica.

A todos ustedes, mi eterna gratitud.

Leonor Isabel Cruz Martinez

AGRADECIMIENTO

Eternamente agradecida a Dios, mi fuerza y único confidente en mi día a día. Un inmenso e infinito agradecimiento a mi mamá y a mi papá, lo adoro un montón.

GRACIAS a mi tutor, Ing. Joaquín, mis más sinceros respetos por ser un guía en mi vida académica y el haberme apoyado sinceramente. Al ing. Fabián Cuenca, quien también representó durante todo este tiempo una persona de mucha confianza y amabilidad.

A todos mis profes quienes formaron parte de ese grupito de ing que los llevaré en el corazón, gracias por su tiempo. Además, de estar agradecida con el Ing. Bryan Armijos por la ayuda prestada.

Y para todas las personas que en algún momento me apoyaron y desearon lo mejor para mí, mi eterna gratitud.

Leidy Paulina Durán Moreno

Resumen

La calidad de un alimento pulverizado está determinado por sus propiedades de reconstitución y manipulación para su almacenamiento lo cual depende directamente de la composición química y la presencia de coadyuvantes que mejoran su estabilidad y solubilidad lo cual facilita su procesamiento. La finalidad del presente estudio fue obtener un encapsulado de extracto de algarrobina, suero dulce y banano, mediante liofilización; evaluar su nivel de aceptación a nivel sensorial; caracterizarlo en parámetros físicos, químicos, nutricionales y funcionales (de reconstitución) y estimar el tiempo de vida útil del producto final. Para este fin se implementó un estudio cuantitativo, descriptivo y cuasiexperimental.

Se obtuvo un polvo alimenticio encapsulado con maltodextrina DE 10-15 mediante liofilización a partir de una mezcla rehidratada optimizada según una evaluación sensorial de impresión general, con una concentración de 22,53 °Brix y 17,67% de agente coadyuvante. Se ha demostrado la influencia de la maltodextrina en la neutralización de la mezcla líquida y en el rendimiento del proceso de liofilización. Presentó un tamaño de partícula de 850 μm , de muy buena fluidez ($6,66 \pm 0,03$) y baja cohesividad ($1,07 \pm 0,03$), con un grado de solubilización del 91,84 %. Mediante análisis de laboratorio externo, se demuestra el aporte de proteínas y minerales como el calcio, hierro y magnesio para el porcentaje del Valor Diario Recomendado. La isoterma de sorción fue ajustada al modelo GAB con un correlación (R^2) del 98 % aplicando el método gravimétrico estático a 25 °C y 75 % de humedad relativa, a partir de la cual se conoció la pendiente de la isoterma, una variable necesaria para el cálculo de vida útil del polvo envasado en bolsas PET metalizado, basado en las leyes de Fick y Henry (Labuza, 1982; Heiss & Eichner, 1971) con un tiempo de 4,26 meses.

Palabras claves: liofilización, maltodextrina, encapsulamiento, reconstitución, vida útil

Abstract

The quality of powdered food products is largely determined by their reconstitution properties and storage stability, which are directly influenced by their chemical composition and the presence of additives that enhance stability and solubility. These factors also play a crucial role in facilitating processing. This study aimed to develop an encapsulated product using carob extract, whey, and banana, through lyophilization (freeze-drying). The study also sought to evaluate the product's sensory acceptance, characterize its physical, chemical, nutritional, and functional (reconstitution) properties, and estimate its shelf life.

A quantitative, descriptive, and quasi-experimental approach was employed. The encapsulated food powder was produced using maltodextrin DE 10-15 through freeze-drying. The mixture was optimized based on sensory evaluations, with a concentration of 22.53 °Brix and 17.67% adjuvant agent. The study demonstrated maltodextrin's role in neutralizing the liquid mixture and improving the efficiency of the freeze-drying process. The resulting powder had a particle size of 850 μm , excellent fluidity (6,660.03), low cohesiveness (1,070.03), and a high solubility rate of 91.84%. External laboratory analyses confirmed the product's nutritional value, highlighting its protein content and the presence of essential minerals such as calcium, iron, and magnesium, which contribute to the Recommended Daily Value (RDV). The sorption isotherm was modeled using the GAB (Guggenheim-Anderson-de Boer) equation, achieving a correlation coefficient (R^2) of 98%. This was determined using the static gravimetric method at 25°C and 75% relative humidity. The slope of the isotherm, a critical variable for shelf-life estimation, was derived from this model. The shelf life of the powder, packaged in metallized PET bags, was calculated based on Fick's and Henry's laws (Labuza, 1982; Heiss & Eichner, 1971), resulting in an estimated shelf life of 4.26 months.

Keywords: freeze-drying, maltodextrin, encapsulation, reconstitution, shelf life

ÍNDICE GENERAL

CAPÍTULO I	14
PREFACIO	14
HIPÓTESIS	18
OBJETIVOS	18
MARCO TEÓRICO	20
1.1 Antecedentes Investigativos	20
1.2 Algarrobo	22
1.2.1. Composición Nutricional	22
1.2.2. Usos	24
1.3 Suero	26
1.3.1 Composición nutricional	27
1.3.2 Usos	28
1.3.3 Estabilidad térmica de las proteínas	29
1.4 Banano	30
1.4.1 Composición nutricional	31
1.4.2 Usos	32
1.5 Declaración de nutrientes	32
1.6 Encapsulamiento	35
1.6.1 Maltodextrina	35
1.7 Liofilización	36
1.8 Caracterización fisicoquímica y nutricional de polvos comestibles	37
1.8.1 Sólidos solubles y sólidos totales	37
1.8.2 pH	37
1.8.3 Contenido de humedad	37
1.8.4 Actividad de agua	37
1.8.5 Análisis nutricional	38
1.9 Caracterización reológica de polvos comestibles	38
1.9.1 Granulometría o distribución del tamaño de partícula	38
1.9.2 Higrscopicidad	39
1.9.3 Densidad aparente	39
1.9.4 Densidad compactada o tangencial	39
1.9.5 Fluidez y cohesión	40
1.9.6 Grado de apelmazamiento	40
1.9.7 Solubilidad	40
1.10 Evaluación sensorial	40
1.11 Tiempo de vida útil	41

1.12 Isotherma de sorción	42
CAPÍTULO II	45
MATERIALES Y MÉTODOS	45
2.1. Obtención de los extractos	45
2.1.1. Algarrobo	45
2.1.2 Suero dulce	46
2.1.3 Banano	47
2.2 Mezcla	48
2.3 Liofilización del extracto con el agente encapsulante	48
2.4 Rendimiento de la liofilización	49
2.5 Caracterización fisicoquímica y nutricional	50
2.5.1 Sólidos solubles y sólidos totales	50
2.5.2 pH	50
2.5.3 Contenido de humedad	50
2.5.4 Actividad de agua	51
2.6 Caracterización reológica	51
2.6.1 Granulometría o Distribución del tamaño de partícula	51
2.6.2 Higroscopicidad	52
2.6.3 Densidad aparente	52
2.6.4 Densidad compactada o tangencial	52
2.6.5 Fluidez y cohesión	53
2.6.6 Grado de apelmazamiento	53
2.6.7 Solubilidad	54
2.7 Evaluación sensorial	54
2.8 Composición nutricional	55
2.9 Isotherma de sorción	55
2.10 Tiempo de vida útil	57
CAPÍTULO III	59
RESULTADOS	59
3.1. Tratamientos estadísticos	59
3.2 Rendimiento de la liofilización	62
3.3 Evaluación sensorial	63
3.4 Tratamiento estadístico	63
3.4.1 Diseño Experimental	63
3.4.2 Análisis de varianza	65
3.4.3 Optimizador de la variable de respuesta	66
3.5 Caracterización físico-química del polvo reconstituido	67
3.6 Propiedades de reconstitución	68

3.7 Caracterización nutricional	72
3.8 Isoterma de sorción	73
3.9 Tiempo de vida útil	76
CONCLUSIONES	80
RECOMENDACIONES	81
REFERENCIAS	83
BIBLIOGRAFÍA	92
ANEXOS	94

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Composición general del suero y su distribución	27
Tabla 2. Aplicaciones y beneficios del uso del lactosuero	28
Tabla 3. Diferentes tipo de alimentos y su porcentaje de higroscopicidad	39
Tabla 4. Clasificación de metodos de prueba en evaluación sensorial	41
Tabla 5. Clasificación de la fluidez del polvo basa en el índice de Car (CI)	53
Tabla 6. Clasificación de la cohesividad basa en el índice de Hausner (HR)	53
Tabla 7. Tratamientos con grados brix y maltodextrina	59
Tabla 8. Caracterización físico-química de los extractos obtenidos previo a la mezcla:	60
Tabla 9. Caracterización físico-química de los extractos obtenidos previo a la mezcla:	61
Tabla 10. Efecto del porcentaje de maltodextrina en el pH de cada tratamiento	61
Tabla 11. Rendimiento de la liofilización por cada tratamiento	62
Tabla 12. Resultadosde la evaluación sensorial del polvo	64
Tabla 13. Análisis de varianza	65
Tabla 14. Caracterizacion físico-química del polvo reconstituido	67
Tabla 15. Propiedades funcionales del encapsulado en polvo	68
Tabla 16. Propiedades funcionales del encapsulado en polvo	72
Tabla 17. Composición nutricional del encapsulado	72
Tabla 18. Datos experimentales de las muestras almacenadas a distintas aw	73
Tabla 19. Características del envase	76

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Composición químico nutricional de la pulpa de algarrobo	23
Cuadro 2. Composición de aminoácidos del algarrobo	24
Cuadro 3. Requisitos físico-químicos del suero de leche líquido	27
Cuadro 4. Comparativa de composición del banano Cavendish y Gros Micher	31
Cuadro 5. Valor Diario Recomendado (VDR) de macronutrientes	33
Cuadro 6. Valor Diario Recomendado (VDR) de micronutrientes	34
Cuadro 7. Condiciones para la declaración de propiedades (La información debe expresarse por 100 g o 100 cm ³ (ml) o por porción)	34
Cuadro 8. Sales con su actividad de agua correspondiente	56
Cuadro 9. Formulaciones de polvo con diferentes concentraciones de sólidos solubles y maltodextrina	60

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Porcentaje de producción de banano cosechado en El Ecuador	30
Figura 2. Isoterma de sorción lineal	43
Figura 3. Flujograma de extracto de algarrobo	46
Figura 4. Flujograma de suero dulce concentrado	47
Figura 5. Flujograma de extracto de banano	48
Figura 6. Flujograma del liofilizado	49
Figura 7. Ejemplo de colocación de la muestra y la sal saturada en un envase hermético	55
Figura 8. Representación gráfica de las respuestas de aceptación	63
Figura 9. Ecuación de regresión de la variable optimizada	66
Figura 10. Optimizador de la variable de respuesta	66
Figura 11. Gráfica de contorno	67
Figura 12. Isoterma de sorción del encapsulado almacenados a 25 °C	74
Figura 13. Aplicación del modelo de BET a los datos experimentales	74
Figura 14. Aplicación del modelo de GAB a los datos experimentales	75
Figura 15 . Humedad y aw del alimento respecto al tiempo	79

CAPÍTULO I

PREFACIO

El aprovechamiento de residuos agroindustriales permite valorizar los nutrientes y sus propiedades funcionales para la elaboración de alimentos de buena calidad, y el surgimiento o aplicación de los múltiples métodos tecnológicos de transformación y/o conservación permite prolongar su vida útil y adaptar las condiciones de almacenamiento para conseguir su mayor rendimiento (Monsterrat y Sánchez, 2017). Esto resulta más sostenible y rentable si de materias primas locales se trata, es decir, si se identifican las etapas o procesos donde se generan los desechos alimenticios a lo largo de la cadena alimentaria y mediante la gestión de estos residuos obtener o industrializar nuevos productos a partir de fuentes disponibles por su elevada producción (FAO, 2019). Este es el caso del algarrobo, lactosuero y banano, que están al alcance de un posterior procesamiento, donde las vainas de algarrobo no son empleadas como un alimento convencional dentro de Ecuador y en las provincias donde mayor florecimiento se da son consideradas como malezas. El lactosuero es un subproducto en el proceso de elaboración de quesos; y el extracto de banano como un vertido de la cocción de esta fruta (USDA, 2014 ; Posada et al., 2011).

Por otro lado, está la tecnología del procesamiento que permite la industrialización de este tipo de subproductos aumentando su vida útil. Según el tipo de alimento que se esté tratando y la composición química, un alimento puede deteriorarse de diversas maneras, ya sean estos cambios químicos, físicos o biológicos los cuales pueden acentuarse durante el tiempo de almacenamiento generando cambios indeseables en las características organolépticas, nutricionales y funcionales de este (Díaz, 2009). Ante ello, están disponibles una gran variedad de métodos de conservación temperaturas reducidas, altas temperatura, modificando el contenido de agua, empleando sustancias químicas o por métodos emergentes, las cuales además de mejorar su estabilidad también puede causar alteraciones en la calidad nutricional y sensorial, así como un aumento en su costo y necesidades especiales para almacenarlos. (Aguilar Morales, 2012) De estos se destaca el control del agua o humedad que el alimento puede absorber y provocar la aglutinación de polvos. (Vidaurre, 2016) al llegar al indicador crítico de humedad el

cual es del 5% según la Normativa INEN 2471 o al alcanzar los valores críticos de la actividad de agua en alimentos (0,35 - 0,50) que genera la aglutinación de polvos que definen la objetividad del alimento y su vida útil, además de la influencia de factores ambientales como la humedad relativa de almacenamiento la transferencia de masa (agua) que se genera a través de envases o empaques permeables como son el plástico, cartón y papel (Fernández & García, 2020).

Ante esta problemática se han aplicado técnicas como la liofilización o secado por aspersion que permiten obtener alimentos en polvos que pueden reconstituirse y consumirlos de forma instantánea, recomendado para alimentos cuya composición sea termosensible, y requieran de una rápida reconstitución (Aguilar Morales, 2012). Se considera el tipo de alimento a liofilizar, ya que los constituyentes de la matriz definen los parámetros de presión y tiempo para el funcionamiento del equipo, obteniendo un producto en polvo cuya calidad se ve determinado según sus propiedades funcionales para su consumo como es la solubilidad, dispersabilidad, humectabilidad y fluidez cuando se disuelven en un medio acuoso (Santisteban, 2022). Los polvos, al tratarse de alimentos bajos en agua, presentan problemas como el apelmazamiento o pegajosidad entre las partículas a tal punto que pierden su capacidad de hidratarse y terminan en el colapso, considerando que estos fenómenos son mucho más frecuentes y rápidos cuando el polvo es rico en azúcares de bajo peso molecular o alto en fibra con una temperatura de transición vítrea baja, constituido por partículas más finas, es menos poroso, y está expuesto a condiciones desfavorables como la humedad ambiental (Sapper et al., 2016).

Teniendo en cuenta estos inconvenientes, la industria opta por emplear sólidos de alta masa molecular que controlan la higroscopicidad del polvo y reducen la aglutinación de este haciendo que estos absorben menos agua, entre estos compuestos se puede mencionar a la maltodextrina, inulina, celulosa, almidones, etc. Esto hace que los polvos sean más fluidos, con cohesividad baja y mayor fluidez (Ruano et al., 2018). Por otro lado también está la función de protección y de barrera de los envases o recipientes que contiene el alimento liofilizado frente a la absorción de agua aunque estos no impiden el total ingreso de la humedad que agravan este problema. Además se debe considerar que al elaborar un polvo se espera percibir la ventaja que el producto no requiere de condiciones específicas como la refrigeración, basta con almacenarlos en los envases que los protejan de factores ambientales externos.

Las maltodextrinas son derivados de la hidrólisis del almidón de distintas fuentes de cereales y de tubérculos, empleados como agentes de textura o como encapsulantes de alimentos en polvo por su bajo contenido de agua. Cuando son usadas como solutos que permiten obtener un polvo liofilizado es importante analizar la influencia de su adición en propiedades funcionales y reconstituyentes ya que la granulometría, solubilidad, higroscopicidad y fluidez determinan la calidad funcional y tecnológica del alimento durante el almacenamiento y consumo. En cuanto a los efectos nutricionales, las bebidas que contienen maltodextrina presentan un tránsito intestinal más rápido y se absorben más rápido, aportan una menor sensación de saciedad a diferencia de aquellas que usan carbohidratos simples ya que resultan ser menos dulces (Alfaro, 2021).

La calidad de un alimento en polvo se ve directamente afectado por la humedad presente ya sea por su contenido acuoso o por la humedad ambiental en el que se encuentra almacenado, hasta cierto punto que alcanza un límite de aceptabilidad sin afectar el nivel de inocuidad, es decir, el alimento ha llegado hasta el fin de su vida útil (Vidaurre, 2016). El límite de aceptabilidad marca el fin de la vida útil de un producto, cuyo parámetro está relacionado con la calidad ya sea por deficiencia sensorial o por la pérdida de calidad nutricional más no está relacionada con la seguridad; identificándolo para estimar el valor de conservación dentro de un tiempo de almacenamiento y comercialización (Vidaurre, 2016). Un alimento está expuesto a cambios constantes experimentando reacciones adversas y cuya tasa de deterioro se puede predecir mediante modelos o expresiones matemáticas, y si este está empacado en materiales permeables como el plástico se puede aplicar leyes como las de Fick y Henry que se basan en la permeabilidad del envase (Fernández & García, 2020) y cuya ganancia de humedad se determina a partir de la isoterma de sorción en estado estacionario su expresión o ecuación incluye la humedad de equilibrio y la permeancia al vapor de agua del material del empaque (Vidaurre, 2016).

El desperdicio de alimentos y la hambruna mundial son problemas de gran impacto en la seguridad alimentaria, lo que conlleva a la sobreexplotación de recursos naturales como materia prima para la elaboración de alimentos, desatendiendo los subproductos de una línea de producción y generando mayor contaminación y pérdidas económicas en todas las partes involucradas de la cadena alimentaria (del Río Anguita et al., 2023). Otro problema que conlleva la pérdida y desperdicio de alimentos (PDA) incluye el déficit de nutrientes correspondientes a

una alimentación basada en alimentos altamente procesados y bajos en nutrientes de interés para la salud humana, así como a los millones de personas que padecen de hambre en todo el mundo. (FAO, 2019)

La PDA se puede expresar tanto en la cosecha, producción, y distribución de los alimentos que representan verdaderos desafíos en la seguridad alimentaria. A nivel mundial se pierden 10 mil hectáreas de bosques de algarrobo para la producción de carbón de leña, un 15 % se destina para el alimento animal (ganado) y el 35 % es usado por mayoristas para elaborar diversos alimentos como jarabes, cócteles, dulces, harinas, sucedáneos del café, etc., preparados de manera artesanal (Rivas, 2015); de cada 100 litros de leche, 90 litros se convierten en suero de leche constituido por el 55 % de los nutrientes de la leche (Cámara de Comercio de Guayaquil, 2019) y de ello solo el 10 % es usado como ingrediente en polvo por problemas constitucionales que afectan al sector lechero pero que limitan la diversificación de productos ricos en proteínas de gran valor biológico, tanto así que la variedad de productos con contenido de lactosuero que se comercializan en el país la mayoría son importados y solo 56 son nacionales (EL COMERCIO, 2019); por último Ecuador es el país exportador de banano número uno del mundo, produciendo esta fruta principalmente en sus variedades Gros Michel y Cavendish en la región Costa, en las provincias de Los Ríos, Guayas y El Oro (Cardona & Velásquez, 2012). El banano Gross Michell era la única variedad producida en el Ecuador, pero desde que en 1996 se perdió el 40 % en las bananeras por ser cultivos más propensos a enfermedades fue desplazado por las variedades Cavendish, orito o baby banana, y banano rojo, encontrando que Cavendish presenta el doble de rendimiento por hectárea que la variedad Gross, pero que actualmente sigue siendo el sustento de miles de agricultores (Saltos, 2016) y su bajo aprovechamiento significa no explotar el sabor frutal y más dulce del banano seda en la formulación de productos de buena calidad.

Por otro lado, los alimentos constituidos mayoritariamente por agua son altamente perecibles y una manera de mejorar su conservación es reduciendo su actividad acuosa, no obstante por el bajo contenido de agua de los alimentos en polvo hacen que estos sean altamente higroscópicos sobre todo si se trata de matrices ricos en azúcares y fibra, por ello identificar qué estrategia se podría aplicar para solucionar este problema tecnológico resulta muy importante para mejorar la calidad funcional del mismo a tal punto que su reconstitución no represente problema alguno para el consumidor (Sandoval, 2015).

La justificación del trabajo radica en que el sector de la industria de alimentos, la seguridad alimentaria y la producción sostenible son temas que cada vez genera mayor preocupación en el consumidor, y la formulación de alimentos que se adapten a esta demanda representa la capacidad de una empresa por cumplir con estas expectativas que responden a principios de innovación, adaptación, y diferenciación. Promover la industrialización de subproductos para reducir la cantidad de desechos, la contaminación ambiental y mejorar la seguridad alimentaria se presentan como el principal enfoque de este trabajo, considerando que es posible elaborar un producto de buen contenido nutricional con materia prima local. El proyecto de investigación desarrollado partió de la obtención de un encapsulado de extracto de algarrobina, suero dulce y banano, mediante liofilización considerando el aporte nutricional de la materia prima empleada como fuente que complementa el buen estado del organismo del consumidor.

HIPÓTESIS

Hipótesis de Investigación

H0: No hay diferencia significativa de los tratamientos de un encapsulado de extracto de algarrobina, suero dulce y banano mediante liofilización.

Ha: Hay diferencia significativa de los tratamientos de un encapsulado de extracto de algarrobina, suero dulce y banano mediante liofilización.

OBJETIVOS

Objetivo General

Obtener un encapsulado de extracto de algarrobina, suero dulce y banano, mediante liofilización.

Objetivos Específicos:

- Elaborar un encapsulado de extracto de algarrobina, suero dulce y banano mediante liofilización y aplicar una evaluación sensorial de los tratamientos elaborados para determinar la mezcla con mayor aceptación.
- Caracterizar las propiedades físicas, químicas, nutricionales y de reconstitución al polvo comestible de mayor aceptación sensorial a través de la determinación de sus parámetros.

- Determinar el tiempo de vida útil mediante la isoterma de sorción del liofilizado construida por el método gravimétrico estático.

MARCO TEÓRICO

1.1 Antecedentes Investigativos

El comportamiento reológico y funcional de los alimentos en polvo dependen estrictamente de la composición química y el tipo de agentes mejoradores añadidos como los antiaglutinantes, anti humectantes y estabilizantes, afectando directamente en sus propiedades de reconstitución. En un estudio realizado por Ruano et al. (2018) con enfoque en conocer los efectos de la cinética de absorción de agua en un jugo de caña pañalera (JCP) y concentrado proteico de lactosuero dulce (WPC) en polvo obtenida mediante secado por aspersion, siendo una matriz alta en azúcar (sacarosa), muy inestable al paso del estado amorfo al gomoso, de baja temperatura vítrea (T_g) y alta higroscopicidad. El polvo de JCP+WPC dio como resultado, al estar en contacto con el agua se solubiliza desde la superficie, haciendo que el hundimiento sea casi nulo y un tiempo de humectabilidad que se incrementa conforme pasa el tiempo de exposición a la humedad ambiental (70 %); después de 4 horas el tamaño de partícula aumentó de 14,62 micras a 24,2 micras con la pérdida de dentaciones, y la pérdida de su estructura original 12 horas después; la sacarosa del JCP y la lactosa de WPC al sistema disminuye la T_g y aumenta la inestabilidad de las proteínas haciendo que la mezcla (proteínas-azúcar) no sea compatible.

