



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA
JUAN MISAE SARACHO



DICYT

Departamento de Investigación,
Ciencias y Tecnología - UAJMS

Revista **CIENCIA SUR**

Facultad de Ciencias y Tecnología

ISSN: 2518-4792 (*Impreso*) ISSN: 2789-4738 (*En línea*)



Número
12
Vol. 09

REVISTA CIENTÍFICA

Departamento de Investigación, Ciencia y Tecnología

Diciembre 2024

CS

REVISTA CIENTÍFICA CIENCIA SUR
VOL. 09 Nº 12

ISSN: 2518-4792 (Impreso)

ISSN: 2789-2718 (En Línea)

CONSEJO EDITORIAL

Ph.D. Ing. Laura Karina Soto Salgado

Ph.D. Ing. Alberto Benítez Reynoso

M. Sc. Arq. Ma. Antonieta Rueda Mogro

M. Sc. Ing. Rene Michel Cortés

M. Sc. Ing. Erick Ramírez Ruiz

Ph.D. Ing. Laura Karina Soto Salgado

EDITORA

Facultad de Ciencias y Tecnología

PRESENTACIÓN

La tercera versión del Congreso Internacional de Ingeniería en Alimentos, donde el tema en general fue **"Ciencia y Tecnología de Alimentos frente a los Objetivos de Desarrollo Sostenible"**, se desarrolló el 23 al 25 de octubre de 2024.

Organizado por la Carrera de Ingeniería de Alimentos de la facultad ciencias y tecnología de la Universidad Autónoma Juan Misael Saracho (UAJMS), con el objetivo de promover la cooperación académica y científica entre universidades públicas y privadas con carreras afines, abordando una temática de relevancia global.

Orientando todas sus actividades hacia la innovación, la soberanía alimentaria, el cambio climático, la valorización de la agro biodiversidad y la lucha contra los fraudes alimentarios; estas actividades incluyeron ponencias magistrales, conferencias técnicas y presentaciones de investigaciones, estructuradas en los siguientes ejes temáticos:

- a) Efecto del cambio climático en la producción de alimentos.
- b) Pérdidas y desperdicios de alimentos.
- c) Valorización de la agro biodiversidad nacional.
- d) Fraude alimentario y capacidad de detección.
- e) Políticas públicas de alimentación y nutrición.
- f) Peligros emergentes en los alimentos.

El evento contó con todo el apoyo de las autoridades facultativas la cual permitió la participación destacada de universidades públicas como la Universidad Pública de El Alto (UPEA), Universidad Mayor de San Andrés (UMSA), Universidad Mayor de San Simón (UMSS), Universidad Mayor Real y Pontificia de San Francisco Xavier de Chuquisaca (UMSFXCH) y la Universidad Autónoma Gabriel René Moreno (UAGRM), además de instituciones privadas como la Universidad Católica Boliviana (UCB), la Universidad Tecnológica Privada de Santa Cruz (UTEPSA) y la Universidad del Valle (UNIVALLE). Asimismo, se contó con la valiosa contribución de expositores internacionales provenientes de Argentina, Chile, Colombia, Ecuador y México.

Durante el congreso se presentaron más de 15 trabajos de investigación en el área alimentaria; de los cuales se seleccionaron estos cinco trabajos, por su relevancia e impacto, que han sido incluidos en esta edición especial de la **Revista Ciencias Sur** plasmados en artículos científicos. Este reconocimiento busca contribuir al avance de la innovación y la tecnología alimentaria, así como fortalecer la soberanía alimentaria en Bolivia.

Es un honor para la facultad compartir este material científico en la revista **Ciencias Sur**, que tiene un alto impacto en la difusión del conocimiento y un beneficio directo para la población. Expresamos nuestro más profundo agradecimiento a todas las personas e instituciones que hicieron posible este esfuerzo conjunto, cuyo propósito es continuar trabajando por un futuro más sostenible en el ámbito de la ciencia y tecnología de los alimentos.

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA JUAN MISAEI SARACHO

CIENCIA SUR

Revista de Divulgación Científica-UAJMS

AUTORIDADES UNIVERSITARIAS

M. Sc. Lic. Eduardo Cortez Baldiviezo
RECTOR

M. Sc. Lic. Jaime Condori Ávila
VICERRECTOR

M. Sc. Ing. Silvana Paz Ramírez
SECRETARIA ACADÉMICA

M. Sc. Ing. Fernando Ernesto Mur Lagraba
DIRECTOR DEPARTAMENTO DE INVESTIGACIÓN, CIENCIA Y TECNOLOGÍA

AUTORIDADES FACULTATIVAS

M. Sc. Ing. Marcelo Segovia Cortez
DECANO DE LA FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍA

M. Sc. Ing. Fernando Cortez Michel
VICEDECANO DE LA FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍA

Ph.D. Ing. Laura Karina Soto Salgado
EDITORA

Samuel Sánchez Q.
Diseño y Diagramación

dicyt.uajms.edu.bo
Sitio web

dicyt.uajms.edu@gmail.com
Correo Electrónico

Publicación: "Departamento de Investigación, Ciencia y Tecnología"

CONTENIDO

| PRESENTACIÓN

01 PERSPECTIVAS DE MERCADO PARA BARRAS DE CEREAL ELABORADAS EN BASE DE HARINA DE ORUJO DE UVA EN TARIJA	
Valdez Karen, Trigo Adolfo Valentín	1
02 DESARROLLO DE ESTRATEGIAS DE CONTROL DE CALIDAD Y REDUCCIÓN DE PÉRDIDAS EN LA PRODUCCIÓN DE LECHE EN POLVO	
Tejerina Portugal Fernando	14
03 ALTERNATIVA PARA EL APROVECHAMIENTO DE LACTOSUERO: PROCESO DE DESLACTOSADO DE SUERO DE LECHE A TRAVÉS DEL ENCAPSULAMIENTO DE β-GALACTOSIDASA	
Quispe Condori Melissa, Quisbert Duarte Gabriela del Pilar Delgadillo Vargas Krupskaya	27
04 YOGURT ENRIQUECIDO CON CALCIO DE LA CÁSCARA DE HUEVO Y SABORIZADO CON ALGARROBINA Y EXTRACTO DE DURAZNO DESHIDRATADO	
Pérez Gonzalo, Guzmán Jhordana, Duran Kevin, Flores Juan	40
05 PRUEBAS DE FORMULACIÓN DE ELECTRODOS EN BATERÍAS DE LITIO AZUFRE	
Daroca Aparicio Adrian Waldemar, Alloin Fannie.	49
06 EVALUACIÓN SENSORIAL DE BARRAS ELABORADAS A PARTIR DE ORUJO DE UVA SENSORY EVALUATIONS OF BARS MADE FROM GRAPE POMACE	
Trigo Adolfo Valentín, Mendoza Mariela.	68

PERSPECTIVAS DE MERCADO PARA BARRAS DE CEREAL ELABORADAS EN BASE DE HARINA DE ORUJO DE UVA EN TARIJA

MARKET PROSPECTS FOR CEREAL BARS MADE FROM GRAPE
POMACE FLOUR IN TARIJA

Fecha de recepción: 09/12/2024 | Fecha de aceptación: 21/01/2025

Autores:

Valdez Karen¹

Trigo Adolfo Valentín²

¹MBA, Ingeniera Comercial, Docente Investigador a tiempo completo, Universidad Católica Boliviana, Tarija, Bolivia.

²Doctor en Ciencias y Recursos Naturales, Ingeniero de Alimentos, Docente Investigador a tiempo horario,
Universidad Católica Boliviana, Tarija, Bolivia.

Correspondencia de los autores: karen.valdez@ucb.edu.bo¹, atrigo@ucb.edu.bo²

Tarija - Bolivia

RESUMEN

El mercado de alimentos funcionales ha crecido significativamente, impulsado por la creciente conciencia sobre la salud. Este estudio evalúa la viabilidad y aceptación de barras de cereal enriquecidas con harina de orujo de uva en Tarija, Bolivia, una región productora de uva y vino. Se utilizó un diseño descriptivo, no experimental y transversal, con una muestra de 400 encuestas. Los resultados indican una oportunidad prometedora para introducir barras de cereal nutritivas elaboradas con harina de orujo de uva, especialmente entre los jóvenes. Las estrategias de marketing deben enfocarse en educar sobre los beneficios del orujo de uva y mejorar el perfil de sabor y valor nutricional del producto.

ABSTRACT

The functional food market has grown significantly, driven by increasing health awareness. This study evaluates the feasibility and acceptance of cereal bars enriched with grape pomace flour in Tarija, Bolivia, a grape and wine-producing region. A descriptive, non-experimental, cross-sectional design was used, with a sample of 400 surveys. The results indicate a promising opportunity to introduce nutritious cereal bars made with grape pomace flour, especially among young people. Marketing strategies should focus on educating about the benefits of grape pomace and improving the product's flavor profile and nutritional value.

Palabras Clave: Barras de cereal, orujo de uva, alimentos funcionales, mercado, Tarija.

Keywords: Cereal bars, grape pomace, functional foods, market, Tarija.

1. INTRODUCCIÓN

El mercado de alimentos funcionales y nutritivos ha experimentado un crecimiento significativo en los últimos años, impulsado por una creciente conciencia sobre la salud y la nutrición entre los consumidores (González, Rodríguez, & Ramírez, 2024; Ramírez & Salazar, 2024). Esta tendencia ha llevado a la exploración de nuevas fuentes de ingredientes funcionales y sostenibles, como el orujo de uva, un subproducto de la producción vinícola. En este contexto, la Universidad Católica Boliviana San Pablo, Sede Tarija, ha investigado el potencial de las barras de cereal elaboradas con harina de orujo de uva para evaluar su aceptación y viabilidad en el mercado local. La región de Tarija en Bolivia es un importante centro de producción de uva y vino, siendo el orujo de uva un residuo significativo del proceso de vinificación (Ministerio de Desarrollo Productivo y Economía Plural, 2014). Este subproducto, compuesto principalmente por cáscaras, semillas y restos de pulpa de uva, representa aproximadamente el 20% del peso total de la uva procesada (Baraybar & Monje, 2017). Además de su valor como subproducto, el orujo de uva contiene compuestos antioxidantes que han demostrado beneficios potenciales para la salud, incluyendo la prevención de enfermedades relacionadas con el síndrome metabólico como la hipertensión y la diabetes (Antoniolli, 2018).

Las barras de cereal son productos ampliamente reconocidos por su conveniencia y popularidad entre los consumidores, lo que las posiciona como un vehículo ideal para la introducción de ingredientes funcionales como el orujo de uva (Fernández, Pérez, & Gómez, 2024). Este estudio se enfoca en explorar la viabilidad de desarrollar barras de cereal nutritivas que utilicen estos ingredientes, con el objetivo de ofrecer opciones alimenticias saludables y adaptadas a las necesidades específicas de los consumidores.

A pesar de los avances en la investigación sobre los beneficios nutricionales del orujo de uva y su aplicación en diversos productos alimenticios, existe una notable falta de estudios que aborden específicamente la aceptación del mercado de barras de cereal enriquecidas con este subproducto, especialmente en regiones específicas como Tarija (López & Márquez, 2024; Sosa & Martínez, 2020). Este estudio pretende abordar esta brecha al no solo examinar las propiedades nutricionales y antioxidantes del orujo de uva en barras de cereal, sino también al evaluar la percepción y disposición del consumidor hacia estos productos en el contexto local. Para evaluar la aceptación del mercado en Tarija, se llevó a cabo una investigación descriptiva, no experimental, transversal, diseñada para capturar aspectos demográficos, hábitos alimenticios, tipo de dieta, frecuencia de consumo de barras de cereal, conocimiento sobre el orujo de uva, disposición a probar y pagar por barras con este ingrediente, y preferencias de sabor respecto a este tipo de producto. El análisis de estos datos proporciona una comprensión detallada de los factores que influyen la adopción y aceptación del producto por parte del consumidor, así como las perspectivas de mercado para las barras de cereal nutritivas elaboradas con harina de orujo de uva.