Jinapong et al., (2008) durante la producción de leche de soya concentrada en polvo obtenido por secado por pulverización y aglomerado en lecho fluidizado con maltodextrina DE 14 a 0 %, 5 %, 10 %, 15 % y 20 % p/v. encontró que a mayor era el contenido de sólidos de la leche soya (7 %, 9.9 %, 13 %, 15.6 %, 20.7 % p/p), es decir aquella muestra que no fue ultrafiltrada, mayor era el tamaño de las partículas del polvo y menos arrugadas, haciendo que la cohesividad sea alta y polvos de baja fluidez ya que mayor era la superficie de exposición por tanto mayor el porcentaje de humedad inicial; además que la ultrafiltración permite eliminar parcialmente los azúcares (sacarosa) haciendo que la higroscopicidad disminuye al igual que el apelmazamiento; mientras que a mayor la concentración de aglutinante (10 % maltodextrina) menor era la cohesión entre partículas, más fluido resultaba el polvo, menor era el tiempo de humectación y mayor su dispersabilidad.

Con respecto a los efectos de la liofilización, Amaya et al., (2022) encapsuló jugo de arándano andino (13,17°Brix, pH 2.91) mezclando maltodextrina y goma arábica y obtuvo un rendimiento de liofilización del 94-96%, polvos con un contenido de humedad entre el 4 % y el 5 %, con una actividad de agua de 0,27, alta solubilidad en agua (91 %), pero con una densidad aparente más alta en los liofilizados con maltodextrina:goma arábica en proporción 75:25 y 100:0, respecto a las propiedades funcionales obtuvieron: un índice de Hausner (1,01) e índice de Carr (3,49) considerando una polvo de baja cohesividad y de fluidez libre respectivamente y un ángulo de reposo de 21,01 como un liofilizado de excelente fluidez. Además, respecto a la densidad, los polvos que tienen una densidad aparente y compactada más baja, el índice Hausner es menor a 1,25 lo que significa que se tratan de polvos con libre fluidez y poco cohesivos (menos grumosos) con bajo Índice de Carr (<10%) y con ángulos de reposo entre 25-35° como indicadores de excelente fluidez (Amaya et al., 2022).

Por otro lado, en temas de la humectabilidad, solubilidad e hinchazón relacionado con el tamaño de partícula de liofilizados de cáscara de mango con un 5 % de humedad en base húmeda y actividad de agua ($a_w=0,3$), Serna et al., (2015) encontró que para este tipo de matriz, el tiempo de humectabilidad del polvo aumentó conforme aumentaba el diámetro de las partículas (250 μm) debido a una mayor porosidad además de que las variedades de liofilizados cuyo contenido etéreo o graso no fue retirado presentaron una menor humectación; la solubilidad en agua aumentaba hasta un 70,35% cuanto menor el tamaño de partícula (180 μm) así como en aquellas variedades de mango con un contenido más bajo en fibra insoluble y con microestructuras más amorfas; debido a la alta humectabilidad los polvos no presentaron una hinchazón, propiedad que permite que las partículas sedimenten más lentamente.

Para la predicción de la vida útil de los alimentos en polvo, Mosquera (2010) aplicó el método gravimétrico de Spiess y Wolf, (1987) y Wolf et al., (1984). empleando sales saturadas de actividad de agua conocidas para obtener humedades relativas entre 11 y 85 %, colocando las muestras en un ambiente de temperatura controlada (20 °C) durante 5 semanas con intervalos de 8 días para controlar el peso hasta obtener un valor constante, es decir hasta que la cámara tienen la misma humedad relativa a la muestra. La isoterma de sorción permitió identificar que el borjón en polvo por liofilización aumentaba el contenido de humedad a medida que aumentaba la

adición de solutos de alto peso molecular (maltodextrina) pero disminuye la higroscopicidad del borojó liofilizado.

Por otro lado, González (2022) encontró una vida útil de 4.21 meses en la pulpa de ayrampo en polvo envasada y almacenada a 30°C y 80-88% de humedad relativa aplicando el modelo Heiss & Eichner (1971) mediante la construcción de la isoterma de sorción ajustada al modelo GAB.

1.2 Algarrobo

El algarrobo es considerado una leguminosa y erróneamente una maleza no deseable hasta una competencia contra especies forrajeras. (Correa y Bernal, 1995). Según Rivas (2015) solo en Perú, México y Brasil se han dedicado a cultivar y recolectar este fruto; en Ecuador, se dispone de dos especies de algarrobos de las 3 existentes, encontrándose principalmente en la provincia de Manabí la *Prosopis pallida* y *Prosopis affinis*, aunque también están ubicadas geográficamente en el perfil costero como Los Ríos, El Oro, Guayas y Santa Elena.

El género *Prosopis* tiene importancia ecológica por la capacidad de captar nitrógeno que contribuye en la fertilidad del suelo y en contrarrestar la desertificación (FAO) y en la retención de agua a través de sus raíces lo que le permite crecer en zonas áridas. El fruto es una leguminosa constituida por la vaina exterior, la pulpa y las semillas constituyendo el 35 % y 9 % del peso total del fruto respectivamente, cuyas vainas presentan un color de la gama de amarillo pardo y un dulzor característico (Aedo, 2007; Prasad and Tewari, 2016). Acoge diversas terminologías según el país, tales como «mesquite» en México, «carbón» en Costa Rica, «cuji» en Venezuela y «algarrobo» en Perú y Ecuador.

1.2.1. Composición Nutricional

El algarrobo ha sido bien considerado por sus propiedades nutritivas y medicinales ya que muchos autores han coincidido en indicar que desde la era precolombina era usado en la fabricación de harina, miel, como un sustituto de harina de trigo para enfermos celíacos, café y panela; así como lo demuestran los ídolos precolombinos que fueron tallados en madera de algarrobo. (Cortez, 2010)

También es importante destacar su contenido en polifenoles reportados en *Prosopis pallida* como el ácido gálico, catequinas, taninos condensados, etc. (Flor, 2013), aunque según la FAO no es su

constituyente más fuerte ya que solo 0,82 de polifenoles solubles totales y 0,41 % de taninos condensados.

En el Cuadro 1 se expone la composición químico nutricional, mineral y vitamínico de la pulpa de algarroba:

Cuadro 1. Composición químico nutricional de la pulpa de algarrobo

DETERMINACIÓN	g/100g de muestra seca
Cenizas	3,60
Proteínas	8,11
Grasa	0,77
Sacarosa	46,35
Azúcares reductores	2,14
Fibra dietética insoluble	30,60
Fibra dietética soluble	1,62
MINERALES CONTENIDOS	mg/100 DE MUESTRA SECA
Potasio	2,65
Calcio	75,86
Magnesio	90,36
Sodio	113,02
Cobre	Trazas
Níquel	Trazas
Fierro	33,04
Magnesio	Trazas
Zinc	Trazas
VITAMINAS	Mg/kg DE MUESTRA ORIGINAL
A	No detectada
E	5,00
B1	1,90
B2	0,60
Ácido nicotínico	31,00
C	60,00
Ácido fólico	0,18

Fuente: (Cortez, 2010)

La algarroba se caracteriza por un alto contenido de azúcares, entre ellos están la glucosa, fructosa y sacarosa, además de su aporte de fibra (lignina y pectina principalmente), constituyendo el 50 % del peso total de la pulpa de algarrobo, donde el 95,4 % está representado

por la sacarosa (FAO,1997) y minerales por destacar como el calcio (450 mg), fósforo (617 mg) y de hierro (6,6 mg) por cada 100 g de muestra.

Por otro lado, para especies como *P. alba*, *P.juliflora*, *P. glandulosa* y *P.africans* se les ha determinado que en su composición cuenta con aminoácidos y ácidos grasos que resultan ser de gran importancia e interés para la salud y la industria alimentaria ya que los metabolitos presentes en el algarrobo ecuatoriano indicados en el Cuadro 2 presentan actividad antioxidante, antimicrobiana y antiinflamatoria (Valencia et al., 2020).

Cuadro 2. Composición de aminoácidos del algarrobo

Compuesto	Cantidad
Ácido glutámico	21,21 g
Arginina	14,63 g
Ácido aspártico	8,30 g
Leucina	7,51 g
Prolina	7,49 g
Ácido linoleico	39%
Ácido oleico	29%
Ácido palmítico	13%
Ácido esteárico	10%

Fuente: (Pasiiecznik et al., 2001; Cattaneo et al, 2014; Sathiya and Muthuchelian, 2008; Prabha, Dahms and Malliga, 2014)

1.2.2. Usos

Se trata de una especie melífera que es usada por abejas para la producción de miel, jarabes, polen y cera; y que por su contenido nutricional es usado tanto para la alimentación humana

como animal, incluyendo en el forraje del ganado vacuno, caprino, porcino y aviar vainas molidas en un 15 % obteniendo mayor conversión en kilogramo de masa comestible. (FAO,1997)

El algarrobo también presenta propiedades antibacterianas, así lo demostró Correa (2021) tras conocerse que este fruto se destaca por su contenido en taninos, flavonoides, fenoles y terpenos, preparando soluciones de algarrobina de 78 °Brix en concentraciones del 75 %, 50 %, 25 % y 12.5 % V/V con agua destilada esteril, las cuales fueron inoculadas con cepas *Staphylococcus aureus* y *Escherichia coli*, siendo el efecto más letal para la segunda bacteria.

Por otro lado, es usado como un sustituto de harina de trigo por harina de algarrobo en la elaboración de productos panificables, como es el caso de Samame (2015), o como sustituto parcial de polvo de cacao en galletas (Pozo Barreda Gonzalo, 2015).

Comúnmente el algarrobo es consumido en forma de jarabe como un reconstituyente y fortificante, saborizante y medicamento para la recuperación contra infecciones bacterianas tal y como lo demostró Correa (2021). La algarrobina pura presenta un color marrón oscuro y brillante, un sabor característico dulce, ligeramente amargo y astringente, con aroma característico a algarroba y una consistencia: viscosa, homogénea, sin partículas visibles (Norma Peruana, 2019), donde su dulzor característico viene de la alta concentración de sólidos solubles (75-80°BRix) con una contenido de proteína bruta de hasta 5-8 % con características físico-químicas reglamentarias.

También el algarrobo ha sido empleado para la formulación de un néctar a base de extracto de algarrobo y pulpa de maracuyá en relación (70 %-30 %) cuyo tratamiento de mayor aceptación presentó 20 % sólidos solubles y un pH de 3,45 (Campos, 2021).

Entre otras opciones, también han obtenido el aceite de las semillas de algarrobo (*Prosopis juliflora*) que ha sido caracterizado como una alternativa de aceite comestible por su mayor contenido de ácidos grasos insaturados como ácido linoleico (45 %) y el oleico (23 %) aunque de bajo rendimiento (2,60 %). (Zamora et al., 2019)

Las vainas de algarrobo han sido ampliamente usadas como saborizantes de alimentos como yogur, manjar, bebidas aromáticas y bebidas proteicas a base de soja.

Otro componente por resaltar son las gomas que representan hasta el 84% del endospermo de las semillas que tienen la capacidad de absorber agua y darle estabilidad a geles actuando como espesante y retención de agua para productos cárnicos, por ejemplo (FAO,1997).

1.3 Suero

A nivel nacional, la mayor producción de queso se localiza en las provincias de Pichincha, Imbabura, Bolívar, Cotopaxi, Azuay y Cañar, entre ellas están las empresas reconocidas como Kiosko, Alpina y Salinerito y las de producción artesanal las cuales emplean hasta el 17% de la leche cruda en la elaboración de quesos y mantequilla. (EL UNIVERSO, 2019) Según este medio de comunicación, en Ecuador se generan hasta 1,200 000 litros de suero por día, del cual solo el 10 % es usado para la fabricación de bebidas lácteas y en América Latina en la mayoría de los casos es usado como alimento de cerdos y bovinos a diferencia de los países europeos y Estado Unidos que aprovechan su perfil nutricional para elaborar medicamentos, proteínas en polvo, bebidas lácteas, etc. A nivel nacional, la poca utilización del suero líquido se debe a que en 2019 las autoridades prohibieron a través del Acuerdo Interministerial 032 el uso y comercialización del suero líquido, solo pudiendo ser usado como suero en polvo y para la alimentación animal, limitando la transformación y aprovechamiento como ingrediente de productos de alto nivel nutricional (Cámara de Comercio de Guayaquil, 2019).

Básicamente, el suero de leche es el subproducto de la elaboración de quesos por separación de la cuajada tras la coagulación de la leche previamente pasteurizada (INEN, 2011). que solo puede ser comercializado siempre y cuando sea producido por plantas que cumplan con Buenas Prácticas de Manufactura (BPM) (EL UNIVERSO, 2019). Durante la producción de quesos, de cada 100 litros de leche empleada el 90 % es suero y su vertido directo eleva la carga contaminante de las aguas residuales, ya que en el suero se van alrededor del 55 % de los nutrientes de la leche alcanzado valores de Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO5) entre 30 y 50 kg/m³ (Pais et al., 2018).

Existen dos tipos de suero: el que se obtiene por coagulación ácido por acción microbiana y el que resulta de la coagulación enzimática con renina o quimosina (INEN, 2011). Cada uno presenta características físico-químicas indicados en la Normativa INEN 2594 y resumidos en el Cuadro 3.

Cuadro 3. Requisitos físico-químicos del suero de leche líquido

Requisitos	Suero de leche dulce		Suero de leche ácido		Método de ensayo
	Min	Max	Min	Max.	
Lactosa, % (m/m)	--	5,0	---	4,3	AOAC 984.15
Proteína láctea, % (m/m)	0,8	--	0,8	---	NTE INEN 16
Grasa láctea, % (m/m)	--	0,3	--	0,3	NTE INEN 12
Ceniza, % (m/m)	--	0,7	--	0,7	NTE INEN 14
Acidos titulable, % (calculada como ácido láctico)	--	0,16	0,35	--	NTE INEN 13
pH	6,8	6,4	5,5	4,8	AOAC 973.41
El contenido de proteína láctea es igual a 6,38 por el % nitrógeno total determinado					

Fuente: (INEN, 2011)

1.3.1 Composición nutricional

Del valor nutricional que brinda el uso del lactosuero en la TABLA 1 se presenta la distribución de los componentes presentes en el suero dulce y ácido:

Tabla 1. Composición general del suero y su distribución

Componente	Observaciones
Lactosa	95% de la lactosa de la leche, en una proporción de (4,5-5,0 % p-v)
Proteína	En una proporción 0,8-1,0% p/v. Corresponde alrededor del 25% de las proteínas contenidas normalmente de la leche. 0,6% g/l de lactosuero dulce y 6,0-8,0 g/l en lactosuero ácido.
Alfa-Lactoalbumina	30% del total del contenido proteico
Beta-Lactoglobulina	Es importante porque tiene propiedades emulsionantes y cumple una función importante al interactuar con compuestos como el retinol y los ácidos grasos
Globulina	Corresponden a 10% del total de proteínas
Proteasas -peptonas	Corresponden a 10% del total de proteínas. Lactoferrinas, albumina, inmunoglobulinas, factores de crecimiento, glicoproteínas y enzimas.
Lípidos	0,5% y 8% de la materia grasa de la leche

Fuente: (Poveda, 2013)

El lactosuero dulce (0,6 0 - 0,7 %) presenta menos calcio que el lactosuero ácido (1,8 ; 1,9 %) ya que en el primero el calcio queda retenido en forma de paracaseinato de calcio en la cuajada mientras en la segunda se convierte en lactato ácido secuestrado por el ácido láctico (Posada et al., 2011).

Las proteínas del suero son ricas en aminoácidos azufrados en los que destaca la isoleucina, leucina y valina que presentan actividad antioxidante y antimicrobiana (Posada et al., 2011). La α -lactoalbúmina y la β -lactoglobulina mejoran la biodisponibilidad de calcio mejorando el metabolismo óseo, pero esta depende del tipo de procesamiento o tratamiento aplicado al suero (Rodríguez et al., 2019), por ejemplo, la nanofiltración no generan diferencias en el contenido de calcio y fósforo, la diafiltración provoca una disminución y la ultrafiltración lo hace más asimilable mejorando la tasa de absorción (Poveda, 2013).

1.3.2 Usos

Las aplicaciones del lactosuero ofrecen una amplia posibilidad de comercialización de productos de buena calidad por las características nutritivas, funcionales y tecnológicas que ofrece, por eso también es importante conocer los diferentes usos (Tabla 2) que se le ha dado al suero de leche y los diferentes beneficios o campos que beneficia su consumo:

Tabla 2. Aplicaciones y beneficios del uso del lactosuero

Aplicaciones en	Algunos beneficios
Productos de panadería como croissants, tortas	Incrementar el valor nutricional, como emulsificante, reemplazar la adición de huevo, para dar cuerpo a la masa
Productos lácteos como bebidas fermentadas y quesos	Valor nutricional, emulsificante, gelificante, mejorar propiedades organolépticas, mejorar consistencia, cohesividad
Bebidas como jugos de fruta, refrescos, bebidas achocolatadas, bebidas a base de leche	Valor nutricional, solubilidad, viscosidad, estabilidad coloidal
Postres como barras de yogurt, helados	Propiedades emulsificantes, dar cuerpo y textura a los productos
Confitería	Como emulsificantes y para facilitar el batido

Productos cárnicos	Pre-emulsificante, gelificante, mejorar solubilidad
Alimentos nutricionales	Alimentos de mayor valor nutricional y bajo costo, alimentos para deportistas, para personas adultas
Para concentrados de proteína	Para productos alimenticios especiales, suplementos nutricionales, productos de panadería y confitería. Contiene aproximadamente 25-89%
Para obtener aislados de proteína	Para suplementos de proteína, bebidas y productos altos en proteína. Contiene aprox. 90-95%
Para obtener hidrolizados de proteína	Para formulas infantiles, para deportistas, nutricionales especiales. Contiene 80-90% de proteína, 0,5-1% de lactosa y 0,5-0,8% de grasa
Purificación de proteínas aisladas	Alfa lactoalbúminas, beta lactoglobulinas, inmunoglobulinas
Fuente de compuesto bioactivos	Peptidos y proteínas con potencial antihipertensivo, actividad antimicrobial, antioxidante, incremento de la saciedad, etc.

Fuente: (Poveda, 2013)

A través de la biotecnología es posible obtener productos a base de las proteínas del suero, esto es mediante el sistema de fraccionamiento de membranas, obteniendo lactosuero en polvo, aislados proteicos de suero (WPI), proteínas concentradas de suero (WPC), suero deslactosado, suero reducido en lactosa (RLW), suero desmineralizado y deslactosado, lactalbumina, suero permeado (WP), lactosa en polvo, entre otros, que al final otorgan productos proteicos más estables a tratamientos térmicos (Posada et al., 2011).

De allí la necesidad de valorizar los residuos de la industria láctea empleando el suero de leche dulce concentrado por evaporación. El suero de leche elaborado para este trabajo deberá ser sujeto a los controles respectivos para que cumpla con los requisitos fisicoquímicos de la INEN 2594 del lactosuero dulce.

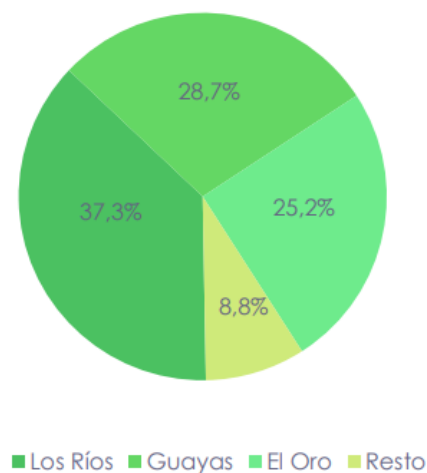
1.3.3 Estabilidad térmica de las proteínas

La estabilidad proteica es de mucha importancia cuando de alimentos funcionales se quiere elaborar (Cáñez et al., 2016), ya que el tratamiento que se aplique puede ser tan agresivo que provoque una pérdida significativa en la matriz. El pH, la temperatura son factores críticos para la estabilidad térmica de las proteínas, ya que a un pH natural la leche puede ser calentada a 100 °C durante 24 horas o a 140 °C durante 20 minutos sin provocar cambios o modificaciones. (Chávez, 2010) los cuales también pueden depender del tipo de proteína del cual se esté tratando, siendo la β -lactoalbúmina la más termolábil presentando una temperatura de desnaturalización de 63 °C . (Posada et al., 2011) mientras la β - Lactoglobulina es la proteína del suero que además le da estabilidad térmica a la leche (Negri et al., 2001).

1.4 Banano

Ecuador representa el 30 % del volumen de exportación a nivel mundial y del 75 % de la oferta hacia mercados de países como Estados Unidos, Rusia, Japón y China. Son tres las provincias que presentan la mayor producción cosechada, las cuales son Los Ríos, El Oro y Guayas representando el 91,2 % de la superficie total cosechada de banano (INEC, 2023). La distribución de la participación de la superficie nacional cosechada en las 3 provincias anteriormente mencionadas se presentan a continuación en la Figura 1 según datos proporcionados en la Encuesta de Superficie y Producción Agropecuaria Continua (ESPAC):

Figura 1. Porcentaje de producción de banano cosechado en El Ecuador



Fuente: (ESPAC, 2022)

Como se ha indicado, la producción de banano representa un destacado desempeño del sector hortofrutícola por satisfacer la demanda de productos de calidad, que además de representar grandes ingresos económicos para el país, suple en cierta medida necesidades nutricionales, convirtiéndose en sostén de la economía y seguridad alimentaria (Silva et al., 2021).

1.4.1 Composición nutricional

Ecuador al ser un país líder en la producción de banano, le permite proveer a la comunidad permanentemente de este alimento rico en energía cuyos variedades más consumidas pertenecen al grupo de cultivares de banana AAA, encontrando las bananas Cavendish y Gros Michel, siendo la última la de menor producción pero aún siguen siendo el sustento de miles de agricultores. A nivel nutricional ambas especies presentan ciertas diferencias en su contenido de minerales, así se puede observar en el Cuadro 4:

Cuadro 4. Comparativa de composición del banano Cavendish y Gros Micher

Componente	Banano Cavendish	Gros Michel
Energía (kcal)	89	73.85
Proteína (g)	1,09	1,5
Grasas totales (g)	0,33	
Carbohidratos totales (g)	22,84	21
Fibra (mg)	2,60	2,6
Vitamina A (UI)	3	3
Riboflavina (mg)		0,05
Vitamina C (mg)	8,7	4,30
Niacina (mg)	0,031	0,79
Tiamina (mg)	0,66	0,03
Potasio (mg)	358	
Magnesio (mg)	27	

Calcio (mg)	5	5
Fósforo (mg)	22	27
Hierro (mg)	0,26	0,60
Zinc (mg)	0,15	0,15

Fuente: Adoptado de TABLA s Peruanas de Composición de Alimentos (2017) y United States Department of Agriculture (2014)

Según la FAO (2023), la banana es la fruta más producida, comercializada y consumida en todo el mundo, por sus bajos costos y aporte nutricional, contribuyendo a la seguridad alimentaria y convirtiéndose en un ícono nacional (Silva et al., 2023).

El consumo frecuente de banano puede llegar a contribuir en la regulación de la presión arterial, mejorando la salud del corazón por su aporte magnífico en potasio (cerca de 400 mg por cada 100 g) contribuyendo hasta el 23% de los necesarios en un día (Blasco y Gómez, 2014).

1.4.2 Usos

El banano se ha convertido en un alimento básico más importante en todo el mundo, tanto así que ha sido usado para una infinidad de presentaciones, desde las más sencillas como pulpa de banano hasta la producción de alimentos procesados. A partir de esta fruta se han elaborado compotas, helados, hojuelas, snacks, harina, productos de panificación, bebidas energizantes (Rendón, 2009).