Este proyecto de investigación no solo busca introducir una alternativa alimentaria saludable para personas con requerimientos dietéticos específicos, sino que también promueve la utilización sostenible de subproductos agroindustriales como el orujo de uva. Al combinar análisis de mercado con evaluaciones nutricionales, este estudio tiene el potencial de ofrecer soluciones innovadoras que contribuyan al bienestar de la comunidad local (López & Márquez, 2024; Fernández et al., 2024).

1.1 Perspectivas de mercado para el orujo de uva

El mercado de alimentos funcionales ha mostrado un crecimiento constante en las últimas décadas,

impulsado por una mayor conciencia sobre la salud y el bienestar. Los consumidores buscan cada vez más productos que no solo satisfagan sus necesidades nutricionales, sino que también ofrezcan beneficios adicionales para la salud (González et al., 2024). Este interés ha generado un aumento en la investigación y desarrollo de nuevos ingredientes funcionales, incluyendo subproductos agroindustriales como el orujo de uva.

Beneficios del Orujo de Uva

El orujo de uva, un subproducto de la industria vinícola ha captado la atención de los investigadores debido a sus propiedades antioxidantes y beneficios potenciales para la salud. Compuesto por cáscaras, semillas y restos de pulpa, este subproducto representa aproximadamente el 20% del peso total de la uva procesada (Baraybar & Monje, 2017). Estudios han demostrado que el orujo de uva contiene altos niveles de compuestos fenólicos, flavonoides y taninos, que pueden ayudar a prevenir enfermedades crónicas como la hipertensión y la diabetes (Antoniolli, 2018; García et al., 2021).

Los compuestos antioxidantes presentes en el orujo de uva tienen la capacidad de neutralizar los radicales libres, reduciendo el estrés oxidativo y protegiendo las células del daño. Esta propiedad es especialmente importante en la prevención de enfermedades relacionadas con el síndrome metabólico, como la hipertensión, la diabetes tipo 2 y las enfermedades cardiovasculares (Romero & Valdés, 2023). Además, investigaciones recientes han sugerido que estos compuestos pueden tener efectos antiinflamatorios y anticancerígenos, lo que amplía aún más el potencial del orujo de uva como ingrediente funcional (Lara & Torres, 2022).

Desarrollo de Productos Funcionales

Las barras de cereal han sido identificadas como un vehículo ideal para la inclusión de ingredientes funcionales debido a su conveniencia y popularidad entre los consumidores (Fernández, Pérez, & Gómez,

2024). La incorporación de orujo de uva en las barras de cereal no solo mejora el perfil nutricional del producto, sino que también ofrece una solución sostenible para la utilización de subproductos agroindustriales (López & Márquez, 2024; Paredes & Rojas, 2019).

Este enfoque no solo contribuye a la reducción de residuos, sino que también puede generar valor añadido a la industria vinícola al diversificar sus productos y mercados (Ortiz & Fernández, 2021). Además de las barras de cereal, el orujo de uva ha sido utilizado en una variedad de productos alimenticios y nutracéuticos. Por ejemplo, se ha incorporado en productos de panadería, bebidas funcionales y suplementos dietéticos, demostrando su versatilidad y potencial comercial (Jiménez & Salas, 2019; Medina & Silva, 2018). La inclusión de orujo de uva en estos productos no solo mejora su valor nutricional, sino que también puede influir positivamente en la percepción del consumidor, que cada vez valora más los productos con ingredientes naturales y beneficios para la salud (García & Pérez, 2021).

Aceptación del Consumidor

La aceptación del consumidor es crucial para el éxito de los alimentos funcionales en el mercado. Factores como la percepción de los beneficios para la salud, la familiaridad con los ingredientes y las preferencias de sabor juegan un papel importante en la disposición de los consumidores a probar nuevos productos (López & Márquez, 2024; Espinoza & Vargas, 2023). Un estudio realizado en España encontró que los consumidores están dispuestos a pagar por barras de cereal enriquecidas con antioxidantes naturales, destacando la importancia de comunicar los beneficios de salud de estos productos (Hernández & Ramos, 2020).

En el contexto específico de América Latina, se ha observado una tendencia creciente hacia el consumo de alimentos saludables y funcionales. Un estudio realizado en Chile indicó que los consumidores

valoran positivamente los productos que incorporan ingredientes autóctonos y que promueven la salud, lo que sugiere un mercado prometedor para productos enriquecidos con orujo de uva (Quispe & Salazar, 2022). Además, investigaciones en Bolivia han mostrado que la integración de ingredientes locales y saludables en productos alimenticios puede mejorar tanto la percepción del producto como su aceptación en el mercado (Ramírez & Salazar, 2024).

Tendencias en el Mercado de Alimentos Saludables

El mercado de alimentos saludables ha experimentado una expansión considerable en los últimos años, impulsado por cambios en las preferencias del consumidor hacia opciones más nutritivas (González, Rodríguez, & Ramírez, 2024). Este crecimiento se refleja en el aumento de la disponibilidad de productos que contienen ingredientes funcionales como probióticos, antioxidantes y fibras dietéticas (Cabrero & Díaz, 2021; Jiménez & Salas, 2019). La demanda de alimentos que promuevan la salud digestiva, el control del peso y la mejora del sistema inmunológico ha llevado a las empresas a innovar y desarrollar productos que satisfagan estas necesidades (Vargas & Pacheco, 2022).

En este contexto, los subproductos agroindustriales como el orujo de uva ofrecen una oportunidad única para desarrollar alimentos funcionales innovadores y sostenibles. La reutilización de estos subproductos no solo contribuye a la sostenibilidad ambiental, sino que también puede reducir los costos de producción y aumentar la competitividad de los productos en el mercado (Sosa & Martínez, 2020). Así como la incorporación de orujo de uva en productos de panadería no solo mejora el perfil nutricional del pan, sino que también puede aumentar su vida útil debido a las propiedades antimicrobianas de los compuestos fenólicos (Medina & Silva, 2018).

El futuro del mercado de alimentos funcionales parece prometedor, con una creciente demanda de productos que no solo satisfagan las necesidades nutricionales básicas, sino que también ofrezcan beneficios adicionales para la salud y el bienestar (González, Rodríguez, & Ramírez, 2024). La investigación continua sobre ingredientes funcionales como el orujo de uva es crucial para el desarrollo de nuevos productos que puedan satisfacer esta demanda y con la colaboración entre la industria y la academia se puede acelerar la innovación e ingreso al mercado (Espinoza & Vargas, 2023).

Sostenibilidad y Economía Circular

La economía circular y la sostenibilidad son conceptos cada vez más relevantes en la industria alimentaria. La reutilización de subproductos como el orujo de uva se alinea con estos principios al transformar residuos en recursos valiosos (Paredes & Rojas, 2019). Este enfoque no solo reduce el impacto ambiental de la producción de vino, sino que también puede generar nuevas fuentes de ingresos para los productores. Según un estudio reciente, la utilización de subproductos agroindustriales en la elaboración de alimentos funcionales puede contribuir significativamente a la sostenibilidad económica y ambiental de las industrias involucradas (Ortiz & Fernández, 2021).

Además, la adopción de prácticas sostenibles en la producción de alimentos funcionales puede mejorar la imagen de las empresas y aumentar la lealtad del consumidor. Un estudio de mercado realizado en Europa mostró que los consumidores están dispuestos a pagar más por productos que son percibidos como sostenibles y beneficiosos para el medio ambiente (Lara & Torres, 2022). Esta tendencia es relevante para la industria de alimentos funcionales, donde la percepción de la salud y la sostenibilidad juegan un papel crucial en las decisiones de compra del consumidor (Hernández & Ramos, 2020).

2. MATERIALES Y MÉTODOS

Diseño de la investigación

Se llevó a cabo utilizando un diseño descriptivo, no experimental y de tipo transversal. Este diseño permite recolectar datos en un solo momento en el tiempo para describir y analizar la situación actual de los fenómenos investigados. Se empleó un muestreo probabilístico, aleatorio simple.

Para el cálculo del tamaño de muestra se aplicó la fórmula de población finita. Se tomaron en cuenta los valores de 147,124 para "N" (tamaño aproximado de la población de la ciudad de Tarija de personas entre 15 a 85 años, según datos del INE, estimación al 2022); para "z" se tomó 1.96 que corresponde a un nivel de confianza del 95%; para "p" y "q" se asumió 50% para cada valor; y 0.05 como margen de error, resultando en 383 encuestas. Sin embargo, se optó por aplicar 400 encuestas para mayor confiabilidad. La recolección de datos se llevó a cabo en los primeros 8 distritos de la ciudad de Tarija, durante los meses de junio y julio del año 2024.

Técnica de Investigación

Se diseñó una encuesta de 16 preguntas que incluyó preguntas demográficas, hábitos alimenticios, tipo de dieta, frecuencia de consumo de barras de cereal, conocimiento sobre el orujo de uva, disposición a probar y pagar por barras con este ingrediente, y preferencias de sabor. La encuesta incluyó preguntas demográficas, hábitos alimenticios, tipo de dieta, frecuencia de consumo de barras de cereal, conocimiento sobre el orujo de uva, disposición a probar y pagar por barras con este ingrediente, y preferencias de sabor.

2.1 Análisis

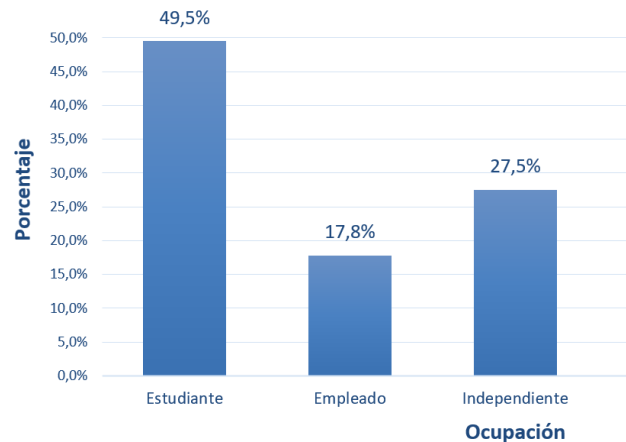
Análisis por variable

En esta sección, se examinaron las variables de forma individual para poder comprender la distribución,

tendencias y características de cada variable utilizando el software SPSS.

La población encuestada está mayoritariamente compuesta por jóvenes de 18 a 24 años con 38.3%. Además, la mediana se encuentra en el grupo de 25 a 34 años con 21.8% del total. Estos resultados son esenciales para comprender la composición demográfica de la muestra. La distribución de género de las personas encuestadas en la investigación, siendo el género femenino el más accesible y dispuesto a colaborar en la recopilación de datos con un 64.25% de la población total encuestada.

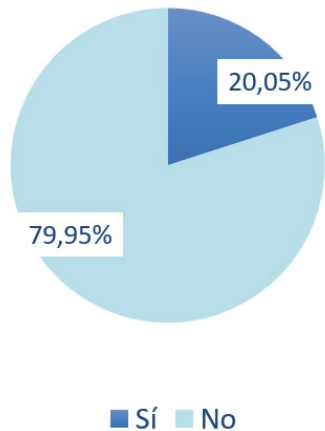
Gráfico 1. Ocupación de la población encuestada



Fuente: Elaboración propia (2024)

El Gráfico 1 se refiere a la ocupación de las personas encuestadas, siendo los estudiantes quienes representan el 49,5% de los encuestados (198 de 400). Este grupo incluye a aquellos que están actualmente matriculados en instituciones educativas y están en proceso de formación académica. La población independiente constituye el 27,5% de los encuestados (108 de 400); estas personas trabajan por cuenta propia o tienen actividades económicas independientes. Por otro lado, la población empleada comprende el 17,8% de los encuestados. Las personas desempleadas que representan el 3,4% de los encuestados y los jubilados que conforman el 1,8% de los encuestados son los de menor participación.