1.5 Declaración de nutrientes

La etiqueta nutricional es una fuente de información para el consumidor, donde se indican el aporte de nutrientes por porción de un alimento, así que es necesario caracterizarlo a nivel de las macro y micromoléculas para ello. Además, para la declaración de propiedades respecto al contenido de carbohidratos, proteínas, vitaminas y minerales también se puede detallar de forma libre y voluntaria en el rotulado de productos alimenticios una declaración de propiedades nutricionales, siempre y cuando se justifique dicha información y no genera confusión en el consumidor. Por ello, a nivel nacional, existe la Normativa del Instituto Ecuatoriano de Normalización cuyo reglamento expresa los requisitos que se deben cumplir para la declaración

en el rotulado de los alimentos envasados, donde la INEN 1334-2 indican el Valor Diario Recomendado (VDR) y en la 1334-3 el contenido para la declaración de contenido «básico» y «alto» de nutrientes. A continuación se presentan en el Cuadro 5 y Cuadro 6 el VDR de los nutrientes tanto macronutrientes como micronutrientes mencionados:

Cuadro 5. Valor diario recomendado (VDR) de macronutrientes

Nutrientes a declararse	Unidad	Niños mayores de 4 años y adultos
Valor energetico, energia (calorias)	kJ Kcal	8 380 2 000
Grasa total	g	65
Ácidos grasos saturados	g	20
Colesterol	mg	300
Sodio	mg	2 400
Hidratos de carbono total	g	300
Proteína	g	50

Fuente: (INEN, 2011)

Cuadro 6. Valor diario recomendado (VDR) de micronutrientes

Nutrientes de declaración voluntaria	Unidad	Valor de referencia VDR
Folacina	ug	200
Ácido pantoténico	mg	10
Vitamina A	UI	800
Vitamina B	mg	2.0
Vitamina C	mg	60
Vitamina D	UI	5
Vitamina E	mg	20
Vitamina K	ug	80
Tiamina	mg	1.4
Riboflavina	mg	1.6
Niacina	mg	18

Biotina	ug	300
Calcio	mg	800
Cobre	mg	2.0

Fuente: (INEN, 2011)

Para la declaración del contenido nutricional como «básico» o «alto», los nutrientes presentes en el polvo comestible deben presentar los siguientes porcentajes mínimos según sea el caso, los mismos que están declarados en la INEN 1334-3 y representados en el Cuadro 7:

Cuadro 7. Condiciones para la declaración de propiedades (La información debe expresarse por 100 g o 100 cm³ (ml) o por porción)

Nutriente	Unidad	VDR
Proteína	Contenido básico	10 % de VDR por 100 g (sólidos) 5 % de VDR por 100 ml (líquidos) o 12% de VDR por 1 MJ (5 % de VRN por 100 kcal) o 10 % de VDR por porción de alimento
	Contenido alto	dos veces los valores del “contenido básico”
*Fibra dietética	Adicionado Fortificado	Se aplican las condiciones de “Adicionado, Fortificado” de la 1334-2
*Indicados en el cuadro 6. Valor Diario Recomendado (VDR) de micronutrientes		

Fuente: (INEN, 2011)

Con base a lo recomendado por la FDA (2023) para indicar si el Porcentaje de Valor Diario (%VD) aportado por 1 porción de alimento envasado es baja o alta, se considera que si ese %VD de un nutriente por porción es menor a 5, entonces se considera bajo; mientras que si el VD es mayor al 20 % el aporte el alto.

1.6 Encapsulamiento

Un producto con un bajo contenido de agua resulta ser menor perecedero pero presenta ciertos problemas en sus propiedades estructurales ya que tienen una elevada higroscopicidad por la presencia de azúcares de baja masa molecular como son la glucosa, fructosa y sacarosa y así algunos ácidos orgánicos como el ácido málico, cítrico y el tartárico, pues presentan una baja temperatura de transición vítrea (T_g) lo que hace que estos productos sean muy susceptibles al colapso (García, 2022). La humedad es uno de los principales factores causantes del apelmazamiento, aglutinación o aglomeración del polvo, formándose una masa compacta difícil de usarlo. No obstante este problema se puede reducir o controlar con la adición de solutos de alto peso molecular que elevan la T_g y reducen la pegajosidad o apelmazamiento del polvo (Sapper et al., 2016). Existen muchos solutos que pueden ser usados tales como la inulina, maltodextrinas, almidones, pectinas, proteínas y la mezcla de ellos (Igual et al., 2014), donde la elección de cada uno de ellos depende de la matriz alimentaria que se está tratando. En el estudio realizado por Ruano et al., (2018) el polvo obtenido por atomización a partir del extracto de jugo de caña panelera y concentrado proteico de suero dulce, tras la adición de maltodextrina se evidenció en la morfología de las partículas una transición del estado amorfo al gomoso y un aumento de la actividad de agua, a diferencia del efecto de la adición de inulina que por su contenido en fructosa, mejora la cristalización obteniendo polvos con partículas amorfas más estables hasta llegar al colapso total de las partículas y ser consideradas como no aptas para el consumo tras la pérdida de sus características de calidad propias de un producto en polvo; por otro lado Amaya et al., (2022) encontraron que en el liofilizado de jugo de arándano andino con la adición únicamente de maltodextrina o en su mayor proporción que de goma arábica obtenían un polvo más fluido y de mejor solubilidad en agua (92,7%).

1.6.1 Maltodextrina

La maltodextrina o también conocida como EC 232-940-4 en la industria alimentaria es un polímero comestible proveniente de hidrolizar el almidón con una clasificación según la equivalencia dextrosa o Dextrosa-Equivalente (DE) que es el parámetro principal que define el uso de la maltodextrina (Melo et al., 2015) pudiendo ser usada como un gel que aporta textura, fluidez y cohesividad en alimentos como salsas, productos de confitería, aderezos, etc. y es uno de los recubrimientos más comunes en la industria alimentaria (Mosquera, 2010 ; Karaaslan

er al., 2021) y además es soluble en agua caliente (Neri, 2007). La maltodextrina DE 10-15 se caracteriza por su mayor contenido en azúcares simples, proporcionando dulzor, poca viscosidad y alta solubilidad, principalmente usada en bebidas instantáneas (Coronel, 2019).

El aporte o su influencia en la salud como un aditivo en productos alimenticios, se pueden detallar que aporta 4 cal/g de maltodextrina seca, cuyo aporte calórico disminuye tras su hidratación a 2 cal/g del producto terminado (Neri, 2007), tienen una baja osmolaridad por su alto peso molecular haciendo que su tránsito y absorción sea más elevado y mayor su disponibilidad para ser usado como fuente energética (Alfaro, 2021). Además, es un estudio realizado por Alfaro (2021) la maltodextrina es administrada vía oral en pacientes previo a una cirugía con el efecto de reducir los niveles de glicemia (hiperglicemia) secundaria producida por el estrés quirúrgico post-operatorio tanto a pacientes con peso ideal y con sobrepeso-obesidad. Adicional, la maltodextrina es considerada como un ingrediente reductor de la grasa basada en carbohidratos empleada en la elaboración de productos de pastelería y como un sustituto de grasa (hasta un 15 %) que además de suplir todas las funciones que los lípidos contribuyen en cuanto a textura, extensibilidad, dureza y fracturabilidad se obtiene un producto de buena aceptación sensorial que aporte en menor medidas calorías para quien lo consume hasta un déficit del 50 % (Neri, 2007).

1.7 Liofilización

Este proceso permite obtener productos en polvo que además de extender la vida útil durante el almacenamiento y preservar características organolépticas, también ofrece beneficios durante los procesos logísticos en la reducción del peso o volumen de carga y una mejor manipulación durante su manejo y transporte (Sapper et al., 2016 ; Falconí et al., 2021 ; Chumacero et al., 2022). Por liofilización se entiende a la técnica de encapsular ampliamente usada en el área de alimentos después del secado por aspersion. Este proceso como se ha mencionado permite preservar alimentos a largo plazo empleando el fenómeno de sublimación, donde el producto se ultracongela y se evapora a baja presión (Aguilar, 2016). Corresponde a un procedimiento físico de la técnica de encapsulamiento de moléculas orgánicas, ampliamente empleado para alimentos termo sensibles y propensos a la oxidación , ya que la técnica implica trabajar con bajas temperaturas y alto vacío (Ramos & Reymundo, 2021).

Deshidratar un alimento mediante criodesecación o liofilización permite reducir la pérdida de nutrientes y compuestos volátiles como vitaminas y actividad antioxidante (Ramos & Reymundo, 2021). No obstante, en aquellos alimentos ricos en azúcares puede llevar a obtener un polvo que fácilmente termina en un colapso por su alta higroscopicidad, por ello se acompaña con solutos de alto peso molecular que actúan como una barrera de adsorción de agua, y que definen su capacidad o facilidad de rehidratación (Mosquera, 2010). Según estudios realizados por Mosquera et al., (2019), la liofilización tendría un mayor rendimiento si también se realizara unos pretratamientos como se lo menciona en la obtención de un liofilizado de melón con el uso de ultrasonido y deshidratación osmótica acelerando el proceso de secado.

1.8 Caracterización fisicoquímica y nutricional de polvos comestibles

1.8.1 Sólidos solubles y sólidos totales

Los sólidos solubles hacen referencia a aquellos compuestos por azúcares, sales y ácidos orgánicos que se solubilizan con el agua a diferencia de los sólidos totales que involucra a aquellos compuestos tanto solubles como insolubles (Sánchez, 2006).

1.8.2 pH

En este parámetro químico, para cada uno de los extractos empleados estaría presentando los siguientes valores: El pH del suero dulce elaborado aplicando BPM y según normativa nacional es de 6,4 - 6,8; el pH de la algarrobina a 75 - 80°Brix es de 4-5,51 y por último, considerando que el extracto de banano representa una lixiviación de la pulpa de banano, el pH característico a un grado de 6 es de 4,7.

El pH del polvo reconstituido debería corresponder a lo indicado en la norma NTE INEN 2471 (4,2) aunque esto aplica a refrescos.

1.8.3 Contenido de humedad

Es el contenido de agua disponible que presenta cada alimento de tal forma que los microorganismos pueden desarrollarse y en el caso de los polvos es un punto crítico de control de su estabilidad (Aguilar Morales, 2012).

1.8.4 Actividad de agua

Considerada como un factor de calidad para el almacenamiento de productos secos como los polvos alimenticios a largo plazo, está relacionada con el contenido de humedad y la responsable de reacciones bioquímicas. De este parámetro los alimentos se clasifican en alimentos de alta, humedad intermedia y baja actividad de agua siendo los polvos correspondientes al último grupo indicado (Fernández & García, 2020).

1.8.5 Análisis nutricional

Las materias primas empleadas para la mezcla de extractos resultan ser fuentes ricas en nutrientes como proteínas y minerales, por eso es importante la caracterización del perfil nutricional del producto.

1.9 Caracterización reológica de polvos comestibles

Las propiedades del polvo influyen en su grado de reconstitución en el medio líquido, cuyo equilibrio hace que este sea soluble. El proceso de reconstitución ha sido dividido en 4 etapas; humectación, inmersión, dispersión y disolución (Freudig et al., 1999). Por humectabilidad se conoce como la capacidad que tiene el polvo para que un líquido lo penetre a través de fuerzas capilares; la solubilidad como la velocidad con que las partículas del polvo se disuelven en agua; la dispersabilidad la facilidad que tiene el polvo para distribuirse como partículas individuales en el medio acuoso. Las anteriores propiedades también influyen en la estabilidad del polvo (Gamboa et al., 2023).

1.9.1 Granulometría o distribución del tamaño de partícula

La liofilización permite obtener polvos con mayor tamaño de partícula a diferencia del método de secado por atomización, todo esto lleva a que un polvo más poroso el tamaño de sus partículas sean más grandes ya que más poros se han de formar y en consecuencia el polvo presenta una mayor humectabilidad, destacando que el tamaño de partícula, la porosidad y la densidad influyen en la humectación de polvos considerando estos factores microestructurales como atributos de calidad porque un polvo poco humectable resulta en un producto que para el consumidor le será difícil disolverlo en medios acuosos de su preferencia (Sánchez et al., 2022). Además permite clasificar a los productos en polvo según el tamaño de partícula, donde las

partículas no deben presentar un tamaño superior a 1 mm y el 50 % no debe sobrepasar el tamaño medio, encontrando polvos finos y gruesos (Mosquera, 2010).

1.9.2 Higroscopicidad

Se trata de una propiedad relacionada con la estabilidad de los polvos definiéndose como la capacidad que tienen estos para absorber humedad del ambiente, donde un polvo con baja higroscopicidad conlleva a presentar bajo contenido de agua y de apelmazamiento considerándose como un buen polvo (Bhusari et al., 2014). En la TABLA 3 se presentan algunos valores de higroscopicidad encontrada por algunos autores en diversas matrices alimentarias obtenidas por liofilización y atomización:

Tabla 3. Diferentes tipo de alimentos y su porcentaje de higroscopicidad

Alimento	Nivel de higroscopicidad (%)	Factores que afectan la higroscopicidad	Autores
Pomelo Liofilizado	48 – 51	Solutos de alto peso molecular	(Sapper, 2015)
Pomelo liofilizado y atomizado	15,3 (24 h)	Efecto de la temperatura	(Astudillo, 2019)
Remolacha atomizada	14.46 – 20.68	Aumento de la tasa de adición de MD	(Bazaria y Kumar, 2016)

1.9.3 Densidad aparente

Se trata de una propiedad intensiva de materia, es decir, cuya variación no depende de la cantidad de materia muestreada. Según Sánchez et al., (2022), en extractos acuoso de pulpa de frutas deshidratadas por liofilización, los polvos obtenidos presentan una densidad más baja en comparación con aquellas pulpas secadas por atomización, y además una porosidad mayor lo que se debe a una densidad aparente más baja haciendo que el polvo tenga un mayor volumen de aire distribuido entre las partículas, resultando en un polvo más fluido.

1.9.4 Densidad compactada o tangencial

Es una relación del volumen ocupado por unidad de masa sin incluir los espacios entre partículas, es decir, se excluye la porosidad del polvo (Almora et al., 2022).

1.9.5 Fluidez y cohesión

Mientras la fluidez se refiere a la capacidad de los polvos a fluir con libertad, la cohesividad mantiene juntas a las partículas dificultando su fluidez y aumentando la posibilidad de formación de grumos (Phing et al., 2024). El liofilizado con un índice de Hausner menor a 1,25 presenta una baja cohesividad, mientras mayores a este valor los polvos son cohesivos. Respecto al índice de Carr, valores menores a 10 % las partículas fluyen libremente, 11 - 15 % buena fluidez, 16 - 20 % fluidez regular y mayor a 31 % fluidez muy pobre (Jinapong et al., 2008).

1.9.6 Grado de apelmazamiento

El apelmazamiento es una transformación indeseable en los polvos haciendo un material aglomerado y pegajoso provocando que el alimento pierda funcionalidad y fluidez afectando la calidad (Chen et al., 2019). Los polvos con porcentaje de apelmazamiento de 75 - 98 % son considerados como muy apelmazables, y menores al menos 10 % no apelmazables (Sapper et al., 2016).

1.9.7 Solubilidad

Es una propiedad que se ve fuertemente influenciada por la morfología de las partículas del polvo, donde los productos liofilizados resultan tener mayor capacidad de rehidratación porque resultan con partículas de forma irregular lo que hace que estas tengan una mayor superficie disponible para absorber agua a diferencia de aquellos polvos obtenidos por atomización cuyas partículas son menos rugosas y más esféricas (Mosquera, 2010).

1.10 Evaluación sensorial

La evaluación sensorial es una herramienta que permite medir las respuestas de las personas a los alimentos, pudiendo identificarlos, describirlos y determinar la influencia en su percepción. De la gran clasificación de pruebas sensoriales según la Tabla 4 cada una responde a la información de interés acerca de la calidad del producto.

Tabla 4. Clasificación de métodos de prueba en evaluación sensorial

Clase	Pregunta de interés	Tipo de prueba	Características de los panelistas
Discriminación o diferencia	¿Son los productos diferentes en alguna forma?	Analítica	Tener agudeza sensorial orientados a métodos de prueba, requiere un panel algunas veces entrenado
Descriptiva	¿Cómo difieren los productos en características sensoriales específicas ?	Analítica	Tener agudeza sensorial y motivación, requiere un panel entrenado o altamente entrenado
Afectiva	¿Qué tanto gustan los productos o cuales productos son los preferidos ?	Hedónica	Puede usarse un panel no entrenado, que conozca el producto a evaluar

Fuente: (Carrillo & Reyes, 2013)

De la Tabla 4, considerando la formulación de un nuevo producto se aplica una prueba tipo hedónica para percibir el grado de aceptabilidad del polvo rehidratado en leche, así será posible indicar si el posible modo de consumo de este recibe o no aceptación por parte del consumidor.

Se emplea una escala hedónica, la Escala de Likert, una escala de nivel de medición ordinal que permite reunir respuestas con base a la reacción de un sujeto ante un estímulo (alimento) el cual asigna un valor numérico o puntuación con base a los atributos evaluados (Maldonado, 2007).

1.11 Tiempo de vida útil

Cuando se habla de alimentos en polvo las etapas de humectación y solubilización conducen a la pérdida del estado particulado (Cuq et al., 2011) llegando a afectar las propiedades funcionales del alimento en polvo durante su reconstitución. Cuando un polvo resulta ser muy higroscópico o presenta una humedad inicial muy elevada tiende a ser muy inestable con el tiempo y llegar al colapso por el apelmazamiento de sus partículas obteniendo un polvo con un alto contenido de humedad que además de no cumplir con los requisitos normativos se presentan pérdidas en la calidad funcional.

La magnitud de los cambios en estas propiedades medidas durante el almacenamiento son determinadas por el comportamiento del polvo alimenticio frente a la absorción o desorción de humedad el cual requiere de la predicción de la estabilidad de los alimentos, es decir su vida útil, considerando al control de la humedad como el parámetro más importante en lo que se refiere a la calidad y estabilidad de los polvos alimentarios, siendo su principal causa de deterioro en este tipo de productos (Fernández & García, 2020).

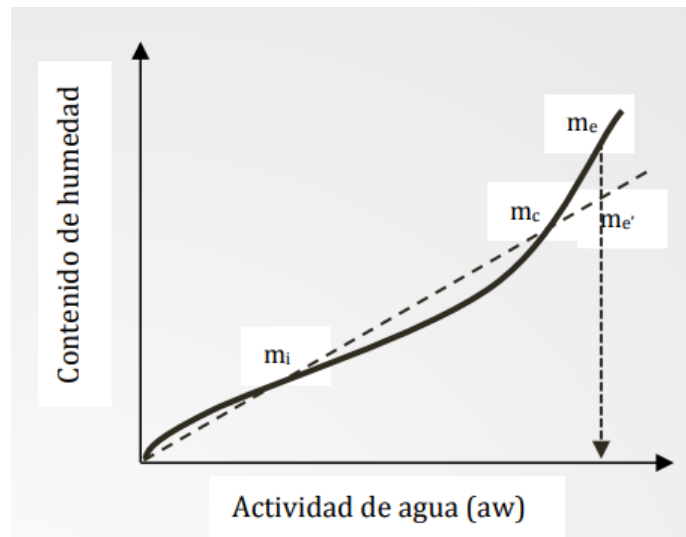
Es el valor de humedad crítico (m_f) el parámetro que determina la vida útil del alimento y cuya variación de humedad y actividad de agua se determina con la debida isoterma de sorción del polvo. El valor crítico teórico de actividad de agua causante de la aglomeración de polvos es de 0,35 - 0,50 (Fernández & García, 2020) algo similar a la humedad máxima establecida por la NTE INEN 2471 correspondiente al 5 % (INEN, 2010).

1.12 Isoterma de sorción

Son una herramienta útil para la optimización de procesos como el secado pero también para la predicción del comportamiento de un alimento pulverulento frente a la adsorción o desorción de agua (Mosquera, 2010). La relación del contenido de humedad y actividad de agua incrementan de forma no lineal a una temperatura dada, definiendo las isotermas de sorción de humedad que constituyen al sistema alimentario (Ghimire, 2017) y que determina la vida útil del producto envasado empleando modelos basados en el deterioro del alimento de Fick y Henry (1971) (Labuza, 1982) y Heiss & Eichner (1971) (González, 2022) desarrollaron un modelo matemático basado en la actividad del agua y las propiedades de barrera del material del empaque a diferentes temperaturas y humedades relativas. Según Hernández y Giacín (1997) los alimentos de baja actividad de agua envasado en materiales de plástico están sujetos a ganar humedad la cual depende de la humedad relativa de almacenamiento, el comportamiento de sorción del alimento y la permeabilidad de vapor de agua del material del empaque o envase. Fernández & García (2020) destaca ciertas condiciones para emplear el modelo de Fick y Henry como un modelo básico para determinar la cinética de deterioro del alimentos en polvo, tales como: las pruebas se realizan en un ambiente de temperatura y humedad relativa constante, ajuste de la isoterma de sorción donde se cumpla que la pendiente « m » o actividad de agua « a_w » significa que $[m = f(x)]$ sea igual a $[a_w = f(m)]$. Adicionalmente a ello Vidaurre (2016)

detalla que la cinética de transferencia de agua se cumple cuando el proceso sigue un estado no estacionario (flujo de humedad varía con el tiempo) y el alimento empacado sigue una isoterma de sorción de humedad lineal con pendiente b. En la Figura 2 se observa una isoterma de sorción lineal:

Figura 2. Isoterma de sorción lineal



Fuente: (Vidaurre, 2016)

En la figura anterior donde m_i : humedad inicial, m_c : humedad crítica, y m_e : humedad de equilibrio, es el empaque el principal obstáculo de la transferencia de humedad y es en su interior donde se alcanza la humedad de equilibrio considerándose a la presión de vapor del agua en el alimento (Vidaurre, 2016).

Las isotermas de sorción se describen a través de modelos matemáticos teóricos, semiempíricos o empíricos, de los cuales los más aplicados en el mundo de los alimentos son el modelo BET y el modelo de Guggenheim-Anderson-de Boer (GAB) donde ambos relacionan la humedad de equilibrio con la actividad de agua. El modelo BET aplica para alimentos dentro de un intervalo de agua de 0 - 0,55 mientras que el modelo GAB representa los datos experimentales de una a_w de 0 a 0,95 (Talens, 2017) y se ha propuesto como el más indicado para matrices alimentarias con un alto contenido de azúcares (Mosquera, 2010).

Las ecuaciones de los modelos anteriormente mencionados se indican a continuación en ec. (1) para modelo BET y ec. (2) para modelo GAB:

Modelo BET

$$\frac{a_w}{(1-a_w)W_e} = \left(\frac{C-1}{C*W_0} \right) * a_w + \frac{1}{C*W_0} \quad (1)$$

Fuente: (Talens, 2017)

donde W_0 es la humedad de la capa molecular de agua adsorbida del alimento (g agua/ g sólido seco), C es la constante del calor desprendido en el proceso de sorción, W_e es la humedad de equilibrio y a_w es la actividad de agua.

Modelo GAB

$$\frac{a_w}{W_e} = \frac{1}{W_0*C*K} + \frac{C-2}{W_0*C} * a_w + \frac{K(1-C)}{W_0*C} * a_w^2 \quad (2)$$

Fuente: (Talens, 2017)

donde incluyen un parámetro adicional al modelo BET, la constante K que está relacionada con el calor de sorción de la multicapa, así como W_0 la humedad de la capa molecular de agua adsorbida del alimento (g agua/ g sólido seco), C es la constante del calor desprendido en el proceso de sorción, W_e es la humedad de equilibrio y a_w es la actividad de agua.