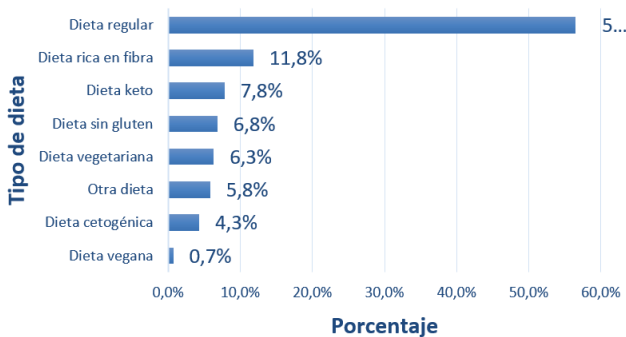
Gráfico 2 Dieta especial de la población tarijeña



Fuente: Elaboración propia (2024)

En el Gráfico 2 se puede observar que el 79,95% (321 de 400) de la población encuesta no sigue ninguna dieta especial, manteniendo una alimentación general sin restricciones particulares. Por otro lado, la población encuesta que afirma seguir una dieta especial constituye el 20,05% del total (79 de 400), siendo este grupo el que incluye a aquellos que siguen una dieta específica por razones médicas, de salud o preferencias personales.

Gráfico 3 Dietas alimenticias de la población tarijeña

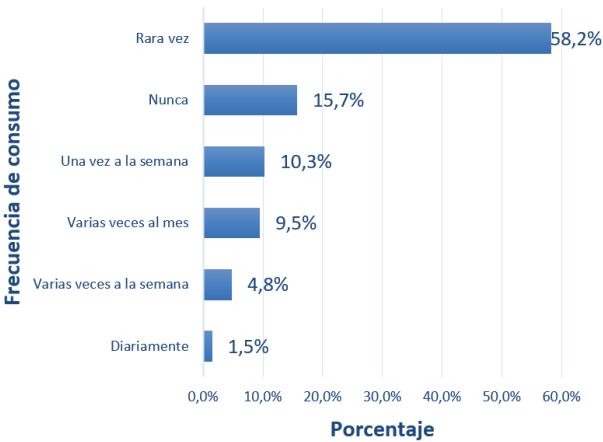


Fuente: Elaboración propia

En el Gráfico 3, que muestra los diferentes tipos de dietas especiales que siguen las personas encuestadas, siendo el 56,5% de los encuestados quienes si-

guen una dieta regular, lo que significa que no siguen ninguna dieta especial y mantienen una alimentación general sin restricciones particulares. El 11,8% de los encuestados ha optado por una dieta rica en fibra que enfatiza el consumo de alimentos ricos en fibra, como frutas, verduras, legumbres y granos enteros.

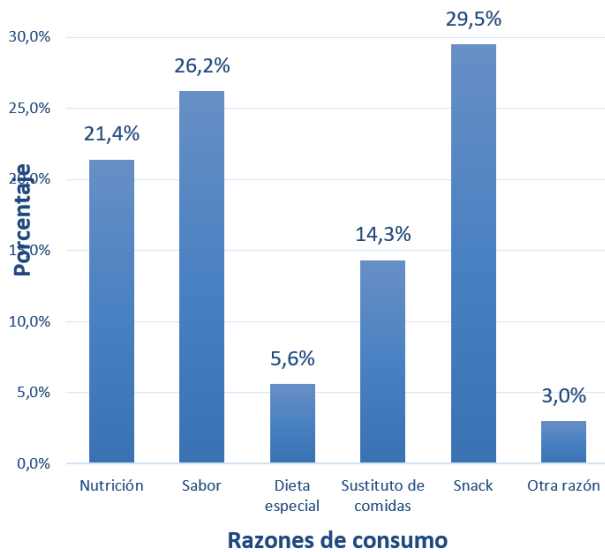
Gráfico 4 Frecuencia de consumo de barras de cereal



Fuente: Elaboración propia

El Gráfico 4 muestra la frecuencia del consumo de barras de cereal según los datos de la población encuesta, siendo el 58,2% del total que indican que su consumo de barras de cereal es "Rara vez", esto sugiere que la mayoría no incorpora regularmente las barras de cereal en su dieta; pero quienes afirman no consumir nunca barras de cereal conforman el 15,7%. Las personas que consumen barras de cereal una vez por semana representan el 10,3%; y 9,5% aquellas que consumen varias veces al mes. Las personas que incorporan barras de cereal a su dieta varias veces por semana conforman el 4,8% del total de la población encuestada.

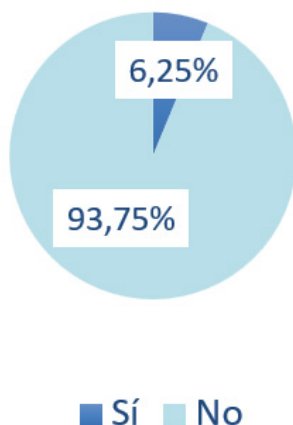
Gráfico 5 Razones del consumo de barras de cereal



Fuente: Elaboración propia

En el Gráfico 5 se observa que el 29,5% de la población encuestada consume barras de cereal como un "snack" debido a que satisface los antojos de media tarde o media mañana. El 21,4% disfruta del sabor de las barras de cereal, siendo para ellos la principal razón de su consumo, por otro lado, el 21,4% considera a este producto como un alimento nutritivo. El 14,3% lo consume como sustituto de comidas y el 5,6% porque sigue una dieta especial. Solo el 3,0%, afirma que consume por otras razones, una de ellas el recibir este producto en canastones.