CAPÍTULO II

MATERIALES Y MÉTODOS

2.1. Obtención de los extractos

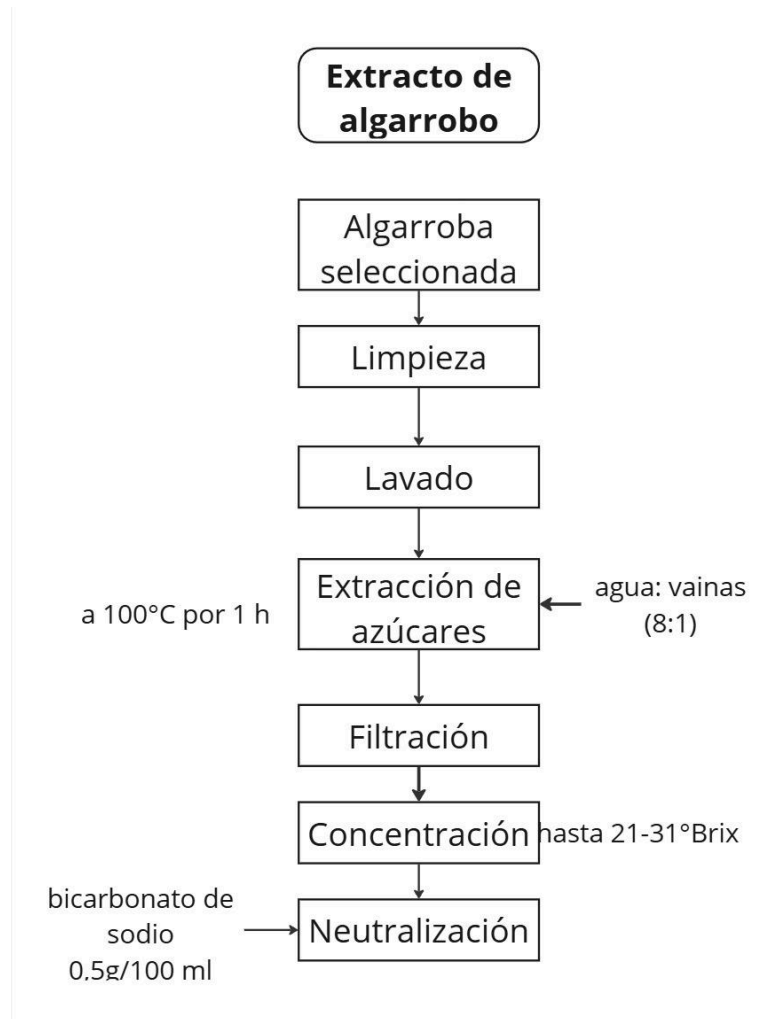
El proceso de elaboración de los extractos utilizados para obtener la mezcla por liofilizar respondieron a los siguientes pasos, identificando en cada uno el respectivo diagrama de flujo.

2.1.1. Algarrobo

Se ha elaborado un extracto de algarrobo hasta una concentración de 20 °Brix. El proceso tradicional de una algarrobina, según la Norma Peruana (209-600) 2019, esta se obtiene mediante un proceso de hervido y concentración por evaporación, hasta obtener un jarabe de color marrón oscuro brillante, viscoso y sabor dulce, sin la adición de adición de azúcares, miel o edulcorante de ningún tipo. No obstante, se han realizado algunas modificaciones ya que una algarrobina comercial presenta hasta 75 - 80 % de sólidos solubles. Para una mayor conservación de las vainas de algarrobo e inhibir el crecimiento de moho disminuyendo su contenido de agua se colocan a 60 °C durante 24 horas y puede ser almacenado a temperatura ambiente.

En la medida de lo posible se trocean las vainas de algarrobina, así se facilita la extracción de azúcares, luego se pone a hervir en una relación de 1:8 (1 kg de vaina en 8 L de agua) y se cocinan hasta 1 hora a 108 °C, obteniéndose un jugo de 8 °Brix. Luego se presan para una mejor extracción, se retiran las vainas cocidas y se concentra a 20,5 ° Brix por aproximadamente 1 hora más a 80 °C. El extracto es envasado en recipientes y congelado hasta su uso.

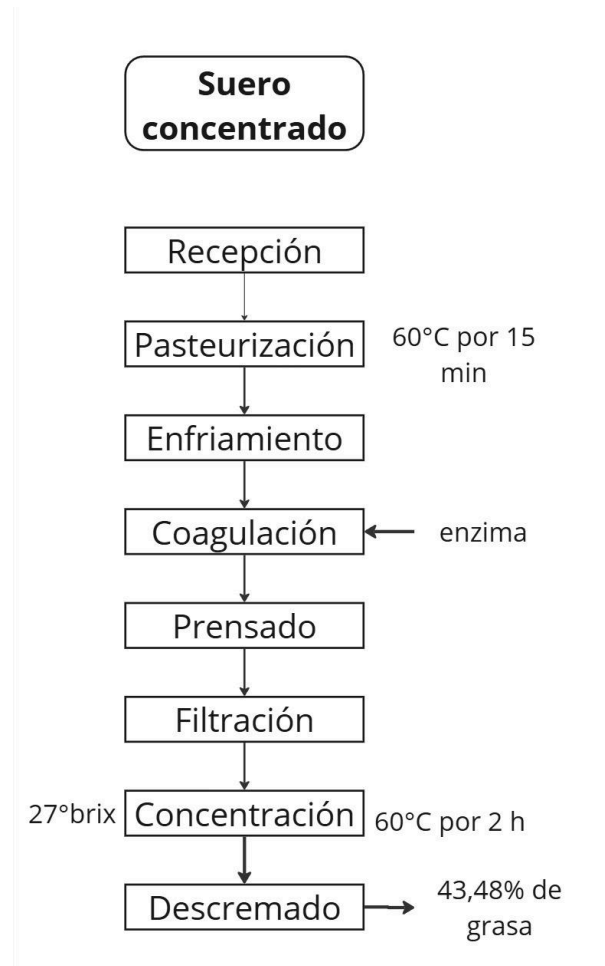
Figura 3. Flujograma de extracto de algarrobo



2.1.2 Suero dulce

El lactosuero se obtuvo a partir del prensado del queso fresco, retirando los restos sólidos de la cuajada con ayuda de un tamiz y lienzo. Luego se lo dejó concentrar hasta 27 °Brix a 60 °C durante 2 horas en un horno con ventilación. Posteriormente se deja reposar el concentrado durante 2 días para desengrasarlo por simple precipitación, obteniendo 740 ml de suero a partir de 5 litros de leche cruda. Se retiró el 43,38 % de grasa del suero.

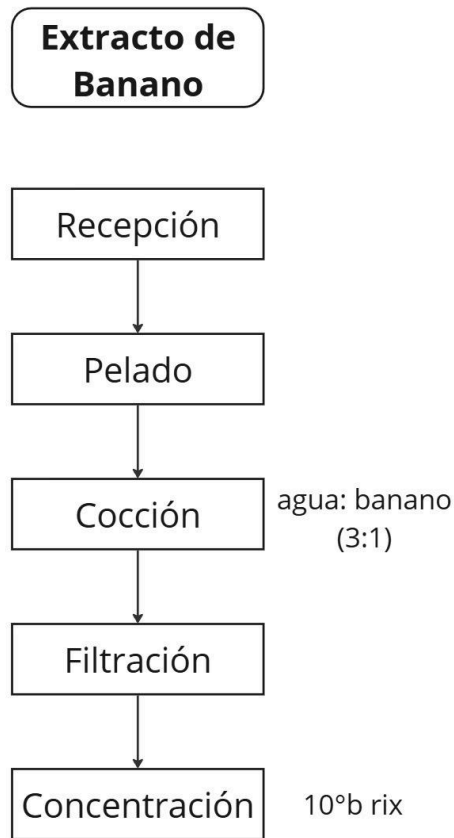
Figura 4. Flujograma de suero dulce concentrado



2.1.3 Banano

El extracto de banano seda se obtuvo por cocción de banano maduro (grado 6-7) con índice de maduración de 64 y 17 °Brix de sólidos solubles, con una relación de agua (1:3) y dejarlo concentrar hasta 10 °Brix para su uso.

Figura 5. Flujograma de extracto de banano



2.2 Mezcla

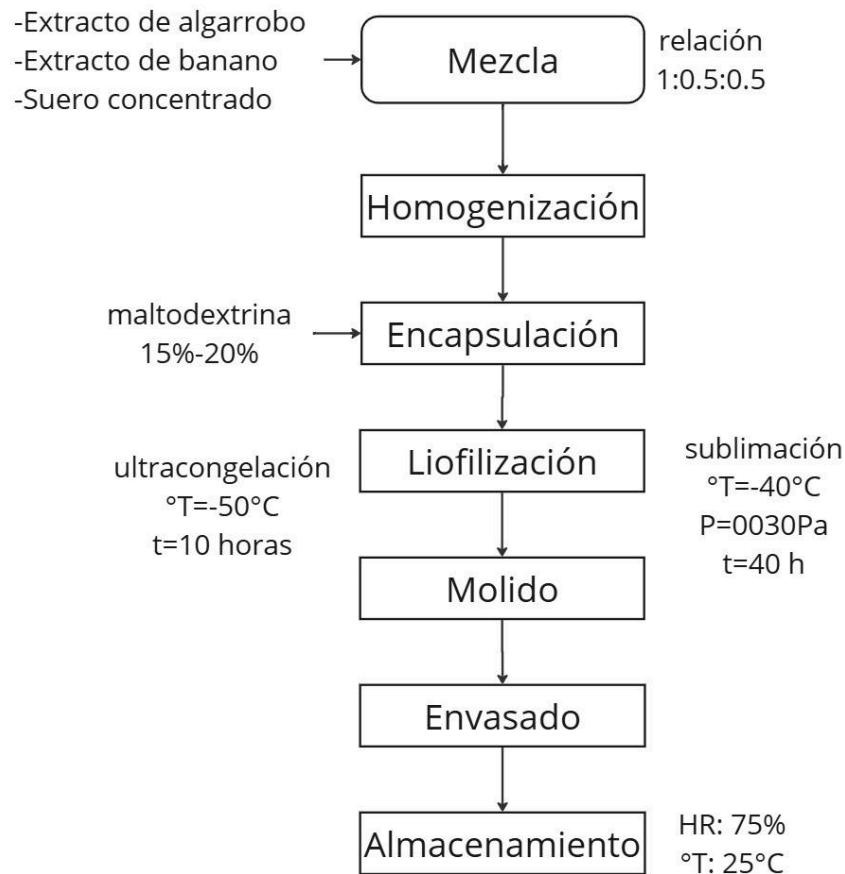
Los extractos de algarrobo, suero y banano se mezclan en una proporción de 1:0.5:0.5, es decir para obtener 200 ml de extracto se mezcla 100 ml de algarrobo, 50 ml de suero y 50 ml de banano a las diferentes concentraciones según los tratamientos a preparar.

2.3 Liofilización del extracto con el agente encapsulante

En el laboratorio de Bioconversión de la Universidad Técnica de Machala, se llevó a cabo el liofilizado de la mezcla, para ello se obtuvieron lotes de 200 ml de 3 tratamientos diferentes para el proceso de liofilización mezclando extracto de algarrobo, suero y banano con el agente encapsulante a diferentes proporciones. La maltodextrina fue agregada bajo agitación constante con ayuda de un ultrasonido para mejorar su disolución.

Las formulaciones homogeneizadas se vertieron en las bandejas de aluminio del equipo (Liofilizador Marca BIOBASE -60 °C - 80 °C CHINA), se procedió a ultracongelarlas a -50 °C durante 10 horas, y se subliman funcionando a -40 °C con una presión de 0,0030 bar durante 40 horas. Los extractos en polvo obtenidos se molieron con un miniprocador y fueron almacenados en fundas PET (Tereftalato de Polietileno) metalizado. A continuación se presenta el respectivo flujograma:

Figura 6. Flujograma del liofilizado



2.4 Rendimiento de la liofilización

El rendimiento del proceso de liofilización se calculó como la relación entre la masa de polvo obtenida tras el secado y la masa de sólidos totales de la mezcla líquida expresada en porcentaje. (Davidov-Pardo et al., 2013)

Además, se consideró realizar la medición de sólidos totales por los sólidos aportados por la maltodextrina ya que se determinó que mezclando 1,11 g de maltodextrina en 20 ml de agua destilada se obtenía un aumento de 0 a 6°Brix, esto debido a que la maltodextrina se trata de un oligosacárido que aumentan los sólidos solubles (°Brix) así como el rendimiento del polvo obtenido. (López et al., 2009)

2.5 Caracterización fisicoquímica y nutricional

2.5.1 Sólidos solubles y sólidos totales

El método consiste en determinar los grados brix del polvo reconstituido, el cual se obtiene luego de mezclar el alimento en polvo en agua destilada a 25 °C hasta alcanzar los sólidos de los extractos luego de la adición del soluto (maltodextrina). (Amaya et al., 2022) Los sólidos solubles fueron determinados por refractometría empleando un refractómetro portátil Vee Gee STX-3 y para los sólidos totales se empleó un equipo analizador de humedad (OHAUS MB 90 modelo Aqua Searcher)

2.5.2 pH

El pH fue determinado en el polvo rehidratado empleando un pH-metro (OHAUS, modelo Aqua Searcher) (INEN, 2009).

2.5.3 Contenido de humedad

Se aplicó el procedimiento indicado en la normativa NTE INEN 265, donde se pesan 5 g de muestra y se secan una estufa (marca Memmert GmbH) a 60 - 70 °C por 2 horas, luego irán a un desecador y se pesa. El proceso se repite hasta peso constante. El porcentaje de humedad presente en la muestra se calcula mediante la ec. (3):

$$H = \frac{m_1 - m_2}{m} * 100 \quad (3)$$

donde

m_1 = masa cápsula más muestra húmeda (g)

m_2 = masa cápsula más muestra seca (g)

m = masa de muestra (g)

2.5.4 Actividad de agua

La actividad acuosa es determinada empleando el higrómetro HygroPalm medidor de la actividad de agua a 25°C.

2.6 Caracterización reológica

Las propiedades del polvo influyen en su grado de reconstitución en el medio líquido, cuyo equilibrio hace que este sea soluble. A continuación se indica el procedimiento de cada propiedad reológica por determinar en el liofilizado:

2.6.1 Granulometría o Distribución del tamaño de partícula

Se ejecuta un análisis granulométrico de los polvos empleando tamices de distinto diámetro con el objetivo de determinar el % retenido entre los tamices consecutivos. (Serna et al., 2015) Siguiendo el método oficial AOAC 965.22 la INEN 517 indica que se deben pesar 100 g muestra y dejar pasar por tamices de diferente tamaño ubicados en orden decreciente en una tamizadora con agitación constante durante 5 minutos y determinar el porcentaje retenido en cada tamiz, considerando la ec. (4) :

$$MR = \frac{m_2 - m_1}{m} \quad (4)$$

donde:

MR = masa retenida de harina, en porcentaje de masa.

m = masa de la muestra de harina, en g.

m₁ = masa del papel sin harina, en g.

m₂ = masa del papel con la fracción de harina, en g.

Según Mosquera (2010) para caracterizar a un producto en polvo, este no debe presentar partículas de un tamaño superior a 1 mm.

Los tamices empleados fueron el N° 16;18;20;30 y 40 con un tamaño de partícula de 1,18 mm; 1 mm; 850 μm ; 600 μm y 425 μm respectivamente.

2.6.2 Higroscopicidad

Sapper et al., (2016) siguió la metodología descrita por Cai y Corke (2000) donde se coloca 1,5 g de muestra en un ambiente saturado de humedad relativa al 81% con una disolución de Sulfato de Sodio a 25°C durante 7 días. Los valores tomados fueron con base a la ganancia de peso o humedad, expresándose en g de agua ganada por cada 100 g de sólidos secos, empleando la ec. (5)

$$\%HG = \frac{\frac{m_1 - m_2}{m_3}}{1 - X_w} \times 100 \quad (5)$$

donde:

m1 = masa de la placa más la muestra hidratada (g)

m2 = masa de la placa más la muestra inicial (g)

m3 = masa de muestra inicial (g)

Xw = humedad de la muestra inicial (g de agua/g de muestra)

2.6.3 Densidad aparente

La densidad resulta de la relación entre la masa y el volumen de la materia (Almora et al., 2022).

2.6.4 Densidad compactada o tangencial

Al igual que la densidad aparente se trata de una propiedad intensiva, pero el volumen leído se obtiene a partir del golpeteo de la probeta que contenía una conocida cantidad de muestra. El golpeteo se lo suele realizar empleando un medidor de densidad por golpeteo Vankel con una

amplitud de desplazamiento de 3 mm por 1250 veces, pero a la falta de este instrumento se empleó un agitador magnético o Vortex Mixer 5 de velocidad.

2.6.5 Fluidéz y cohesión

Estos parámetros se evalúan a partir de la densidad aparente y compactada que se relacionan mediante ecuaciones (ec. 6 y ec. 7) y luego estos valores se comparan con el Índice de Carr (fluidéz) indicadas en la TABLA 3 y el Índice de Hausner (cohesividad) según la TABLA 4:

$$CI = \left(\frac{\text{densidad tangencial} - \text{densidad aparente}}{\text{densidad tangencial}} \right) * 100 \quad (6)$$

$$HR = \left(\frac{\text{densidad tangencial}}{\text{densidad aparente}} \right) * 100 \quad (7)$$

Tabla 5. Clasificación de la fluidéz del polvo basa en el índice de Carr (CI)

CI (%)	Fluidéz
<15	Muy bueno
15-20	Bien
20-35	Regular
35-45	Mal
>45	Muy malo

Fuente: (Jinapong et al., 2008)

Tabla 6. Clasificación de la cohesividad basa en el índice de Hausner (HR)

RRHH	Cohesión
<1.2	Bajo
1.2-1.4	Intermedio
>1.4	Alto

Fuente: (Jinapong et al., 2008)

2.6.6 Grado de apelmazamiento

Se determina empleando la muestra hidratada sometida al análisis de higroscopicidad según la metodología de Jaya y Das (2004), colocándola en una estufa a 102 °C por 1 hora. Tras enfriarlas en un desecador se pesan y se separan con un tamiz de 0,5 mm el cual es agitado constantemente durante 5 minutos a 50 Hz, registrando la cantidad de muestra retenida en el tamiz. El grado de apelmazamiento se calculó según la siguiente ec. (8):

$$\%DC = \frac{c}{d} \times 100 \quad (8)$$

donde:

c = masa de muestra retenida en el tamiz (g)

d = masa de muestra tamizada (g)

2.6.7 Solubilidad

Para la determinación de este parámetro, se sigue en método reportado por Cano et al., (2005), con algunas modificaciones por la disponibilidad de instrumentos de laboratorio: a 0,5 g de polvo del extracto de algarrobo, suero y banano se le adicionaron con 50 ml de agua destilada contenida en un tubo de ensayo, luego se llevó a una centrifuga (Clay Adams) a 3000 rpm durante 5 minutos. Utilizando una micropipeta se extrae una alícuota de 15 ml del sobrenadante y se transfiere a una placa Petri de peso conocido. Las placas fueron introducidas en una estufa y se secaron a 105°C durante 5 horas o hasta peso constante. El porcentaje de solubilidad se calculó mediante la ec. (9):

$$\text{solubilidad en agua (\%)} = 100 \times \left(\frac{\text{peso sólidos en el sobrenadante} * 3,335}{\text{peso de la muestra}} \right) \quad (9)$$

Fuente: (Cock et al., 2015)

2.7 Evaluación sensorial

Dentro de las instalaciones de la Facultad de Ciencias Químicas y de la Salud de la Universidad Técnica de Machala, se aplicó una prueba hedónica de preferencia (impresión global) a 34 panelistas no entrenados sino pertenecientes al grupo hedónico, debido a que se requiere evaluar el grado de aceptación y preferencia. Se considera que la escala hedónica adquiere una valoración de 1 a 5 donde: 1 «me disgusta mucho», 2 «me disgusta poco», 3 «ni me disgusta ni me gusta», 4 «me gusta poco», 5 «me gusta mucho»

La reconstitución del liofilizado se realizó en leche a 50 °C de temperatura disolviendo 5 g de polvo de los diferentes tratamientos en 40 ml de leche entera ultrapasteurizada comercial. Los

panelistas o consumidores dispusieron de una hoja de evaluación sensorial donde podían señalar el puntaje según su apreciación hacia el producto.

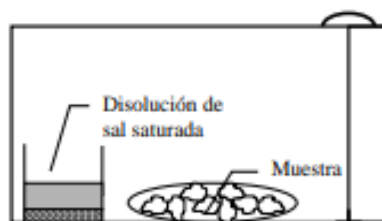
2.8 Composición nutricional

La caracterización del alimento en polvo de mejor impresión general se aplica al perfil de proteínas mediante el método nitrógeno: Micro Kjeldahl y de minerales como hierro, calcio y magnesio mediante el análisis foliar en el laboratorio de análisis químico agrícola Nenalab S.A, (Machala, El Oro). La declaración de nutrientes se basó según lo indicado en la NTE INEN 1334-2 y 1334-3.

2.9 Isoterma de sorción

Al ser únicas para cada tipo de alimento, esta se debe evaluar de forma experimental (Muzaffar & Kumar, 2016), aplicando el método gravimétrico estático propuesto por Wolf et al., (1985); para ello se aplica el procedimiento indicado por Talens (2017) quien emplea sales saturadas con una actividad de agua conocida a temperatura de 25 °C (condiciones de almacenamiento), este método consiste en colocar dentro de una cámara cerrada una solución saturada de una sal en agua destilada dejando cierto espacio para que se origine ese ambiente de humedad de equilibrio. Dentro de la cámara se coloca una muestra (2 - 3 g) la cual irá ganando o perdiendo humedad hasta peso constante, es decir hasta que la a_w de la muestra será la de la sal puesto que la humedad relativa es constante. Una representación gráfica de este método se presenta en la Figura 7.

Figura 7. Ejemplo de colocación de la muestra y la sal saturada en un envase hermético



Fuente: (Talens, 2017)

Las sales empleadas y la actividad de agua correspondiente se indican en el Cuadro 7. Las muestras serán colocadas en un desecador desde el día 0 para evitar cualquier alteración externa.

Cuadro 8. Sales con su actividad de agua correspondiente

Sal	aw a 25°C
Acetato de potasio	0,224
Cloruro de magnesio	0,328
Carbonato de potasio	0,432
Nitrato de magnesio	0,529
Nitrito de sodio	0,642
Yoduro de potasio	0,689

Para obtener la isoterma de sorción de agua se pretende construir un plano donde X representa la aw determinada (hasta masa constante en contacto con las sales) de la muestra y el eje Y la Humedad en el equilibrio (W_e) la cual se calcula aplicando la ec. (10):

$$W_e = \frac{P_i * X_{wi} + (P_f - P_i)}{P_i(1 - X_{wi})} \quad (10)$$

donde

X_{wi} = humedad inicial

P_i = masa inicial

P_f = masa final

Se va controlando el peso inicial y final hasta que el encapsulado quede en equilibrio con la humedad relativa proporcionada por las sales preparadas, hasta obtener los datos experimentales de humedad en equilibrio frente a la aw de las sales (Talens, 2017). A partir de la curva representada por los datos anteriores, se obtiene la ecuación de regresión del sistema, que será linealizada al modelo de BET o al modelo de GAB para obtener los parámetros de cada ec.(1) y ec. (2) respectivamente.

2.10 Tiempo de vida útil

Para calcular el tiempo de vida útil con base a la isoterma de sorción se aplicará la ec. (11) aplicado a un alimento que gana humedad hasta llegar a su humedad crítica, considerando al plástico como material permeable donde la concentración de agua en el alimento que se transfiere a través de dicha barrera, aplicando el método basado en las leyes de Fick y Henry (Labuza, 1982; Heiss & Eichner, 1971), donde la transferencia de agua ocurre a una temperatura de almacenamiento constante:

$$t = \frac{\ln \left[\frac{m_e - m_i}{m_e - m_c} \right]}{\frac{P}{X} * \frac{A}{W_s} * \frac{p_0}{b}} \quad (11)$$

donde:

m_e = contenido de humedad de equilibrio a °C (%) o g agua/ g alimento seco

m_c = contenido de humedad crítico (%) o g agua/ g alimento seco

m_i = contenido de humedad inicial (%) o g agua/ g alimento seco

b= pendiente de la isoterma en forma lineal

A=área superficial del empaque (m²)

W_s = masa del alimento envasado (g)

P_0 = presión de vapor de agua del alimento a 25 °C (cmHg)

Considerando que la presión de vapor de agua a 25 °C es 23,76 mmHg según el apéndice A.2.-1 TABLA de presión de vapor de agua del libro de Procesos de Transporte y Operaciones Unitarias, 3era Edición de C.J Geankoplis, la presión de vapor del alimento se calcula a partir de la ecu. 12

$$P_0 \text{ a } 25^\circ\text{C} * \frac{HR}{100} \quad (12)$$

Para el cálculo de $\frac{P}{X}$ es necesario conocer los valores de WVTR a 25 °C/75 HR (g/m² día) mediante la ec. (13)

$$FI \text{ a } 25^{\circ}C/75 \text{ HR} = P_0 \text{ a } 25^{\circ}C * \frac{HR}{100} \quad (13)$$

donde

FI = fuerza impulsadora a 25°C/HR (cm Hg)

P_0 a 25°C = cm Hg

Luego se obtiene P/X para el material (tipo de plástico) del envase conociendo el grosor de este (μm) y aplicando la ec. (14)

$$\frac{P}{X} = \frac{WVTR}{FI} \quad (14)$$

$WVTR$ a 25°C/75HR= g/m² día

FI = fuerza impulsadora a 25°C/HR (cm Hg)

La variable «b» de la ecuación corresponde a la ecuación de la recta de la isoterma de sorción linealizada siendo esta igual a $mx + b$.

CAPÍTULO III

RESULTADOS

3.1. Tratamientos estadísticos

Con base a las pruebas preliminares se han establecido los límites para los diversos tratamientos a realizar, considerando los sólidos solubles (20-25°Brix) y maltodextrina (15-20%). Se ha optado por aplicar la metodología de superficie de respuesta del programa estadístico Minitab 2018 con el objetivo de obtener una combinación de variables que afectan a la respuesta de interés (aceptación sensorial), obteniendo las siguientes combinaciones observadas en la Tabla 5:

Tabla 7. Tratamientos con grados brix y maltodextrina

Brix	maltodextrina
20,0000	15,0000
25,0000	15,0000
20,0000	20,0000
25,0000	20,0000
18,9645	17,5000
26,0355	17,5000
22,5000	13,9645
22,5000	21,0355
22,5000	17,5000
22,5000	17,5000
22,5000	17,5000
22,5000	17,5000

22,5000 17,5000

Considerando que la elección del mejor tratamiento estuvo en función de los resultados de la evaluación sensorial se procedió a elegir los tratamientos más distantes para que el consumidor/catador pueda elegir a 1 entre los 5 tratamientos que se le presentan. Las formulaciones elegidas se presentan en el Cuadro 8:

Cuadro 9. Formulaciones de polvo con diferentes concentraciones de sólidos solubles y maltodextrina

Tratamientos	°Brix	%Maltodextrina
1	20	15
2	20	20
3	22,5	17,5
4	25	15
5	25	20

En la Tabla 8 se presenta la caracterización de cada extracto acuoso preparado a las concentraciones de sólidos solubles elegidos.

Los diferentes parámetros físico-químicos fueron realizados por triplicado a temperatura ambiente y los resultados son reportados como el promedio de cada una:

Tabla 8. Caracterización físico-química de los extractos obtenidos previo a la mezcla:

Extracto	Sólidos solubles (°Brix)	pH	Densidad (g/ml)	sólidos totales %
Algarrobo	21 ± 0,28	5.68 ± 0,025	0,954 ± 0,005	28,04 ± 0,35
Suero	27 ± 0,55	6.53 ± 0,05	1,089 ± 0,007	21,09 ± 0,45
Banano	11 ± 0,28	4.94 ± 0,17	0,977 ± 0,007	8,35 ± 0,34

Y en el caso del tratamiento de 25 °Brix se obtuvo concentrando el algarrobo obteniendo los resultados de su análisis fisico-químico presentados en la Tabla 9:

Tabla 9. Caracterización fisico-química de los extractos obtenidos previo a la mezcla:

Extracto	Sólidos solubles (°Brix)	pH	Densidad (g/ml)	sólidos totales %
Algarrobo	31 ± 0,5	6,75 ± 0,05	1,44 ± 0,02	21,09 ± 0,21
Suero	27 ± 0,55	6,53 ± 0,05	1,089 ± 0,007	21,09 ± 0,45
Banano	11 ± 0,28	4,94 ± 0,17	0,977 ± 0,007	8,35 ± 0,34

Como se ha indicado anteriormente, el pH de la mezcla líquida fue corregido con la adición bicarbonato de sodio hasta obtener un pH mayor a 6.

En la Tabla 10 se evidencia la influencia de la maltodextrina en el pH haciendo que el valor de cada mezcla sea mayor cuanto mayor es la cantidad del encapsulante añadido, así como lo determinaron Feijoo & Chillogalli (2024) en su trabajo de miel liofilizada con el 30 % de maltodextrina 10 - 15 atribuyendo este cambio al pH neutro de la maltodextrina empleada (7,0) lo que conlleva a un ligero incremento.

Tabla 10. Efecto del porcentaje de maltodextrina en el pH de cada tratamiento

Tratamientos	°Brix	%Maltodextrina	pH
1	20	15	6,38 ± 0,025
2	20	20	6,68 ± 0,025
3	22.5	17.5	6,70 ± 0,032
4	25	15	6,90 ± 0,072
5	25	20	6,93 ± 0,032

3.2 Rendimiento de la liofilización

Se menciona que el tratamiento 4 no se analizó por el alto grado de apelmazamiento resultante del alto contenido de azúcares y la insuficiente cantidad de maltodextrina empleada.

Tabla 11. Rendimiento de la liofilización por cada tratamiento

Tratamiento	Sólidos totales (%)	Masa mezcla (g)	Masa liofilizado (g)	Rendimiento (%)
1 (20 °Brix,15 %malt)	36,38	231,12	66,96	28,97
2 (20 °Brix,20 %malt)	40,48	223, 56	76, 46	34, 20
3 (22,5 °Brix,17,5 %malt)	38,45	220,56	70,03	31, 75
4 (25 °Brix, 15 % malt)	42,50	240	*	*
5 (25 °Bri, 20%malt)	42,88	235,46	77,77	33,02

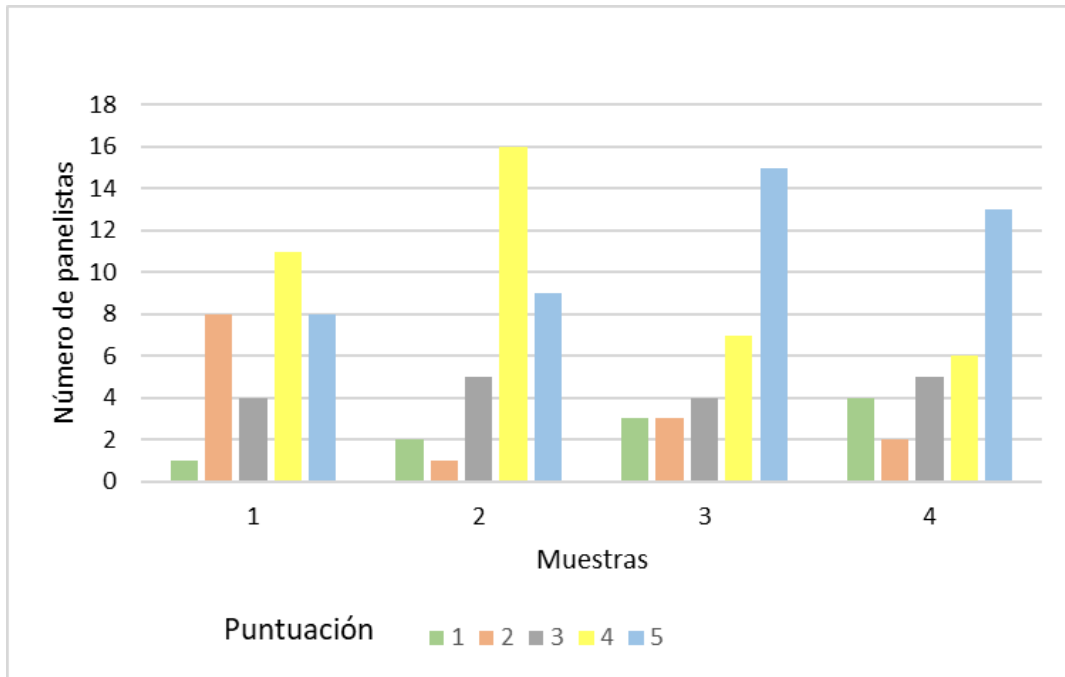
*Las muestras presentaron un alto grado de apelmazamiento, dificultando su manipulación y un rápido colapso del polvo.

Se observa en la Tabla 9 que el rendimiento del proceso de liofilizado del extracto de algarroba, suero y banano oscila entre un 29 y 34 % siendo un valor muy bajo comparado con el 94 - 96 % que Amaya et al., (2022) informó en el liofilizado de jugo de arándano andino empleando maltodextrina como agente encapsulante. Se destaca que a mayor participación de la maltodextrina en la mezcla permite aumentar el rendimiento del encapsulado. Entre los factores que conllevan a una baja eficiencia se encuentran: vacío insuficiente; alta higroscopicidad (formación de aglomerados) y la alta presencia de componentes higroscópicos como los azúcares simples (Serna et al., 2015).

3.3 Evaluación sensorial

En la Figura 8 se presenta la recopilación de las respuestas de los 34 catadores referentes a la prueba de aceptación sensorial

Figura 8. Representación gráfica de las respuestas de aceptación



En la gráfica anterior se observa el número de panelistas que valoraron a los 4 tratamientos o muestras presentadas con una puntuación del 1 al 5. Se destaca que la muestra 3 presentó la máxima puntuación con alrededor de 15 panelistas.

Con respecto al nivel de consumo o adquisición del producto evaluado, el 91,18 % de los panelistas encuestados aceptan consumir este producto.

3.4 Tratamiento estadístico

3.4.1 Diseño Experimental

Una vez obtenidas las respuestas de la etapa de evaluación sensorial del liofilizado, se procede a emplear estos datos en el programa Minitab ingresando los valores promedio del total de panelistas (34 personas) para las 4 muestras presentadas. En la Tabla 11 se detalla que los

tratamientos que tienen como valoración 0 hace referencia a aquellas mezclas de °brix y % maltodextrina que no fueron evaluadas por el colapso del polvo.

Ingreso de los resultados de evaluación sensorial:

Tabla 12. Resultados de la evaluación sensorial del polvo

Blo.	°Brix	%Malt	Evaluación sensorial
1	20,0000	15,0000	2,824
1	25,0000	15,0000	2,824
1	20,0000	20,0000	3,235
1	25,0000	20,0000	3,441
1	18,9645	17,5000	0,000
1	26,0355	17,5000	0,000
1	22,5000	13,9645	0,000
1	22,5000	21,0355	0,000
1	22,5000	17,5000	3,588
1	22,5000	17,5000	3,588
1	22,5000	17,5000	3,588
1	22,5000	17,5000	3,588
1	22,5000	17,5000	3,588

Observando los resultados expresados como el promedio de la valoración sensorial para cada tratamiento, se puede indicar que el tratamiento de mayor aceptación para los consumidores es de 22,5 °Brix y 17,5 % de maltodextrina, además se considera que al presentar un valor de 3,58 este corresponde a la asignación «Ni me disgusta ni me gusta» y «me gusta» según la escala empleada confirmando la hipótesis de investigación donde si es posible elaborar un encapsulado

de extracto de algarrobina, suero dulce y banano mediante liofilización con una buena aceptación sensorial.

3.4.2 Análisis de varianza

Con respecto a la comprobación de hipótesis, se presenta el análisis de varianza del tratamiento estadístico.

Tabla 13. Análisis de varianza

Regresión de superficie de respuesta: Evaluación ... x; %Maltrodextrina

Análisis de Varianza

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Modelo	5	13,0473	2,60945	0,96	0,502
Lineal	2	0,1374	0,06870	0,03	0,975
°Brix	1	0,0053	0,00530	0,00	0,966
%Maltrodextrina	1	0,1321	0,13210	0,05	0,832
Cuadrado	2	12,8993	6,44963	2,36	0,165
°Brix*°Brix	1	7,2909	7,29088	2,67	0,146
%Maltrodextrina*%Maltrodextrina	1	7,2909	7,29088	2,67	0,146
Interacción de 2 factores	1	0,0106	0,01061	0,00	0,952
°Brix*%Maltrodextrina	1	0,0106	0,01061	0,00	0,952
Error	7	19,1225	2,73179		
Falta de ajuste	3	19,1225	6,37417	*	*
Error puro	4	0,0000	0,00000		
Total	12	32,1698			

Al observar en la Tabla 13 se aprecia que el valor p de los tratamientos tanto en modelo cuadrado como lineal es mayor a 0,05 lo que indica que no existe diferencia significativa de los tratamientos del encapsulado de algarrobo, suero y banano mediante liofilización

Además se presenta la ecuación del liofilizado en la Figura 9 resultante de la evaluación sensorial, de la cual se identifica la ajustada influencia de la presencia de maltodextrina y la cantidad de sólidos solubles en el polvo alimentario.

Figura 9. Ecuación de regresión de la variable optimizada

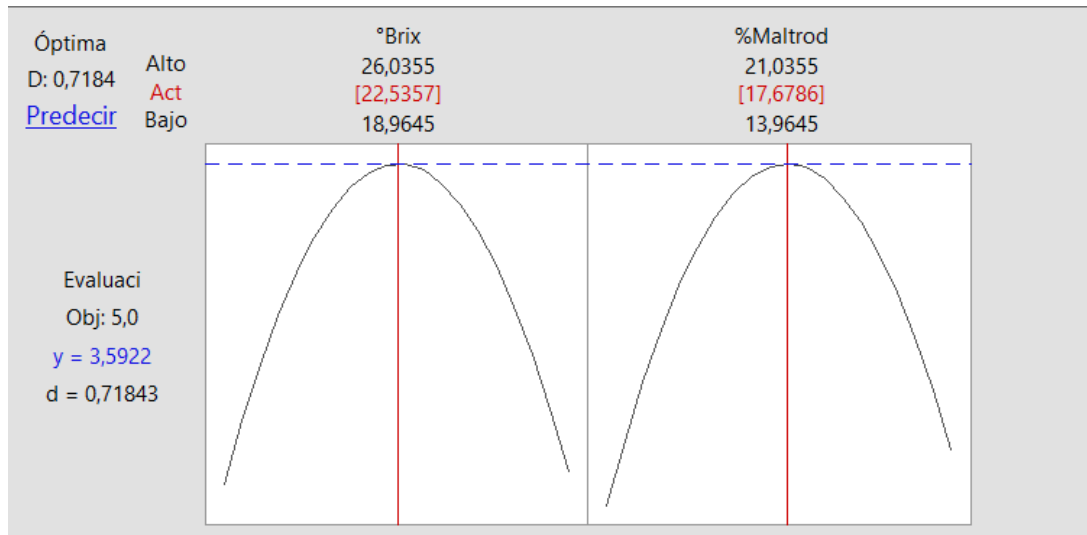
Ecuación de regresión en unidades no codificadas

$$\begin{aligned} \text{Evaluación sensorial} = & -127,4 + 7,24 \text{ °Brix} + 5,60 \% \text{Maltrodextrina} - 0,164 \text{ °Brix} \cdot \text{°Brix} \\ & - 0,164 \% \text{Maltrodextrina} \cdot \% \text{Maltrodextrina} + 0,008 \text{ °Brix} \cdot \% \text{Maltrodextrina} \end{aligned}$$

3.4.3 Optimizador de la variable de respuesta

A partir de los resultados de la evaluación sensorial para alcanzar el objetivo de máxima puntuación y empleando el optimizador de respuesta del programa estadístico, se obtuvo la gráfica representada en la Figura 10:

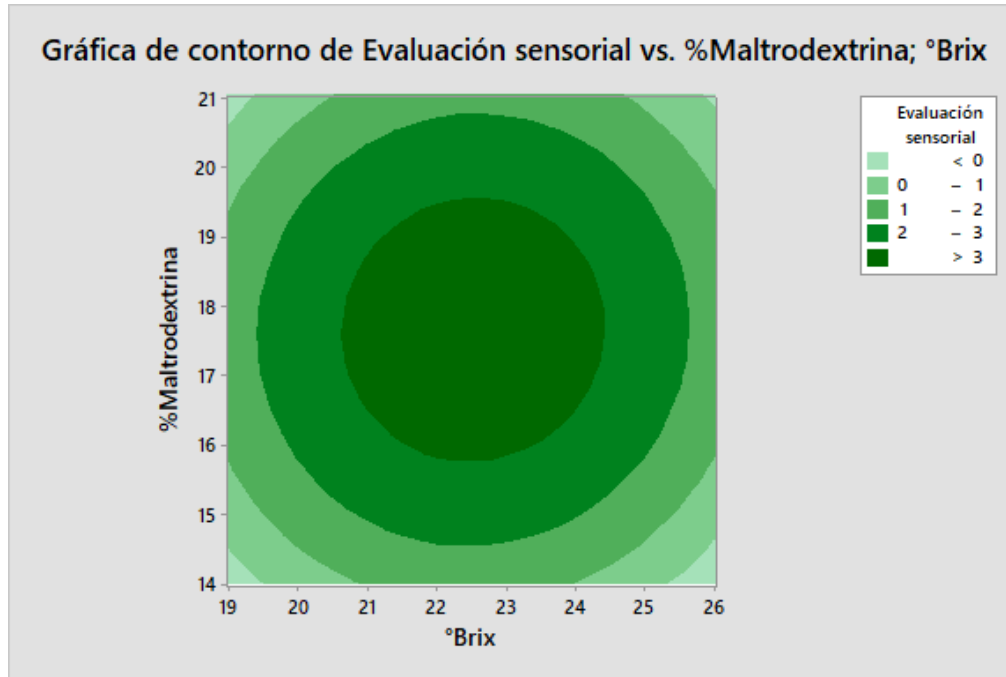
Figura 10. Optimizador de la variable de respuesta



De la gráfica de optimización de respuesta se observa que la mezcla que me permite alcanzar el puntaje de 5 es la interacción de 22,5 °Brix y 17,67 % de maltodextrina, según las indicaciones del programa.

Para fines ilustrativos que permitan una mayor apreciación de la Optimización de respuesta (evaluación sensorial) se presenta la gráfica (Figura 11) correspondiente a la gráfica de contorno de Evaluación Sensorial del programa Minitab.

Figura 11. Gráfica de contorno



Fuente: Elaboración propia

La interpretación de la gráfica de contorno consiste en identificar las zonas resaltadas con mayor intensidad, es decir, los puntos que interactúan y que presentan el mismo valor de la variable de respuesta se conectan o interceptan con una evaluación sensorial mayor a 3.

3.5 Caracterización físico-química del polvo reconstituido

La reconstitución del polvo se obtuvo mezclando en 100 ml de agua destilada 37,55 g del liofilizado para alcanzar los $38,49 \pm 0,01$ Sólidos solubles. La caracterización fisicoquímica del encapsulado se representa en la Tabla 14:

Tabla 14. Caracterización físico-química del polvo reconstituido

Característica	Unidad	$\bar{x} \pm SD$
pH	-	$7,41 \pm 0,01$
Sólidos totales	%	$38,49 \pm 0,01$

Sólidos solubles	°brix	31,53 ± 0,05
Humedad inicial	%	2,05 ± 0,01

3.5.1 *pH*: el polvo reconstituido experimentó un incremento en su pH después del secado por liofilización pasando de 6,70 a 7,41, este comportamiento también lo evidenciaron Feijoo & Chillogalli (2024) en la miel en polvo que obtuvieron por liofilización, pasando de un pH de 4,35 ± 0,07 a 5,2 ± 0,00 después del secado atribuyendo esta variación al efecto del agua eliminada de la matriz provocando el aumento de los azúcares.

3.5.2 *Sólidos solubles*: el efecto de la adición de maltodextrina influye directamente que el polvo reconstituido presente un alto contenido de sólidos solubles

3.5.3 *Sólidos totales*: presentaron un valor superior a los sólidos solubles ya que en este parámetro se consideran los compuestos no acuosos del encapsulado como la fibra, grasa y proteínas no solubles provenientes de la matriz alimentaria.

3.5.4 *Humedad inicial*: este valor presentado resultó ser menor al encontrado por Ruano et al., (2018) equivalente a 3% en el jugo de caña pañalera y concentrado proteico de suero en polvo expuesto a una humedad relativa del 75 % a 25 °C, considerando que no emplearon ningún agente encapsulante; por otro lado la humedad inicial del borjón y fresa liofilizada resultó mayor (<5 %), considerando que a mayor maltodextrina se presenciaba un mayor contenido de humedad e incluso un incremento del tamaño de las partículas (Mosquera, 2010) .

3.6 Propiedades de reconstitución

En la Tabla 12 se presentan los resultados de las propiedades funcionales del encapsulado obtenido por liofilización a partir de una mezcla de algarrobo, suero y banano de 22,53 °Brix con 17,67 % de maltodextrina D 10-15.

Tabla 15. Propiedades funcionales del encapsulado en polvo

Característica	Unidad	$\bar{x} \pm SD$
----------------	--------	------------------

Tamaño de partícula	μm	$830,15 \pm 1,3$
Densidad aparente	g/ml	$0,49 \pm 0,07$
Densidad compactada	g/ml	$0,525 \pm 0,00$
Higroscopicidad (HR)	g agua/100 sólidos secos (%)	$36,16 \pm 0,06$
Apelmazamiento	%	No se pudo determinar por el colapso del polvo
Solubilidad	%	$91,84 \pm 0,26$

3.6.1 Tamaño de partícula: Comparando este valor con los reportados por otros autores, resulta ser mayor para el polvo de jugo de caña pañalera y suero de Ruano et al., (2018), que presentó un tamaño de partícula de $14,61 \pm 0,3 \mu m$ aunque este experimentó un incremento después de 4 horas $24,2 \pm 1,63 \mu m$ atribuyendo este incremento por la aglomeración conducida por la lactosa y sacarosa generando una hinchazón de las partículas debido a la migración del agua. Sapper et al., (2016) encontró valores entre 150 y $650 \mu m$ del pomelo liofilizado con maltodextrina 16,5 - 19,5 DE. Este autor atribuye que además del proceso correcto y homogéneo del molido del liofilizado, el alimento pulverizado puede llegar a presentar un incremento del tamaño de partícula cuanto mayor sea la presencia de estructuras o suspensiones fibrosas como la celulosa y hemicelulosa no soluble.

El tamaño de partícula resulta de gran importancia ya que influye en la humectabilidad y solubilidad del polvo para su reconstitución, según lo reportado por Serna et al., (2015) donde el tamaño de partícula del mango liofilizado de tres variedades (Criollo, Keitt, Tommy Atkins) fue de $180 \mu m$ y $250 \mu m$ cuyo tiempo de humectación (3,2 min frente a 0,017 min respectivamente) era menor cuanto mayor era el diámetro de las partículas, es decir, su humectabilidad disminuye. Otro atributo que afecta a este parámetro es la forma de las partículas constituyentes del encapsulado, donde Mosquera (2010) pudo determinar que el borjón liofilizado en polvo estaba constituido por partículas de formas irregulares y porosas debido al aumento del tamaño de la

granulometría ($>100\mu\text{m}$), disminuyendo la fluidez y aumentando el colapso del polvo; no obstante también depende de la heterogeneidad de la distribución del tamaño de partículas, es decir la presencia de partículas de diferente tamaño lo cual puede atribuirse a una mala homogeneidad durante la mezcla con los agentes encapsulantes; por otro lado partículas muy finas resultan ser poco humectables porque al no humedecerse individualmente forman grumos aumentando el tiempo de humectación.