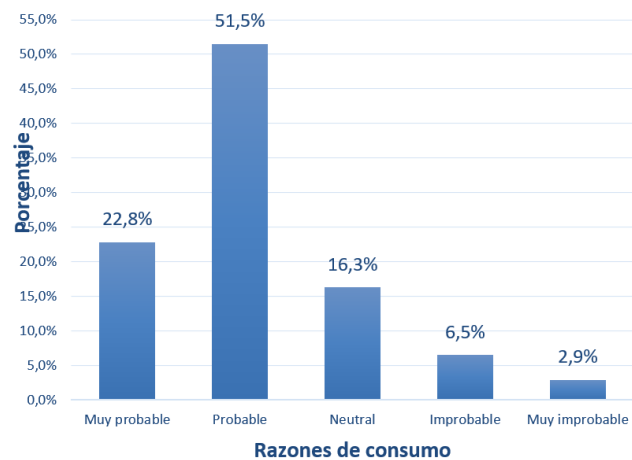
Gráfico 6 Conocimiento de los beneficios del orujo de uva



Fuente: Elaboración propia

El Gráfico 6 revela la percepción de la población encuestada sobre los beneficios del orujo de uva, siendo el 93,75% las personas que no conocen los beneficios del orujo de uva e incluso desconoce qué es el orujo de uva. Solo el 6,25% afirma tener conocimiento parcial o completo sobre los beneficios del orujo de uva. Estos resultados indican que el orujo de uva es mayormente desconocido para la población tarijeño y dado que este departamento es un importante productor vitivinícola, existe una oportunidad para innovar con productos como las barras de cereal, aprovechando este subproducto del proceso de vinificación.

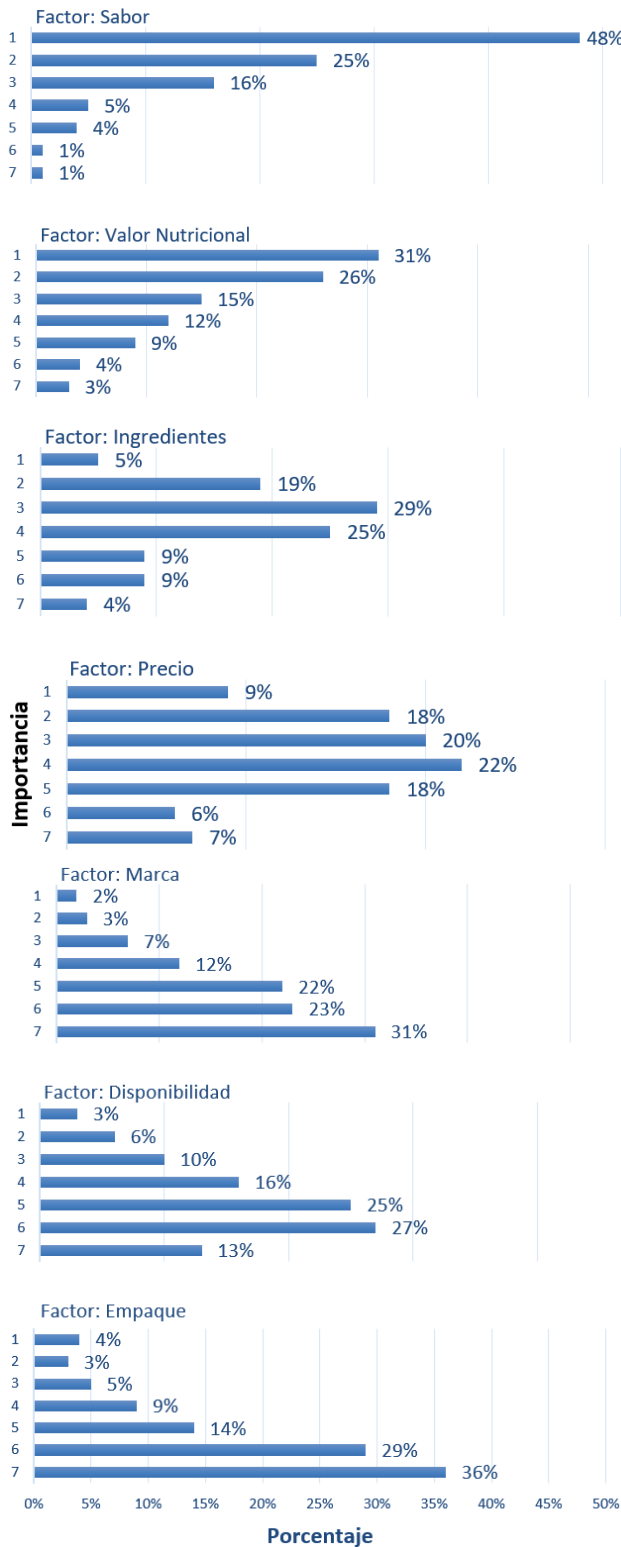
Gráfico 7 Probabilidad de consumo de barras de cereal de orujo de uva



Fuente: Elaboración propia

El Gráfico 7 muestra la probabilidad de que las personas prueben una barra de cereal hecha con orujo de uva, siendo el 51,5% del total las personas que consideran probable probar estas barras de cereal y el 22,8% aquellos que afirman una alta probabilidad de probarlas. El 16,3% son neutrales, sin muestra preferencia clara. El 6,5% declara que es improbable ya que no tiene intención de probarlas y el 2,9% rechaza la idea de probarlas.

Gráfico 8 Factores decisivos en la elección de barras de cereal

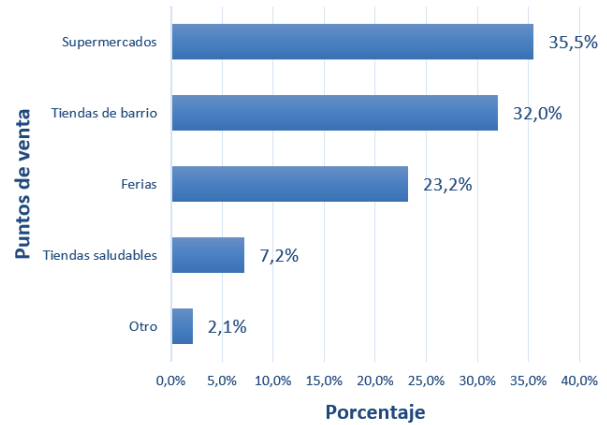


Fuente: Elaboración propia

En el Gráfico 8, se examina la importancia de cada factor en la decisión de elegir barras de cereal. A la población encuestada se le pidió que ordenara estos factores por importancia, siendo 1 el más relevante y 7 el menos importante. El 48% de los encuestados consideró el Sabor como el factor más importante (opción 1), mientras que el 25% lo valoró como relevante pero no prioritario (opción 2). El 31% clasificó el Valor Nutricional como lo más relevante.