3.6.2 Densidad aparente: el resultado obtenido coincide con los hallazgos de Feijoo & Chillogalli (2024) donde se reportó una densidad aparente de 0,50 g/ml usando maltodextrina al 30 % como agente estabilizador, sugiriendo que la miel liofilizada es de fácil manejo y almacenamiento ya que no hay una cercanía entre partículas a tal punto que facilite una mayor compactación, aunque puede estar afectando en la capacidad de solubilización del polvo durante su reconstitución. (Higashitani et al., 2019) El resultado de este trabajo fue mayor comparado con el obtenido por Jinapong et al., (2008) donde presentó una densidad aparente de $0,22 \pm 0,00$ para soya concentrada 7,04 % de sólidos, sin cambios significativos en la densidad aparente aunque aumentaba la concentración de sólidos. Comparando con el trabajo de Amaya et al., (2022) quien encontró un valor de $0,410 \pm 0,95$ para un liofilizado de jugo de arándano empleando maltodextrina al 30 %, resultado bastante aproximado al valor encontrado para este trabajo.

3.6.3 Densidad compactada: Al observar los resultados, el polvo presenta una densidad compactada mayor a la aparente (0,525), un cambio ($0,52 \pm 0,02$) que también lo presentaron Feijoo & Chillogalli, (2024) en su miel liofilizada con 30 % maltodextrina; por otra parte estos valores resultan superiores a los obtenidos por Jinapong et al., (2008) con $0,32 \pm 0,01$ a 7,04 % de sólidos, observando que había un ligero aumento de la densidad compactada cuando aumenta la concentración de sólidos de la leche de soya . En el liofilizado de jugo de arándano al 30 % de maltodextrina elaborado por Amaya et al., (2022) presentó una densidad comparada de $0,416 \pm 0,58$ un valor un poco debajo del encontrado.

3.6.4 Higroscopicidad (%HR): el valor de esta propiedad (36,16 %) está por debajo del reportado por Sapper et al., (2016) en pomelo liofilizado con 4,6 % de maltodextrina con un % HR de 40-46 %, atribuyendo a la acción protectora de los solutos como la maltodextrina frente a la

humedad en la superficie de las partículas. Egas (2019) encontró un valor de hasta 27,4 % de HR en el pomelo liofilizado con goma arábica, siendo este valor menor al reportado en este trabajo.

3.6.5 Apelmazamiento: como resultado de la alta higroscopicidad y humidificación del polvo luego de estar almacenada con sulfato de sodio a una humedad relativa de 81 %, ocurrió el colapso del polvo consecuencia de la cristalización del azúcar formando aglomeraciones que se pronuncian con el paso del tiempo (Mosquera, 2010). Además de los efectos de la liofilización que da como resultado un polvo frágil y muy poroso dejando una mayor superficie expuesta a la hidratación (Amaya et al., 2022).

3.6.6 Solubilidad: el valor encontrado resulta mayor al presentado por Serna et al., (2015) correspondiente a $70,356 \pm 1,497$ % en cáscara de mango liofilizado, atribuyendo este valor tan bajo al tamaño de partícula estableciéndose una relación inversamente proporcional a la % solubilidad ($58,674 \pm 0,817$ relacionadas a tamaños de $250 \mu m$ frente a $70,356 \pm 1,497$ relacionadas a tamaños de $180 \mu m$); además por el alto contenido de fibra insoluble y el estado cristalino. Así también es un valor superior al que encontró Sapper et al., (2016) en el pomelo liofilizado cuyo valor de solubilidad (75 %) estaría más influenciado por la composición de la fruta que por el mismo soluto. El encapsulado obtenido al presentar un porcentaje de solubilidad mayor al 91 % se puede clasificar como un polvo de alta soldabilidad según Amaya et al., (2022) quien reportó valores de solubilidad de hasta 93,2 % en muestras de jugo de arándano adino liofilizado mezclado con maltodextrina. Respecto a la composición química y su influencia en las propiedades funcionales, la solubilidad de los alimentos en polvo mejoran al presentar una mayor composición de azúcares simples y con un menor porcentaje de extracto etéreo, aunque esto provoque una menor estabilidad por su elevada higroscopicidad desencadenando al apelmazamiento (incremento de la cohesividad) del encapsulado dificultando su reconstitución.

3.6.7 Fluidéz y cohesividad: En la Tabla 13 se presentan los resultados de las propiedades funcionales relacionadas a los valores de la densidad aparente y compacta del encapsulado obtenido por liofilización a partir de una mezcla de algarrobo, suero y banano de 22,53 °Brix con 17,67 % de maltodextrina D 10-15.

Tabla 16. Propiedades funcionales del encapsulado en polvo

Característica	Unidad	$\bar{x} \pm SD$	Clasificación
Índice de Car	-	6,66 ± 0,03	Fluidez muy buena
Índice de Hausner	-	1,07 ± 0,03	Baja cohesividad

3.6.7.1 *Índice de Car*: el valor obtenido basado en la densidad aparente y compactada permite clasificar al polvo como un encapsulado de libre fluidez, haciendo fácil su manipulación. Los resultados fueron un poco mayor a lo presentado por Feijoo & Chillogalli, (2024) en la miel liofilizada obteniendo un CI de $4,76 \pm 0,01$ aunque sigue considerándose como un polvo de muy buena fluidez. ($CI < 15$); y también CI es mayor a lo que Amaya et al., (2022) obtuvo en el liofilizado de jugo de arándano andino con un valor CR de $3,49 \pm 1,2$.

3.6.7.2 *Índice de Hausner*: La baja cohesividad de este alimento en polvo resultó ser un poco menor a lo reportado por Amaya et al., (2022) con un HS de $1,01 \pm 0,03$. Este valor encontrado resulta ser mayor al expuesto por Feijoo & Chillogalli (2024) equivalente a $0,99 \pm 0,09$, sin embargo el encapsulado obtenido en este trabajo llega a ser clasificado como un polvo de baja cohesividad ($HS < 1,2$), es decir que presenta poca compactación entre las partículas, haciendo de este un polvo de buen manejo y almacenamiento.

3.7 Caracterización nutricional

La composición nutricional del encapsulado de algarrobo, suero y banano obtenido mediante liofilización se presenta en la Tabla 17:

Tabla 17. Composición nutricional del encapsulado

Nutriente	Unidad	Valor por cada 100 g	Valor por porción	%VD
Proteína	g	3,06	0,765	1,53

Calcio	mg	0,0038	0,00095	$1,18 * 10^{-4}$
Magnesio	mg	0,17	0,0425	0,01417
Hierro	mg	0,00248	0,00062	0,00443

Considerando el aporte nutricional por porción del encapsulado y los lineamientos de la FDA (2023) respecto al % VD, el producto final aporta con el 1,53 % del % VDR de proteínas, el $1,18 * 10^{-4}$ % de calcio; 0,01417 % de magnesio y el 0,00443 % de hierro, valorando estos análisis proximales como un aporte bajo al % VDR siendo estos menores al 5 %.

3.8 Isoterma de sorción

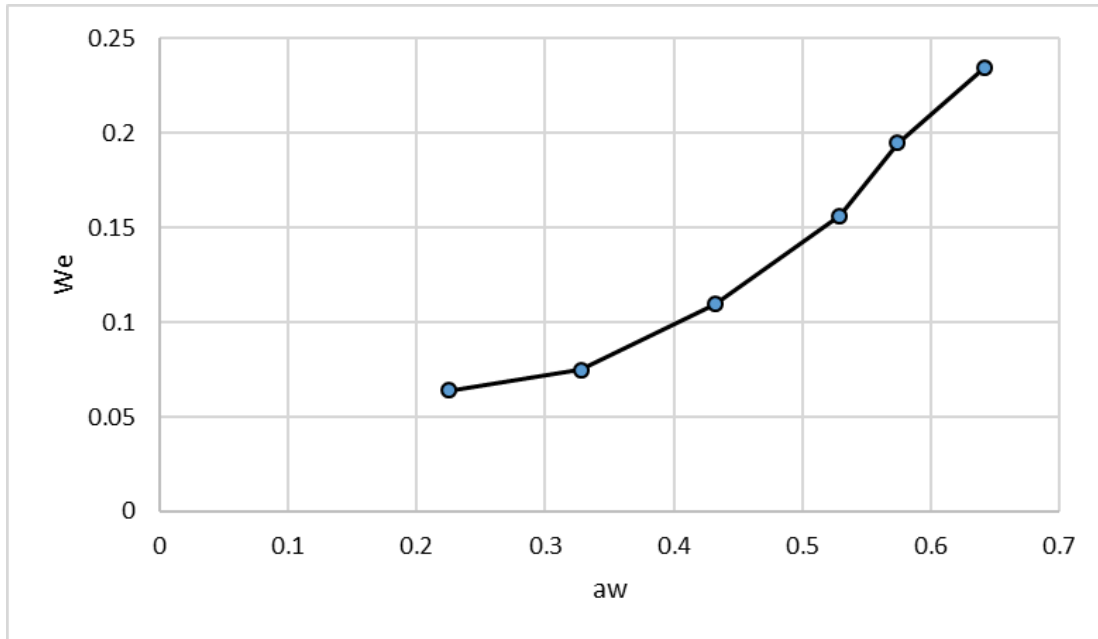
En la Tabla 18 se muestran los valores obtenidos para las muestras almacenadas a las respectivas humedades relativas de equilibrio:

Tabla 18. Datos experimentales de las muestras almacenadas a distintas aw

Sal	aw	P. inicial	P. final	Xwi	We
1	0,225	1,5058	1,5692	0,0205	0,0639141
2	0,328	1,5080	1,5876	0,0205	0,07481893
3	0,432	1,5068	1,6375	0,0205	0,10948454
4	0,529	1,5050	1,7046	0,0205	0,15632934
5	0,574	1,5051	1,7614	0,0205	0,19478069
6	0,642	1,5026	1,8174	0,0205	0,23481728

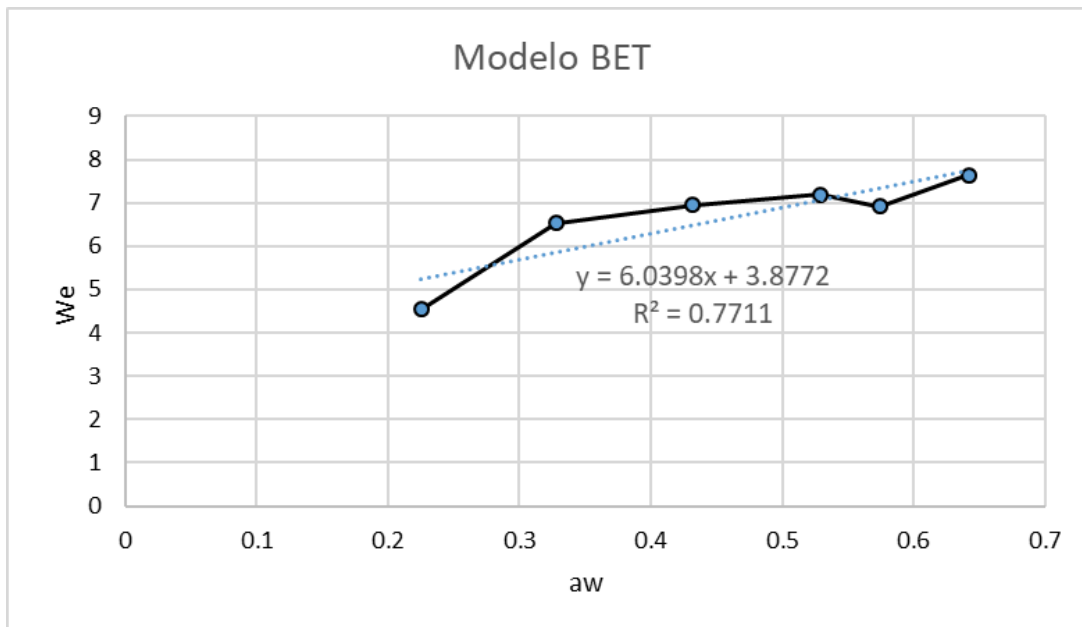
Es importante mencionar que el tiempo para alcanzar el peso constante en las muestras dentro de las cámaras de saturación obedece a la diferencia entre la humedad de saturación del ambiente y el contenido de agua, cuya velocidad de absorción disminuye a medida que el contenido de humedad del polvo incrementa. (Khazaei & Mohammadi, 2009)

Figura 12. Isoterma de sorción del encapsulado almacenados a 25 °C



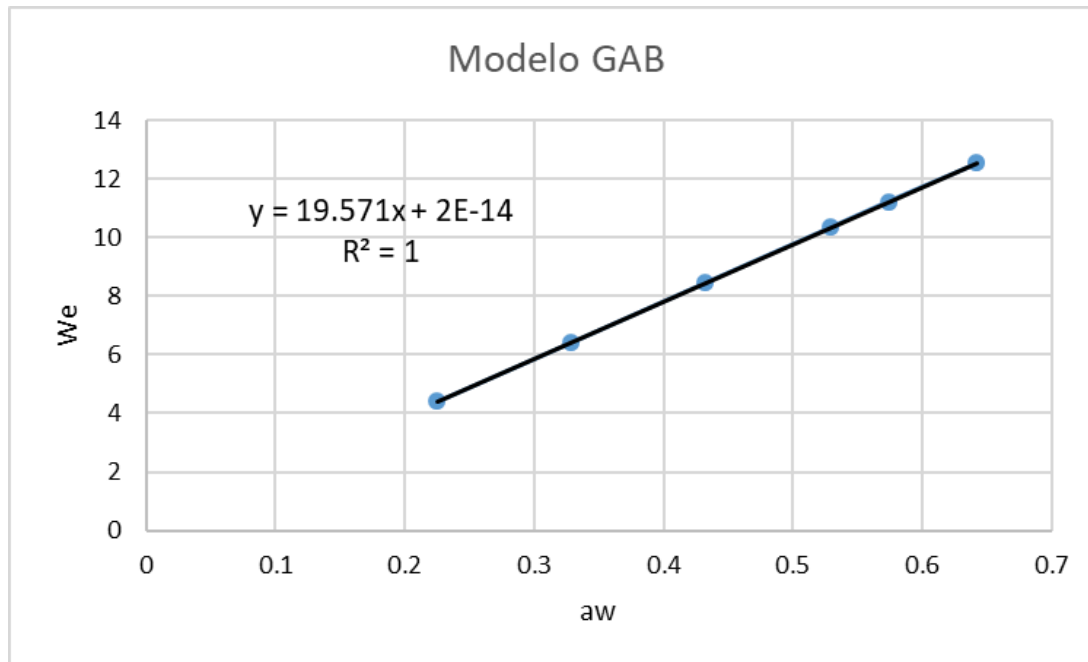
Se puede apreciar en la Figura 12 que la isoterma revela que existe un aumento en el contenido de humedad de equilibrio con el aumento de la actividad acuosa a temperatura constante, que resulta característico en matrices alimentarias con un alto contenido de compuestos hidrófilos como los azúcares simples. (Muzaffar & Kumar, 2016)

Figura 13. Aplicación del modelo de BET a los datos experimentales



Según los resultados del análisis de regresión (Figura 13) para ajustar los datos experimentales denota en un coeficiente de determinación (R^2) muy bajo para considerar una isoterma linealizada ya que resulta en un valor menor a 98 % que indica un buen ajuste (González, 2022) en un intervalo de confianza del 95 %.

Figura 14. Aplicación del modelo de GAB a los datos experimentales



Se señala que el modelo GAB describe de mejor forma los datos de adsorción experimental en todo el rango de actividad de agua, con un R^2 equivalente a 1 (Figura 14) aplicado al encapsulado de algarrobo, suero y banano. Mosquera (2010) obtuvo un ajuste de los datos de sorción experimentales con el modelo GAB aplicado al borjón liofilizado con maltodextrina de alta y baja dextrosa equivalente. González (2022) ajustó la vida útil de Pulpa de ayrampo en polvo evaluada a tres temperaturas (30,40 y 50 °C) mediante las isoterma ajustadas que presentaron una forma sigmoidea tipo II o tipo S. mediante el modelo GAB con un R^2 mayor a 98% donde es un modelo que considera a la humedad crítica de los alimentos secos para su conservación. (Goula et al., 2008). Entre otros trabajos, las isotermas construidas para la pulpa de mangaba liofilizada con maltodextrina (Conegero et al., 2017) a 25 °C; polvo de calabaza con maltodextrina (Stępień et al. 2020) y leche descremada en polvo a 25 °C (Gil et al., 2013) encontraron al modelo GAB como una ecuación con valores de ajuste próximos al 100%,

coincidiendo además que la matriz alimentaria se caracteriza por un alto contenido de compuestos solubles como azúcares (sacarosa y lactosa) y ácidos orgánicos (Caiza, 2021).

3.9 Tiempo de vida útil

Considerando la ecuación para el cálculo del tiempo de vida útil en el encapsulado de algarrobo, suero dulce y banano en polvo por liofilización, se identifican las características del envase proporcionados por el distribuidor en la Tabla 19.

Tabla 19. Características del envase

Características del envase (PET Metalizado)	Valor
Velocidad de transmisión del vapor de agua (WVTR a 25 °C/75 %HR) del envase de 130 μ m de espesor	1,65 g/m ² dia
Dimensiones	9 cm x 6cm

Conociendo estos datos, se procede a calcular las variables de la ecuación :

- Considerando que la presión de vapor de agua a 25 °C es 23,76 mmHg según el apéndice A.2.-1 TABLA de presión de vapor de agua de la obra «Procesos de transporte y operaciones unitarias», 3^a Edición de C.J Geankoplis, y las consideraciones de la ley de Fick y Henry para la aplicación de esta ecuación donde la presión de vapor de agua corresponde a la del alimento, entonces se opera con la ec. (12)

$$P_0 = P_{sat. \text{ agua } 25^\circ C} \times (HR/100)$$

$$P_0 = 23,76 \text{ mmHg} \times 0,75$$

$$P_0 = 17,82 \text{ mmHg}$$

$$P_0 = 1,782 \text{ cmHg}$$

- Se calcula la Fuerza Impulsadora (FI) efectuando el producto entre P_0 y la parte fraccionaria de Humedad Relativa a partir de la ec. (13)

$$FI = P_0 \times (HR/100)$$

$$FI = 1,782 \text{ cmHg} \times 0.75$$

$$FI = 1,3365 \text{ cmHg}$$

- La permeancia del envase P/X se calcula relacionando WVTR y FI mediante la ec. (14):

$$\frac{P}{X} = \frac{WVTR}{FI} = \frac{1,65 \text{ g/m}^2 \text{ dia}}{1,3365 \text{ cmHg}} = \frac{1,2345 \text{ g/m}^2 \text{ dia}}{\text{cmHg}}$$

- Humedad de equilibrio: tras aplicar la ec. (10) se obtiene una humedad de equilibrio de 12.2613% que expresada en base seca sería equivalente a 13,9747 g agua/ g alimento seco
- Considerando la humedad en equilibrio (HBH) m_e (12,2613 %), humedad inicial (HBH) m_i (2,05 %), expresada a HBS ($m_e = 13,9747$ %) y ($m_i = 2,092$ %) humedad crítica m_c (5,2631 %) y una pendiente de sorción linealizada con el modelo GAB igual a 19,571, el tiempo de vida útil de este encapsulado es:

$$t = \frac{\ln \left[\frac{m_e - m_i}{m_e - m_c} \right]}{\frac{P}{X} * \frac{A}{W_s} * \frac{p_0}{b}} \quad \text{ecu.(11)}$$

$$t = \frac{\ln \left[\frac{13.9747 - 2.092}{13.9747 - 5.2631} \right]}{1.2345 * \frac{0.54}{25} * \frac{1.782}{19.571}}$$

$$t = 127,8561 \text{ días}$$

$$t = 4,26 \text{ meses}$$

La humedad de equilibrio determinada resultó ser menor al obtenido por Ruano et al., (2018) con una W_e de 17,29 % considerando que dicho autor no empleó un agente encapsulante que proteja al polvo de JCP y WPC frente a la capacidad de adsorción de agua que incrementa a mayor temperatura, evidenciándose una baja estabilidad del producto lo cual conlleva a una aglomeración pasada 12 horas.

González (2022) determinó la vida útil de pulpa de ayrampo en polvo evaluada a tres temperaturas (30,40 y 50 °C) mediante la construcción de la isoterma de vapor de agua. Las isotermas ajustadas presentaron una forma sigmoidea tipo II o tipo S. mediante el modelo GAB y a través del modelo de Heiss & Eichner (1971) ; González (2022) demostró que la pulpa de ayrampo en polvo envasada en bolsas de polietileno de 250 g de presentación con un espesor de 70 micra almacenada a 80 - 88 % de HR presentaba un tiempo de vida útil que disminuye al aumentar la temperatura de almacenamiento (30,40 y 50 °C) de 4,21; 2,42; 1,47 meses respectivamente. Partiendo de parámetros como M_e de 33 g agua/g m.s ; M_c de 14,94 % g agua/g m.s; y M_i de 8.648 g agua/ g m.s.

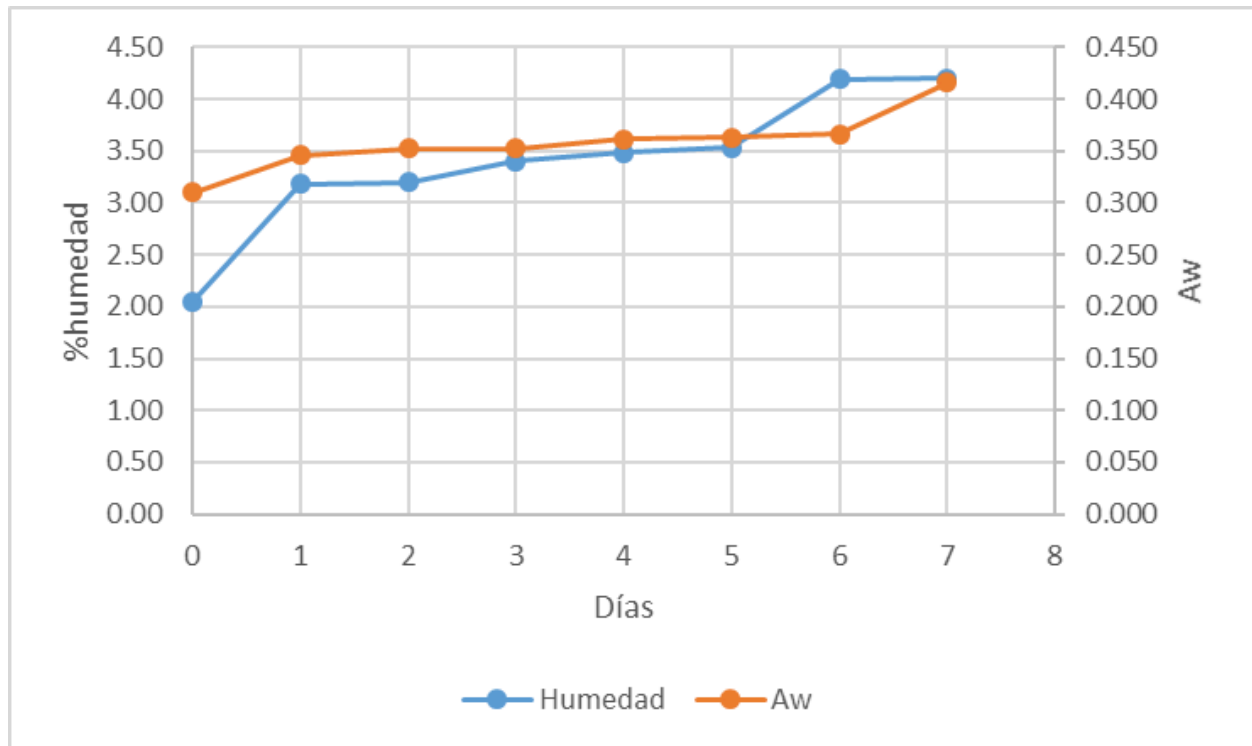
El aumento del contenido de humedad en el producto hasta un punto crítico conlleva a un aumento en el tamaño de partículas esto por lo hinchazón de las mismas por migración del agua desencadenando en el incremento de la adhesividad y cohesividad de partículas, para posteriormente derivar en fenómenos de aglomeración conducidos por lactosa y la presencia de proteínas en la superficie de las partículas hasta el colapso del polvo (Murrieta-PAzos et al, 2011), considerando este punto como un parámetro para concluir que el producto ya no conserva sus propiedades y calidad de un alimento en polvo. (Ruano et al., 2018)

La adición de maltodextrina alta y baja dextrosa equivalente genera una disminución del carácter higroscópico cuando el liofilizado sea envasado en materiales de baja permeabilidad al vapor de agua y mantener su estado vítreo (polvo más sujeto y menos apelmazable) (Mosquera, 2010).

Además una vez modelado la isoterma de sorción del producto, se podrá determinar las condiciones óptimas que permitan un secado que resulte en un alimento pulverulento más estable (Caiza, 2021)

Por otro lado también se realizó un seguimiento de la evolución de la humedad y la actividad de agua del alimento, los resultados se presentan en la figura 15, a partir de la cual se puede identificar una tendencia creciente de absorber humedad del ambiente conforme pasa el tiempo:

Figura 15 . Humedad y aw del alimento respecto al tiempo



En la FIGura 15 se puede apreciar una tendencia creciente del contenido de agua del alimento en polvo, aunque el valor no resultó lo suficiente para provocar una pérdida de funcionalidad y calidad del alimento, es decir, la formación de agregados, adherencia particular o “humidity caking” (apelmazamiento por humedad) (Mosquera, 2010) que comprometa su solubilidad. Ruano et al., (2018) evidenció un incremento en los valores de aw similar al del contenido de humedad en el polvo de JCP y WPC con el paso del tiempo partiendo de una humedad de 2,45 % y una aw de 0,247.

CONCLUSIONES

Los alimentos en polvo se caracterizan por su bajo contenido de agua y su inestabilidad a cambios en las condiciones de almacenamiento (humedad y temperatura), siendo necesario la adición de solutos de alta masa molecular que mejoren la calidad de reconstitución y disminuyan problemas como el colapso de la estructura de los alimentos deshidratados. La mezcla a base de extracto de algarrobo, suero dulce y banano fue liofilizada para la obtención de un encapsulado en polvo con la adición de maltodextrina. En esta investigación se confirma la posibilidad de aprovechar los compuestos nutricionales y funcionales de materias primas infrautilizadas como el algarrobo y subproductos industriales como el suero dulce y el extracto de banano para obtener un producto con valor agregado como el alimento en polvo por liofilización encapsulado con maltodextrina. Partiendo de una mezcla de 25 % de sólidos solubles y 20 % de maltodextrina, se comprobó la influencia de la cantidad de maltodextrina sobre la acidez y el rendimiento del liofilizado, verificando el aumento del pH cuanto más alto se adiciona este soluto. Del mismo modo, se presentó un rendimiento menor a 34 % debido posiblemente al vacío insuficiente alcanzado y a la alta presencia de azúcares simples. De los resultados del tratamiento estadístico, se optimizó la variable de respuesta (Evaluación sensorial) siendo esta 22,53 % de sólidos solubles y 17,67 % de maltodextrina y se comprueba que la interacción de los grados brix y maltodextrina no generan diferencias significativas en los tratamientos obtenidos en el grado de aceptación de los consumidores.

Además, considerando al tratamiento de mayor impresión general, se evaluaron las propiedades físicas, químicas y de reconstitución del producto final. Considerando la mezcla líquida reconstituida a partir de 37,55 g de liofilizado en 100 ml de agua destilada, esta presentó un pH de 7,41; con 31,53 °Brix; 38,49 % de sólidos solubles, y una humedad inicial de 2,05 %. El pH alcalino alcanzado se dio por la eliminación del agua y la acumulación de azúcares, los sólidos solubles y totales se vieron afectados por la adición de maltodextrina.

Respecto a las propiedades de reconstitución el encapsulado presentó un tamaño de partícula de 850 μm con lo cual se lo puede clasificar como alimento en polvo al ser menor a 1 mm, la densidad aparente y compactada evaluada permite clasificar al polvo un encapsulado de fácil manejo por su muy buena fluidez ($\text{CI} < 15$) y baja cohesividad ($\text{HS} < 1,2$) según los Índices de Car

y Hausner respectivamente. El grado de apelmazamiento no fue realizado por colapso del polvo antes del tamizado. El alimento pulverizado presentó una alta solubilidad (91,84 %) a pesar de su composición nutricional.

Se caracterizó desde el punto de vista nutricional, las proteínas, y minerales como el calcio, hierro y magnesio. Se destaca que el encapsulado aporta con el 1,53% de proteínas del Valor Diario Recomendado (%VDR) según la INEN 1334-3 y la FDA (2023)

En cuanto a la vida útil del producto, aplicando el método de gravimétrico estático empleando soluciones salinas cuya actividad acuosa estaba entre 0,225 y 0,642, se construyó la respectiva isoterma de sorción cuya curva fue ajustada al modelo BET y GAB con un R^2 mayor al 98% alcanzado en este último, que es característico en matrices que está representado en su mayoría por compuestos solubles y ácidos orgánicos. Con una humedad de equilibrio en base seca $m_e = 13,9747\%$, humedad crítica m_c (5,2631%), humedad inicial $m_i = 2,092\%$ y una pendiente de sorción linealizada con el modelo GAB igual a 19,571, el tiempo de vida útil de este encapsulado es de 4,26 meses almacenado a 25°C y 75% de humedad relativa. Este valor corresponde al alimento liofilizado y envasado en bolsas de tereftalato de polietileno metalizado.

Aunque el trabajo presenta algunas limitaciones al no comparar las propiedades funcionales del alimento pulverulento usando otros agentes encapsulantes, control de los parámetros o condiciones de trabajo del proceso de liofilización, y su almacenamiento a distintas condiciones de temperatura y humedad ambiental, los hallazgos proporcionan una nueva alternativa para la industria de los alimentos en polvo.

RECOMENDACIONES

- Obtener el polvo liofilizado con la adición de otros agentes encapsulantes, tales como la inulina que podría mejorar el proceso de cristalización del polvo y reducir su actividad de agua.
- Determinar el tiempo de vida útil del alimento en polvo a distintas temperaturas para identificar su estabilidad a condiciones ambientales cambiantes.
- Emplear agentes antiaglomerantes para mejorar el rendimiento del liofilizado, disminuir la compactación del polvo y mejorar su estabilidad.

REFERENCIAS

- Aguilar, J. (2016). *EFEECTO DEL SECADO POR ASPERSIÓN SOBRE LA RETENCIÓN DE COMPUESTOS FENÓLICOS DEL EXTRACTO DE CAFÉ ORO MICROENCAPSULADO DESPUÉS DEL SECADO Y DURANTE EL ALMACENAMIENTO*. Instituto Tecnológico De Tuxtla Gutiérrez.
<http://repositoriodigital.tuxtla.tecnm.mx/xmlui/handle/123456789/3218?show=full>Blasco, G. y Aguilar Morales, J. (2012). *Métodos de conservación de alimentos* (Primera ed.).
- Alfaro, W. (2021). *GLICEMIA POST OPERATORIA BAJO BLOQUEO NEUROAXIAL PREVIA INGESTA DE MALTODEXTRINA EN PACIENTES CON PESO IDEAL VS SOBREPESO-OBESOS*. UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE MÉXICO.
http://ri.uaemex.mx/bitstream/handle/20.500.11799/111679/WENDY%20ALFARO%20PEREZ_TESIS.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Amaya, M., Fuenmayor, C., & Córdova, A. (2022). Evaluation of mixtures of maltodextrin and gum Arabic for the encapsulation of Andean blueberry (*Vaccinium meridionale*) juice by freeze-drying. *International Journal of Food Science and Technology*, 57, 7379-7390.
- Bhusari, S. N.; Muzaffar, K.; Kumar, P. (2014). Effect of carrier agents on physical and microstructural properties of spray dried tamarind pulp powder. *Powder Technology*, 266: 354-364
- Cai, Y. Z.; Corke, H. (2000). Production and Properties of Spray-dried *Amaranthus* Betacyanin Pigments. *Journal of Food Science*, 65(6):1248-1252.
- Caiza, D. (2021, 09). *Isotermas de sorción en alimentos pulverulentos y ecuaciones de ajuste: una revisión bibliográfica de datos publicados*. Universidad Técnica de Ambato.
<https://repositorio.uta.edu.ec/server/api/core/bitstreams/eaedc378-c835-4776-a59c-c69f7a751eae/content>
- Cámara de Comercio de Guayaquil. (2019). *PROHIBICIÓN AL SUERO DE LECHE: DESPERDICIO, INFORMALIDAD Y DAÑO AMBIENTAL*.

<https://www.lacamara.org/website/wp-content/uploads/2017/03/IPE-321-Comercio-de-Suero-de-leche.pdf>

Cáñez, M., Cumplido, L., Fragoza, O., & Corella, M. (2016). Estudio de las propiedades funcionales de mezclas de proteínas en un sistema modelo. *Acta universitaria*, 26(4), 3-11. https://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S0188-62662016000400003&script=sci_arttext

Carrillo, M., & Reyes, A. (2013). Vida útil de los alimentos / Lifetime food. *CIBA Revista Iberoamericana De Las Ciencias Biológicas Y Agropecuarias*, 2(3), 32-56. <https://ciba.org.mx/index.php/CIBA/article/view/20>

Chávez, M. (2010). *Estabilidad Térmica de La Leche*. INTA. <https://es.scribd.com/doc/113360761/Estabilidad-Termica-de-La-Leche>

Chen, M., Zhang, D., Dong, W., Luo, Z., Kang, C., Li, H., Wang, G., & Gong, J. (2019). Amorphous and humidity caking: A review. *Chinese Journal of Chemical Engineering*, 27(6), 1429-1438. 10.1016/j.cjche.2019.02.004

Chumacero, Julio S., Lazo, Rut, Navarro, Enrique, & Quinteros, Aníbal. (2022). Conservación de camu camu (*Myrciaria dubia* Kunth McVaugh) por liofilización. *Información tecnológica*, 33(5), 11-18. <https://dx.doi.org/10.4067/S0718-07642022000500011>

Conegero, J., Ribeiro, L. C., Monteiro, A. R., & da Costa, J. M. (2017). Hygroscopic trend of lyophilized ‘mangaba’ pulp powder. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 21(5), 356-360

Coronel, P. (2019). *OBTENCIÓN DE MALTODEXTRINA MEDIANTE HIDRÓLISIS ENZIMÁTICA DEL ALMIDÓN A PARTIR DE ÑELÉN DE ARROZ (Oryza Sativa L.)*. Universidad Nacional del Callao. [https://repositorio.unac.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12952/3982/CORONEL%20HABRAHA MSHOM_MAESTRIA_2019.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://repositorio.unac.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12952/3982/CORONEL%20HABRAHA%20MSHOM_MAESTRIA_2019.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

CORREA, C. E. (2021). *EFEECTO ANTIBACTERIANO DE LA ALGARROBINA DE PROSOPIS PALLIDA SOBRE ESCHERICHIA COLI Y STAPHYLOCOCCUS AUREUS*. Repositorio USMP. https://repositorio.usmp.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12727/8778/correa_cea.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Cortez, C. (2010). *Definición de parámetros de calidad del café de algarroba para la elaboración de una norma técnica*. Universidad De Piura. <https://es.scribd.com/document/450734070/50332603-Tesis-Cafe-Algarroba-docx>

Cuq, B., Rondet, E., & Abecassis, J. (2011). Food powders engineering, between knowhow and science: Constraints, stakes and opportunities. *Powder Technology*, 208, 2442-251. 0.1016/j.powtec.2010.08.012

Díaz, R. (2009). *Conservación de los Alimentos*. Deborah Prats. ISBN 979-959-07-1293-7

EL COMERCIO. (2019). Conozca los tipos de productos que contienen suero de leche. *EL COMERCIO*.

<https://www.elcomercio.com/actualidad/negocios/elaboracion-productos-suero-leche-arcsa.html>

EL UNIVERSO. (2019). Uso del suero de leche divide al sector lácteo. *EL UNIVERSO*. https://www.espol.edu.ec/sites/default/files/docs_escrbe/suero%20de%20leche%20el%20universo.pdf

Egas, L. (2019). *Aplicación de la atomización y la liofilización para la obtención de polvo y snack de pomelo*. Universidad Politécnica de Valencia. <https://riunet.upv.es/handle/10251/129860>

Falconí, J., Valdiviezo, C., & Ramírez, L. (2021). Predicción del tiempo de liofilización del arazá (*Eugenia Stipitata*) mediante modelos matemáticos. *Ecuadorian Science Journal*, 5(4), 89-97.

FAO. (1997). *EL GÉNERO PROSOPIS "ALGARROBOS" EN AMÉRICA LATINA Y EL CARIBE. DISTRIBUCIÓN, BIOECOLOGÍA, USOS Y MANEJO*. FAO. <https://www.fao.org/4/ad314s/ad314s08.htm>

FAO. (2019). *Pérdida y desperdicio de alimentos*. <https://www.fao.org/policy-support/policy-themes/food-loss-food-waste/es/>

FAO. (2023). *Bananos*. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. <https://www.fao.org/markets-and-trade/commodities/bananos/es/>

FDA. (2023, Agosto 1). *Valor Diario y Porcentaje de Valor Diario en las etiquetas de información nutricional y complementaria (Spanish Translation o. Nutrition Facts Label*. <https://www.fda.gov/media/137914/download>

Feijoo, J., & Chillogalli, J. (2024). *Liofilización de miel de abeja usando maltodextrina como encapsulante para la producción de miel en polvo*. Repositorio UTMACH.

Fernández, J., & García, T. (2020). *Predicción de la Vida Útil de los Alimentos*. Juan José Fernandez Molina. <http://libreria.unellez.edu.ve/wp-content/uploads/2020/07/Prediccion-de-la-vida-util-de-los-alimentos.pdf>

FLOR, E., 2013. Evaluación de medios de cultivo para la micropropagación de algarrobo tropical (*Prosopis pallida*) H.B.K. Quito, Pichincha. Tesis de pregrado. Quito. Disponible en: <http://www.dspace.uce.edu.ec/bitstream/25000/989/1/T-UC-0004-14.pdf>

Gamboa-Alarcón, P. W., Enriquez-Castillo, D. F., Suyón-Martínez, J. A., & Rodríguez-Paúcar, G. N. (2023). Comportamiento reológico de la pulpa de mango (*Mangifera indica* L.) liofilizada con encapsulantes. *Revista Agrotecnológica Amazónica*, 3(1), e436-e436.

García, L. (2022). *Estudio de la estabilidad de ingredientes en polvo obtenidos a partir de la cáscara de naranja mediante el uso de diferentes tecnologías de extracción*. Universidad Politécnica de Valencia. https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/188134/Garcia%20-%20Estudio%20de%20la%20estabilidad%20de%20ingredientes%20en%20polvo%20obtenidos%20a%20partir%20de%20la%20cascara%20de%20n...pdf?sequence=2&utm_source=chatgpt.com

Ghimire, A. 2017. Basic Principle of Engineering. First Edition. Food package compatibility. *Food Technology*, 39(12):54. <https://books.google.co.ve/books?id=UPg6DwAAQBAJ&pg=PA67&lpg=P>

Gil, J., Muratona, S., Yacanto, P., Soteras, E., Abaca, C., & Sustersic, M. (2013). Isotermas de absorción y desorción de agua en leche descremada en polvo. *Avances en Ciencias e Ingeniería*, 4(1), 51-59. <https://www.redalyc.org/pdf/3236/323627689005.pdf>

González, A. (2022). *Evaluación de las isotermas de adsorción y del almacenamiento de pulpa de ayrampo (Berberis sp.) en polvo*. Universidad Nacional de Huancavelica.

Goula, A. M., Karapantsios, T. D., Achilias, D. S., & Adamopoulos, K. G. (2008). Water sorption isotherms and glass transition temperature of spray dried tomato pulp. *Journal of Food Engineering*, 85(1), 73–83

Gómez, F. (2014). *Propiedades funcionales del plátano*. Revista Médica de la Universidad Veracruzana. Veracruz, México.

Heiss, R., & Eichner, K. (1971). Moisture content and shelflife. *Food Manufacture*, 53–56

Higashitani, K., Makino, H., & Matsusaka, S. (Eds.). (2019). *Powder technology handbook*. CRC Press.

INEC. (2023, Abril). *Boletín Técnico. Encuesta de Superficie y Producción Agropecuaria Continua (ESPAC)*. INEC.
https://www.ecuadorencifras.gob.ec/documentos/web-inec/Estadisticas_agropecuarias/espac/espac_2022/Bolet%C3%ADn_tecnico_ESPAC_2022.pdf

INEN. (1980). *INEN 265. AZÚCAR DETERMINACIÓN DE LA HUMEDAD (método de rutina)*.
<https://es.scribd.com/document/718052725/39-1980-NTE-INEN-0265-Azucar-determinacion-de-la-humedad-Metodo-de-rutina>

INEN. (2011). *NTE INEN 1334-2. ROTULADO DE PRODUCTOS ALIMENTICIOS PARA CONSUMO HUMANO. PARTE 2. ROTULADO NUTRICIONAL. REQUISITOS*. INEN.
<https://www.controlsanitario.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2016/12/NTE-INEN-1334-2-Rotulado-de-Productos-Alimenticios-para-consumo-Humano-parte-2.pdf>

INEN. (2011). *NTE INEN 1334-3. Rotulado de productos alimenticios para consumo humano. Parte 3. Requisitos para declaraciones nutricionales y declaraciones saludables*. INEN.
https://www.controlsanitario.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2014/07/ec.nte_.1334.3.2011.pdf

INEN. (2011). *NTE INEN 2585: SUERO DE LECHE EN POLVO. REQUISITOS*.
<https://es.scribd.com/document/659346633/2585>

INEN. (2011). *NTE INEN 2594: SUERO DE LECHE LÍQUIDO. REQUISITOS*.
<https://es.scribd.com/document/383452511/Inen-Lactosuero>

Jaya, S.; Das, H. 2004. Effect of maltodextrin, glycerol monostearate and tricalcium phosphate on vacuum dried mango powder properties. *Journal of Food Engineering*, 63(2):125-134.

Jinapong, N., Supphantharika, M., & Jannong, P. (2008). Production of instant soymilk powders by ultrafiltration, spray drying and fluidized bed agglomeration. *ScienceDirect*, 84, 194-205.

Karaaslan, M. Şengün, F. Cansu, Ü. Başığit, B. Sağlam, H. & Karaaslan, A. (2021). Gum arabic/maltodextrin microencapsulation confers peroxidation stability and antimicrobial ability to pepper seed oil. *Food Chemistry*, 337, 127748.

<https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2020.127748>

Labuza, T.P. (1982). *Shelf Life Dating of Foods*. Food & Nutrition Press, INC. Westport, Connecticut, USA. 487p.

Labuza T.P y Schmidl M.K. (1985). Accelerated shelf-life testing of foods. *Food Technol.* 39 (9): 57 -62, 64, 134

Labuza T.P. (1980). Enthalpy/entropy compensation in food reactions. *Food Technology*, 34(2):67

López, B., Carvajal, L., & J, L. (2009). ESTABLECIMIENTO DE CONDICIONES DE LA MEZCLA DE PULPA DE BANANO (*Musa paradisiaca* L.) PARA SOMETER A SECADO POR ASPERSIÓN. *Vitae*, 16(3), 287-296.
http://www.scielo.org.co/scielo.php?pid=S0121-40042009000300002&script=sci_arttext

Maldonado, S. (2007). *Manual práctico para el diseño de la Escala Likert*. Dialnet.
<https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/4953744.pdf>

Melo, D., Torres, Y., Serna, J., & Torres, L. (2015). APROVECHAMIENTO DE PULPA Y CÁSCARA DE PLÁTANO (*Musa paradisiaca* spp) PARA LA OBTENCIÓN DE MALTODEXTRINA. *Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial*, 13(2), 76-85.
http://www.scielo.org.co/scielo.php?pid=S1692-35612015000200009&script=sci_arttext

Monsterrat, M. M., & Sánchez, V. M. (2017). Desperdicio alimentario, análisis de una problemática poliédrica. *Papeles de relaciones ecosociales y cambio global*, (139), 93-103.

- Mosquera, L. (2010). *INFLUENCIA DE LA HUMEDAD Y DE LA ADICIÓN DE SOLUTOS (MALTODEXTRINA O GOMA ARÁBIGA) EN LAS PROPIEDADES FÍSICOQUÍMICAS DE BOROJÓ Y FRESA EN POLVO*. UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE VALENCIA. <https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/9035/tesisUPV3449.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Mosquera-Vivas, E. S., Ayala-Aponte, A. A., & Serna-Cock, L. (2019). Ultrasonido y Deshidratación Osmótica como Pretratamientos a la Liofilización de Melón (*Cucumis melo* L.). *Información Tecnológica*, 30(3), 179–188. <https://doi.org/10.4067/S0718-07642019000300179>
- Murrieta-Pazos, C. Gaiani, L.Galet, B. Cuq, S. Desobry, & J. Scher. (2011). Comparative study of particle structure evolution during water sorption: Skim and whole milk powders. *Colloid Surfaces B Biointerfaces*. 87 (1): 1-10
- Muzaffar, K., & Kumar, P. (2016). Moisture sorption isotherms and storage study of spray dried tamarind pulp powder. *Powder Technology*, 291: 322–327.
- Negri, L; Chavez, M; Taverna, M; Cuatrín, A. & Rubiolo, A. (2003). Determinación de las variables que afectan la estabilidad térmica de la leche utilizando un método capilar para evaluar el tiempo de coagulación por calor. *Rev. Nac. de Lactología*. Vol 22: 33-44
- Neri, E. (2007). *ESTUDIO DEL EFECTO REOLÓGICO EN LA ELABORACIÓN DE PASTEL DE CHOCOLATE BAJO EN GRASA Y CARBOHIDRATOS UTILIZANDO MALTODEXTRINA Y CELULOSA COMO SUSTITUTOS*. Universidad Autónoma Del Estado De Hidalgo. <https://repositorio.ucsm.edu.pe/bitstream/20.500.12920/7874/1/69.0393.AL.pdf>
- Pasiecznik, N.M., Felker, P., Harris, P.J.C., Harsh, L.N., Cruz, G., Tewari, J.C., Cadoret, K. and Maldonado, L.J. (2001) *The Prosopis juliflora - Prosopis pallida Complex: A Monograph*. HDRA, Coventry, UK. pp.172. ISBN: 0905343301
- Pais, J., Núñez, J., Lara, M., Rivera, L., Toledo, L., & Cuaran, M. (2018). Valorización del suero de leche: Una visión desde la biotecnología. *Bionatura*, 2(4), 468-476. <https://revistabionatura.com/files/2017.02.04.11.pdf>

Phing, L., Kalam, L., & Ghazali, H. (2024). Storage stability and anti-caking agents in spray-dried fruit powders: A review. *Food and Raw Materials*, 12(2), 229-239. https://jfrm.ru/files/archive/25/PuiL.pdf?utm_source=chatgpt.com

Prabha DS, Dahms H-U, Malliga P. Pharmacological potentials of phenolic compounds from *Prosopis* spp. -a review. (2014) *J Coast Life Med.* 2014;2(11):918–24. DOI: 10.12980/JCLM.2.2014J27

Prasad MNV., Tewari JC. (2016) Chapter 3 - *Prosopis juliflora* (Sw) DC: Potential for Bioremediation and Bioeconomy. Elsevier Inc., 49-76 p. DOI: 10.1016/B978-0-12-802830-8.00003-4

Posada, K., Terán, D., & Ramírez, J. (2011). *Empleo de lactosuero y sus componentes en la elaboración de postres y productos de confitería*. La Alimentación Latinoamericana N° 292. https://www.researchgate.net/profile/Juan-Ramirez-Navas/publication/257890639_Empleo_de_lactosuero_y_sus_componentes_en_la_elaboracion_de_postres_y_productos_de_confiteria/links/004635260dc80b1181000000/Empleo-de-lactosuero-y-sus-componentes-en-la-elaborac

Poveda, E. (2013). Suero lácteo, generalidades y potencial uso como fuente de calcio de alta biodisponibilidad. *Revista Chilena de Nutrición*, 40(4), 397-403. [https://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0717-75182013000400011#:~:text=En%20cuanto%20a%20minerales%2C%20el,de%20la%20cuajada%20\(22\).](https://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0717-75182013000400011#:~:text=En%20cuanto%20a%20minerales%2C%20el,de%20la%20cuajada%20(22).)