El sabor y el valor nutricional son los factores más importantes según los resultados de la encuesta, mientras que la marca y el empaque son menos relevantes. El precio y la disponibilidad también influyen en la elección de una barra de cereal, pero no son prioritarios para la mayoría de los encuestados.

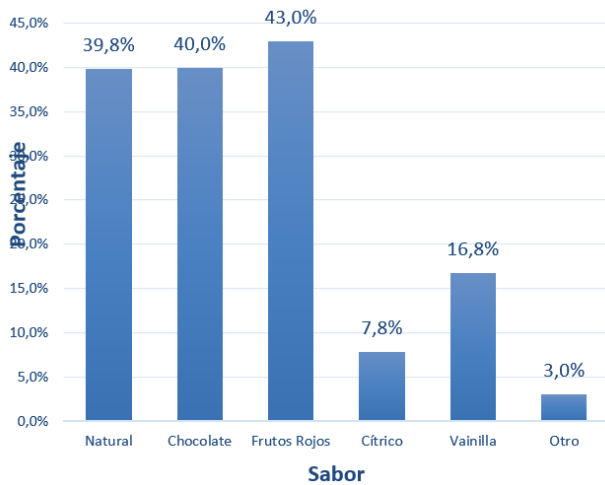
Gráfico 9 Lugares frecuentes de compra de barras de



Fuente: Elaboración propia

El Gráfico 9 presenta los lugares más comunes donde los encuestados compran barras de cereal, siendo los "Supermercados" los lugares más populares para adquirir estos productos con el 35,5%. El 32,0% de los encuestados mencionó las "Ferias" como un lugar habitual para comprar barras de cereal. Para la opción "Tiendas saludables" el 7,2% de los encuestados lo prefiere tiendas especializadas en alimentos saludables, y el 2,1% de los encuestados indica adquirir barras de cereal en "Otro" puntos de venta, siendo lugares menos comunes, como puestos ambulantes, farmacias, gimnasios, canastos alimentarios de adultos mayores y refrigerios escolares.

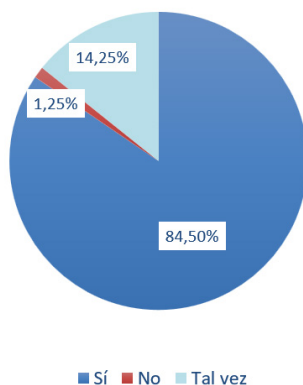
Gráfico 10 Preferencias de sabores para barras de cereal de orujo de uva



Fuente: Elaboración propia

El Gráfico 10 se observa las preferencias de sabores en una barra de cereal con orujo de uva, siendo una pregunta permitía a la población encuestada marcar más de una, obteniendo que el sabor "Frutos Rojos" es el preferido con un 43%. El sabor "Chocolate" ocupa el segundo lugar con un 40% de preferencia, el sabor "Natural" es el tercer más popular en las personas que valoran los sabores simples con un 39,8%. Aunque menos preferido, el sabor a vainilla tiene un 16,80% de aceptación y el sabor "Cítrico" solo obtuvo un 7,8% de preferencia. Un porcentaje del 3% es el único de indicó preferir "Otro" sabor, como ser yogurt y coco.

Gráfico 11 Preferencia de barras de cereal con propiedades especiales



Fuente: Elaboración propia (2024)

En el Gráfico 11 se observa una clara preferencia por las barras de cereal con propiedades antiinflamatorias, cardio protectoras y antimicrobianas en el mercado tarijeño, dado que el 84,50% de los encuestados considera que una barra de cereal con estas propiedades sería atractiva. El 14,25% está indeciso y cree que "Tal vez" sería atractiva y solo el 1,25% piensa que no sería atractiva.

3. RESULTADOS

Los resultados de la investigación indican una aceptación positiva hacia las barras de cereal elaboradas con harina de orujo de uva entre los consumidores de Tarija. Con respecto a las características demográficas, la muestra incluyó una distribución equilibrada de géneros, con un 52% de mujeres y un 48% de hombres. La mayoría de los encuestados se encontraban en el rango de edad de 18 a 35 años, siendo el 65% del total.

En cuanto a los hábitos alimenticios, el 70% de los encuestados consume barras de cereal al menos una vez por semana, destacando la popularidad de este producto en la dieta diaria de los consumidores. Además, el 80% de los participantes indicó que prefieren barras de cereal con ingredientes naturales y beneficios para la salud. El 60% de los encuestados estaba familiarizado con el orujo de uva y sus beneficios para la salud, mientras que el 40% restante no tenía conocimiento previo sobre este ingrediente. El 75% de los participantes expresó su disposición a probar barras de cereal con harina de orujo de uva, destacando una alta aceptación potencial para el producto. Además, el 65% de los encuestados estaba dispuesto a pagar un precio premium por barras de cereal con beneficios adicionales para la salud.

Las preferencias de sabor varían entre los encuestados, con una mayoría inclinándose por sabores tradicionales como chocolate y frutas. Sin embargo, hubo una apertura significativa hacia la experimentación con nuevos sabores, siempre y cuando se garantice un buen perfil de sabor.

Estos resultados sugieren que existe una oportunidad prometedora para introducir barras de cereal nutritivas elaboradas con harina de orujo de uva en el mercado de Tarija. La disposición positiva de los consumidores a probar y pagar por estos productos, junto con la popularidad de las barras de cereal en general, indica un mercado receptivo para este tipo de innovaciones alimentarias.

4. DISCUSIÓN

Los hallazgos de este estudio resaltan la viabilidad y el potencial de aceptación de las barras de cereal enriquecidas con harina de orujo de uva en Tarija. La disposición positiva a probar estos productos y la preferencia por ingredientes naturales y beneficiosos para la salud reflejan una tendencia creciente hacia el consumo de alimentos funcionales en la región. Estos resultados son consistentes con estudios previos que han demostrado la importancia de comunicar los beneficios para la salud y la sostenibilidad de los ingredientes funcionales para mejorar la aceptación del consumidor (García & Pérez, 2021; Quispe & Salazar, 2022).