Puri, V., Dantuluri, A., Kumar, M., Karar, N., & Basal, A. (2010). Wettability and surface chemistry of crystalline and amorphous forms of a poorly water soluble drug. *European Journal of Pharmaceutical Sciences*, 40(2), 84-93. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0928098710000862>

Ramos, D., & Reymundo, E. (2021). *EFECTO DE DOS HIDROCOLOIDES EN LA MICROENCAPSULACIÓN DE PULPA DE Solanum quitoense “NARANJILLA” SOBRE LA RETENCIÓN DE β CAROTENOS Y CAPACIDAD ANTIOXIDANTE*. Escuela Peruana de los Andes. <https://repositorio.upla.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12848/3624/TESIS%20FINAL.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Rivas, J. (2015, abril). *ESTUDIO DE FACTIBILIDAD PARA LA PRODUCCION Y COMERCIALIZACION DE ALIMENTOS A BASE DEL FRUTO SECO DEL P.JULIFLORA. (TRUPILLO)*. Repositorio Universidad de La Costa. <https://repositorio.cuc.edu.co/entities/publication/cae038d4-c359-4b13-b75d-a043270d18c8>

Rodríguez, J., Rodríguez, A., González, O., & Dolores, M. (2019). Leche y productos lácteos como vehículos de calcio y vitamina D: papel de las leches enriquecidas. *Nutrición Hospitalaria*, 36(4), 962-973. <https://dx.doi.org/10.20960/nh.02570>

Ruano, D., Ciro, H., & Sepúlveda, J. (2018). Estudio cinético de algunas características de calidad de un producto en polvo obtenido mediante secado por aspersión a partir de jugo de caña panelera y concentrado proteico de lactosuero dulce. *UIS Ingenierías*, 17(2), 127-140. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=6469088>

Sandoval, A. (2015). *EFECTO DEL CONTENIDO DE GRASA Y LA TEMPERATURA EN LAS CARACTERÍSTICAS DE SORCIÓN DE LA LECHE EN POLVO*. Researchgate. https://www.researchgate.net/profile/Shirley-Fong-7/publication/282850277_EFECTO_DEL_CONTENIDO_DE_GRASA_Y_LA_TEMPERATURA_EN LAS CARACTERISTICAS DE SORCION DE LA LECHE EN POLVO/links/561e66e508aef097132c682a/EFECTO-DEL-CONTENIDO-DE-GRASA-Y-LA-TEMPERATURA-EN

Santisteban Flores, E. (2022). Efecto de encapsulantes en las propiedades termofísicas y sensoriales del polvo de cocona-Ecotipo I (*Solanum sessiliflorum* Dunal), obtenido por liofilización.

Sathiya, M. and Muthuchelian, K. (2008) Investigation of Phytochemical Profile and Antibacterial Potential of Ethanolic Leaf Extract of *Prosopis juliflora* DC. *Ethnobotanical Leaflets* 2008;12:1240–5. Available at: <https://opensiuc.lib.siu.edu/ebl/vol2008/iss1/167>

Saltos, A. (2016). *Banano de seda*. El Universo. <https://www.eluniverso.com/opinion/2016/03/17/nota/5469240/banano-seda/>

Samame, N. (2015). *EFECTO DE LA SUSTITUCION PARCIAL DE LA HARINA DE TRIGO (triticum compactum Host) POR HARINA DE ALGARROBA (Proposis nigra) EN LA ELABORACIÓN DE PAN DE YEMA*. Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo. https://www.academia.edu/12633156/TRABAJO_DE_INVESTIGACION_1_ney

Sánchez, D., Montoya, C., Bazán, J., Gutierrez, C., & Lindsay, M. (2022). *Efecto del Secado por Liofilización y Atomización en las Características y Propiedades de Polvos de Frutas: Una Revisión Sistemática*. Universidad Privada del Norte. https://lacei.org/LACCEI2022-BocaRaton/full_papers/FP104.pdf

Sánchez, J. (2006). *Determinación de las propiedades físicas y químicas del Copoasu (Theobroma grandiflorum)*. UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO. <https://repositorio.uta.edu.ec/bitstream/123456789/3373/1/P107%20Ref.3036.pdf>

Sapper, M., Martínez, N., & Camacho, M. (2016). *MEDIDA DE LAS PROPIEDADES FÍSICAS DE PRODUCTOS DE FRUTA EN POLVO*. Universitat Politècnica de València. <https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/56749/SAPPER%20-%20MEDIDA%20DE%20LAS%20PROPIEDADES%20FÍSICAS%20DE%20PRODUCTOS%20DE%20FRUTA%20EN%20POLVO.pdf?sequence=2>

Serna, L., Torres, C., & Ayala, A. (2015). Evaluación de Polvos Alimentarios obtenidos de Cáscaras de Mango (*Mangifera indica*) como fuente de Ingredientes Funcionales. *Información tecnológica*, 26(2), 41-50.

Stępień, A., Witczak, M., & Witczak, T. (2020). Sorption properties, glass transition and state diagrams for pumpkin powders containing maltodextrins. *LWT*, 134, 110192. doi:<https://doi.org/10.1016/j.lwt.2020.110192>

Silva, P., Orosco, E., Verduga, D., Diéguez, K., del Monserrate, S., & Sablón, N. (2023). Prospective of the circular economy in a banana agri-food chain. *TEC Empresarial*, 17(1), 34-52. <http://dx.doi.org/10.18845/te.v17i1.6475>

Silva, P., Sablón, N., & Bravo, M. (2021). Estudio de la cadena agroalimentaria del plátano en la provincia de Manabí. *Dialnet*, 12(3), 155-174. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=8226656>

TABLA s Peruanas de Composición de Alimentos. (2017). Ministerio de Salud. Instituto Nacional de Salud. Lima, Perú. Recuperado de: <http://repositorio.ins.gob.pe/bitstream/handle/INS/1034/TABLA-s-peruanas2017.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Talens, P. (2017). *Determinación de la isoterma de sorción de agua un alimento*. Universitat Politècnica de València. <https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/83506/Talens%20-%20Determinaci%C3%B3n%20de%20la%20isoterma%20de%20sorci%C3%B3n%20de%20agua%20un%20alimento.pdf?sequence=1>

United States Department of Agriculture. National Nutrient Database for Standard Reference (2014). Agricultural Research Service - USDA.

Valencia, D., Rueda, E., Leyva, M., Mazón, S., & Ortega, J. (2020). Compuestos bioactivos, actividad antioxidante y perfil de ácidos grasos en aceite de semilla de Mezquite (*Prosopis* spp). *Archivos Latinoamericanos de Nutrición*, 70(1), 50-59. <https://doi.org/10.37527/2020.70.1.006>

Vidaurre, J. (2016). *Principios básicos para determinar la vida útil de los alimentos. Método ASLET (Accelerated Shelf Life Test)*.

Wolf, W., Spiess, W.E.L. and Jung, G. 1985. Sorption isotherms and water activity of food materials. New York, Elsevier Sciences Publishing Co.

Zamora, T., Bello, A., & Villavicencio, M. (2019). Caracterización del aceite de semilla de la especie *Prosopis juliflora* ecuatoriana. *Ciencia Unemi*, 12(31), 30-39. <https://www.redalyc.org/journal/5826/582661248004/582661248004.pdf>

BIBLIOGRAFÍA

Abdalla, A. A.; Mohammed, M. A.; Mudawi, H. A. 2010. Production and Quality of Instant Baobab (*Adansonia digitata* L.). *Advance Journal of Food Science and Technology*, 2(2): 125-133.

Briones, T. V., Pino, I., & Romero, M. (2010). *PROYECTO DE INVERSIÓN PARA LA COMERCIALIZACIÓN DE PRODUCTOS ELABORADOS DE ALGARROBO COMO UNA NUEVA LÍNEA DE PRODUCTO PARA LA UNIVERSAL S.A.* DSpace en ESPOL. <https://dspace.espol.edu.ec/bitstream/123456789/16143/1/D-90020.pdf>

Campos, D. (2021). *Efecto de la relación pulpa de maracuyá (*Passiflora edulis* Sims) extracto de algarroba (*Prosopis pallida* (Humb. & Bonpl. ex Willd.) Kunth) y grados Brix, en la aceptación sensorial de un néctar mixto de maracuyá-algarroba.* Repositorio Insitucional UCSS. https://repositorio.ucss.edu.pe/bitstream/handle/20.500.14095/1607/Alberca_Deyser_tesis_2021.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Cattaneo F., Sayago JE., Alberto MR., Zampini IC., Ordoñez RM., Chamorro V, Pazos A. and Islas MI. (2014) Anti-inflammatory and antioxidant activities, functional properties and mutagenicity studies of protein and protein hydrolysate obtained from *Prosopis alba* seed flour. *Food Chem.* 2014;161:391– 9. DOI: 10.1016/J.FOODCHEM.2014.04.003

J. Khazaei & N. Mohammadi. (2009). Effect of temperature on hydration kinetics of sesame seeds (*Sesamum indicum* L.). *Journ. Food Eng.* 91(4): 542-552.

Maughan, R., & Burke, L. (2012). *Nutrición para deportistas.* COI. https://deporte.aragon.es/recursos/files/documentos/doc-areas_sociales/deporte_y_salud/guia_nutricion_deportistas.pdf

Medina, M. R. (2007). *DETERMINACIÓN DE LOS COSTOS DE CALIDAD EN EL PROCESO PRODUCTIVO DEL QUESO.* DSpace en ESPOL. <https://www.dspace.espol.edu.ec/bitstream/123456789/3951/1/6478.pdf>

Torrejón, C. (2020). *Efecto de la mezcla de pulpa de banano seda (*Musa paradisiaca*) Gross Michell, residuos de pulpa de naranja (*Citrus sinensis*) Valencia en polvo y leche entera sobre las características fisicoquímicas y aceptabilidad general de un helado tipo crema.* Repositorio

UPAO.

https://repositorio.upao.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12759/6790/REP_CAROLINA.TORREJON_MEZCLA.DE.PULPA.DE.BANANO.pdf;jsessionid=C144F982BC0131B1BB48D7C709AA3050?sequence=1

ANEXOS

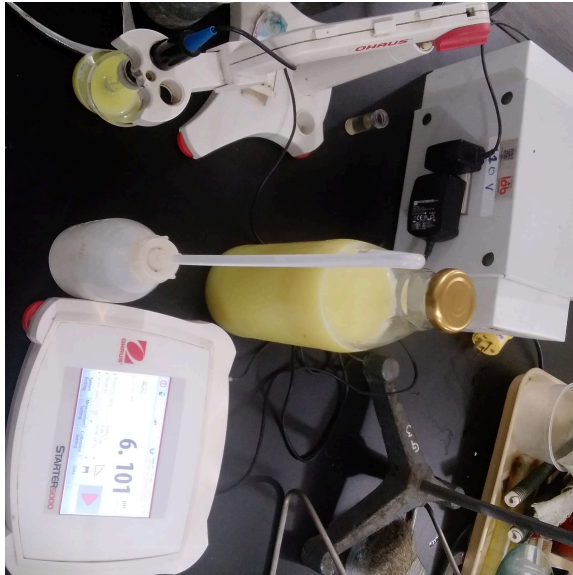
Elaboración de extracto de algarrobo



Elaboración de suero concentrado



Medición de pH de los extractos y mezcla



Liofilización



Envasado y sellado

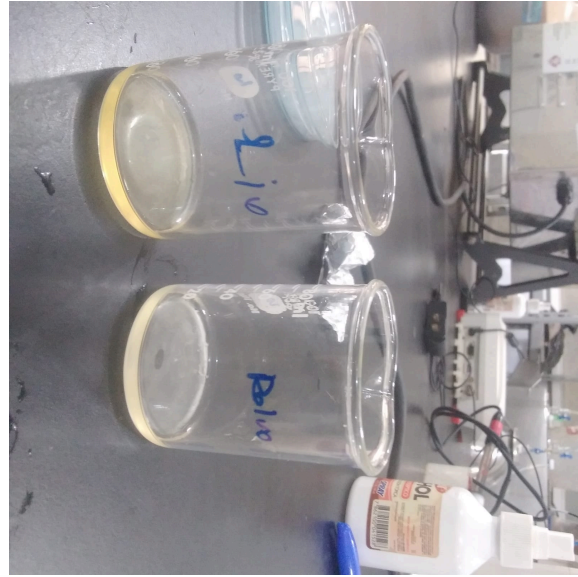
Determinación de proteínas



Determinación de solubilidad



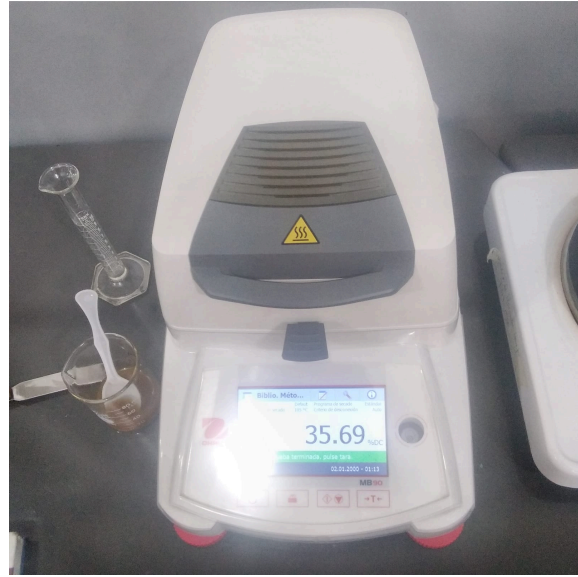
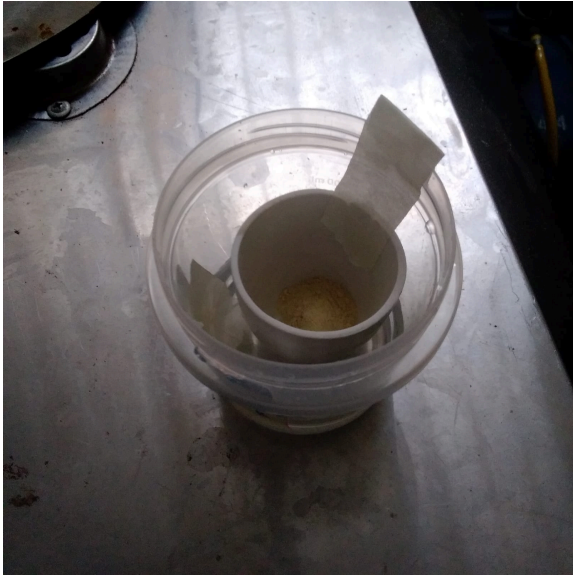
Determinación de higroscopicidad



Determinación de densidad

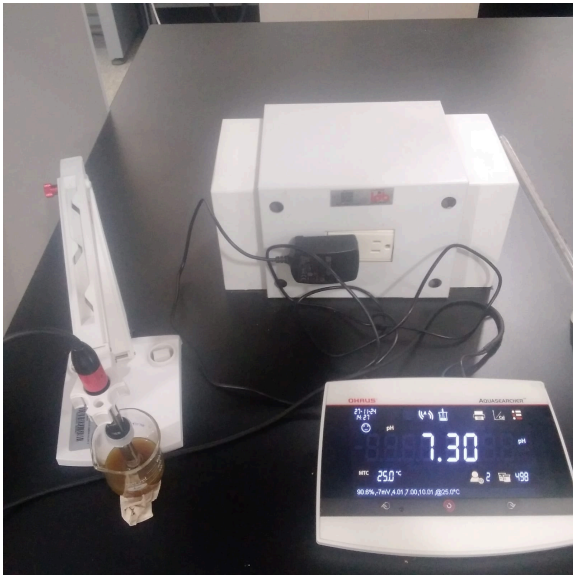


Determinación de sólidos totales en polvo reconstituido



Determinación de pH en polvo reconstituido

Determinación de humedad en el encapsulado



Determinación de Actividad de agua

Determinación del tamaño de partícula



Muestra saturada con Sulfato de Sodio



Construcción de la isoterma de sorción



Resultados de Análisis de Proteína



NEMALAB S.A.
En convenio con el MAG - PRODE y AGEAP
e-mail: nemalab@lapavic.com.ec

20/12/2024

Página 1

KM 1 1/2 (ANTIGUA VIA FERREA) S/N Y GRUPO BOLIVAR, EL CAMBIO - MACHALA, EL ORO Tel. 0997650254 Fax:

Cliete: DURAN MORENO LEIDY PAULINA **Documento No:** 00063260
Remite: SRTA. LEIDY DURAN **Fecha de Muestreo:** 12/12/2024
Propiedad: S/N **Fecha de Ingreso:** 12/12/2024
Localización: MACHALA EL ORO **Fecha de Salida:** 20/12/2024
Sitio Parroquia Cantón Provincia

Resultados de Análisis Químico de: ANALISIS DE PROTEINA				
Cód. Muestra	No. de Muestra	Identif. de Muestra	%	
			N Total	Proteína
4664	1	ALIMENTO EN POLVO	0.49	3.06

Nemalab S.A. realiza únicamente el análisis químico de la muestra.
Esta Hoja de Resultados es válida sólo con firma y sello en original.

* Estos resultados pueden ser sujetos de comparación, siempre y cuando se utilice la misma metodología utilizada en este Laboratorio.


ING. QUIM. YESENIA SANCHEZ
Jefe de Laboratorio


NEMALAB
Laboratorio de analisis agrícola
Gerente Técnico


ING. NARCISA PINTADO J.
Secretaria

"Análisis que hacen la diferencia"

F05018R

Resultados de Análisis Foliar



NEMALAB S.A.®
Laboratorio de análisis agrícola

INTEGRANTES	DURAN M. LEIDY - CRUZ M LEONOR	Nº DE DOCUMENTO:	63437
TEMA	: TESIS	FECHA DE MUESTREO:	20/01/2.025
LUGAR	MACHALA - EL ORO	FECHA DE INGRESO:	20/01/2.025
		FECHA SALIDA :	27/01/2.025

RESULTADOS DE ANÁLISIS QUÍMICO

Nº LAB	MUESTRA	IDENTIFICACIÓN	%		ppm
			Magnesio(Mg)	Calcio (Ca)	Hierro (Fe)
35738	1	ALGARROBINA	0,17	0,38	24,8



Erika Cely R.
ING. QUIM. ERIKA CELY R.
ANALISTA

[Signature]
ING. NARLEISA PINTADO
SERV. AL CLIENTE

" ESTOS RESULTADOS PUEDEN SER SUJETOS DE COMPARACION SIEMPRE Y CUANDO SE UTILICE LA MISMA METODOLOGÍA USADA EN ESTE LABORATORIO"

"Una Agricultura sostenida, amiga del Medio Ambiente, es nuestro compromiso con la Humanidad"

Km. 1 ½ (Antigua vía férrea) El Cambio - Machala • Telefax: (593) 7 2992184 • Cel. (593) 997650254
e-mail: nemalab@lapavic.com.ec • Casilla: 0701044 • Machala - El Oro - Ecuador

RESULTADOS PRELIMINARES

Las concentraciones de cada extracto se basan en pruebas preliminares basadas por el autor, los resultados de dichas pruebas se presentan a continuación:

- La adición del extracto acuoso de la pulpa de banano se lo realizó con la finalidad de mejorar el sabor del polvo, pero tras su inclusión desencadenaba que la humedad inicial del polvo aumentara de un valor de 1.20 % - 0,93 % con 15 % y 20 % de maltodextrina a humedades de 1.79 % y 2,18 %, lo que provocaba una mayor higroscopicidad del liofilizado, lo que conllevó a emplear dicho extracto pero con una concentración de sólidos solubles (°Brix) más baja respecto a los otros dos ingredientes.
- El suero se ha llevado a altas concentraciones mayores que el algarrobo debido a dos razones, por un aspecto sensorial ya que mejoraba el sabor del polvo similar a una leche reconstituida con sabor a algarrobo y banano; y por otra parte por razones tecnológicas el contenido graso fue retirado parcialmente ya que la grasa residual del suero disminuye la humectación del polvo al aumentar la hidrofobicidad superficial, considerando que los polvos difíciles de humectar presentan inconvenientes a la hora de reconstituirlos (Puri et al., 2010).
- Al extracto de algarrobo se le ha corregido el pH con la adición de bicarbonato de sodio, considerando que sin la neutralización se conseguía un polvo muy ácido ($\text{pH} < 5,5$) lo que provocaba una precipitación proteínica luego de disolver el liofilizado en leche para su degustación. Con 0,5 g de bicarbonato de sodio en 100 ml de extracto de algarrobo se lograba aumentar el pH de 5,02 a 6,24.
- La adición de bicarbonato de sodio no fue realizada en el concentrado de suero por el sabor salobre residual percibido, ni en el extracto de banano por el efecto de oscurecimiento del mismo.
- Utilizando un equipo analizador de humedad de secado rápido, se obtuvo valores de humedad (% MC) para los polvos liofilizados a una misma concentración de azúcares con la adición de distinto contenido de maltodextrina, obteniendo % MC de 1.32, 1.79 y 2.18 para polvos al 10 %, 15 % y 20 % de encapsulante respectivamente. Es decir, a

mayores concentraciones de maltodextrina mayor era la humedad inicial del polvo obtenido pero menor el porcentaje de aglomeración, obteniendo polvos con mejores propiedades funcionales en cuanto a su baja higroscopicidad y mayor estabilidad, estos resultados fueron similares para Sánchez et al. (2022) quienes deshidrataron frutas por liofilización y atomización, obteniendo polvos liofilizados con humedades de 1-8% a diferencia de los que pasaron por un secado por atomización (1.11 - 5 % de humedad), llegando a concluir que la adición de solutos en alimentos liofilizados (10 % de goma arábiga) limita la sublimación del agua congelada lo que afecta el proceso de ultracongelación provocando que el producto seco retenga más humedad.

Resultados de las pruebas preliminares

Mezcla Algarrobo + Suero ácido

Ingredientes	pH de la mezcla	Mezcla (°Brix/%malt)	%Rendimiento	%Humedad inicial
Algarrobo (34 °Brix)	5,075	27,5- 10	39,1	1,19
		27,5-15	37,5	1,20
Suero ácido (21 °Brix)		27,5-20	35,8	0,93

Resultados: Durante la reconstitución del polvo se evidencia precipitación de las proteínas por la acidez del liofilizado

Mezcla Algarrobo (32,5 °Brix) + Suero (14,5 °Brix) + Banano (22,5 °Brix)

Ingredientes	pH de la mezcla	Mezcla (°Brix/%malt)	%Rendimiento
Algarrobo (32,5 °Brix)	6,38	25.55,10	32,92

Suero dulce (14,5 °Brix)		25.55,15	34,87
Banano (22,5 °Brix)		25.55, 20	36,64

Resultados: Durante la degustación del polvo en leche pasteurizada se evidencia la presencia de grasa residual del suero empleado.