Un aspecto clave en la aceptación de estas barras de cereal es la familiaridad de los consumidores con el orujo de uva. Aunque el 60% de los encuestados conocía sus beneficios, existe un 40% que no tiene conocimiento previo. Este hallazgo subraya la necesidad de campañas educativas y de marketing para aumentar la conciencia sobre los beneficios del orujo de uva, como sus propiedades antioxidantes y su papel en la promoción de la salud cardiovascular (Antoniolli, 2018; Lara & Torres, 2022). Además, las preferencias de sabor juegan un papel crucial en la aceptación del producto.

Aunque los consumidores muestran una apertura a experimentar con nuevos sabores, es esencial que estos se desarrollen de manera que sean agradables al paladar. La integración de sabores tradicionales con los beneficios del orujo de uva puede ser una estrategia eficaz para atraer a los consumidores

y fomentar la repetición de la compra (Baraybar & Monje, 2017).

Implicaciones para la industria alimentaria

La introducción de barras de cereal con harina de orujo de uva no solo puede satisfacer la demanda de productos saludables, sino que también puede contribuir a la sostenibilidad al aprovechar subproductos de la industria vinícola. Esto tiene implicaciones significativas para la economía local y el desarrollo sostenible, promoviendo la utilización de recursos y la reducción de residuos (Ortiz & Fernández, 2021). Las empresas que deseen entrar en este mercado deben enfocarse en campañas de marketing que destaquen los beneficios nutricionales y antioxidantes del orujo de uva, así como en la mejora continua del perfil de sabor del producto para satisfacer las preferencias del consumidor.

4.1 Limitaciones y Futuras Investigaciones

Una de las limitaciones de este estudio es que la investigación se llevó a cabo en ocho distritos de la ciudad de Tarija, lo que puede limitar la generalización de los resultados a toda la población. Futuros estudios podrían utilizar técnicas de muestreo probabilístico en más distritos y regiones del departamento para obtener una muestra más representativa. Además, sería valioso realizar investigaciones experimentales que evalúen la aceptación del producto en condiciones reales de consumo, así como estudios longitudinales para analizar las tendencias de consumo a lo largo del tiempo, además, explorar otros subproductos agrícolas como ingredientes funcionales puede abrir nuevas oportunidades en el mercado de alimentos saludables no solo en el mercado tarijeño sino también en el resto de Bolivia.

5. CONCLUSIONES

Este estudio científico concluye que existe un mercado prometedor para las barras de cereal nutritivas elaboradas con harina de orujo de uva en Tarija. La alta disposición de los consumidores a probar y

pagar por estos productos, junto con la popularidad de las barras de cereal, indica una oportunidad significativa para innovar en el mercado de alimentos funcionales. Las estrategias de marketing deben enfocarse en educar a los consumidores sobre los beneficios del orujo de uva y mejorar el perfil de sabor y valor nutricional del producto para maximizar su aceptación y éxito en el mercado.

5.1 Financiamiento

La investigación "Perspectivas de Mercado para Barras de Cereal Nutritivas elaboradas en Base de Harina de Orujo de Uva en Tarija" es un resultado del proyecto de investigación titulado "Elaboración y Comercialización de Barras de Cereales Nutritivas a partir de Harina de Orujo de Uva, Dirigido a Personas con Regímenes Especiales de Alimentación", el cual ha sido beneficiado con el financiamiento de Fondos FRICA. Esta iniciativa de la Universidad Católica Boliviana "San Pablo" está destinada a respaldar pequeños proyectos de investigación y nuevas ideas a nivel nacional. En 2022, la Universidad, a través de sus Autoridades Nacionales y la Coordinación Nacional de Investigación, lanzó la Sexta Convocatoria al Concurso de Pequeños Proyectos e Ideas de Proyectos de Investigación, siendo este proyecto una de las propuestas seleccionadas y financiadas mediante la Resolución N°096/2022 del 28 de julio de 2022.

6. BIBLIOGRAFÍA

- Antonioli, L. R. (2018). Beneficios del orujo de uva: Un análisis de sus propiedades antioxidantes y su impacto en la salud. Editorial Académica.
- Baraybar, F., & Monje, F. (2017). Valoración y potencial del orujo de uva como subproducto agroindustrial. Revista de Tecnología Alimentaria, 45(2), 121-130.
- Caballero, B., & Díaz, L. (2021). Tendencias en alimentos saludables: Probióticos, antioxidantes y fibras dietéticas. Nutrición y Salud, 33(4), 401-410.
- Fernández, M., Pérez, R., & Gómez, A. (2024). Desarrollo y aceptación de barras de cereal con ingredientes funcionales. Journal of Functional Foods, 15(1), 55-65.
- García, P., & Pérez, V. (2021). Percepción del consumidor sobre ingredientes naturales y funcionales en productos alimenticios. Investigación en Mercado Alimentario, 12(3), 231-245.
- García, P., Martínez, S., & López, D. (2021). Propiedades antioxidantes del orujo de uva: Un enfoque en la prevención de enfermedades crónicas. Journal of Nutritional Biochemistry, 45, 32-40.
- Hernández, J., & Ramos, T. (2020). Aceptación de barras de cereal enriquecidas con antioxidantes naturales en el mercado español. Estudios de Consumo, 29(2), 87-96.
- Jiménez, A., & Salas, M. (2019). Aplicaciones del orujo de uva en productos de panadería y suplementos dietéticos. Food Science and Technology, 51(7), 1123-1131.
- Lara, M., & Torres, J. (2022). Efectos antiinflamatorios y anticancerígenos del orujo de uva. Medicina Natural y Alternativa, 18(4), 145-154.
- López, R., & Márquez, F. (2024). Estudio de la aceptación de barras de cereal enriquecidas con harina de orujo de uva en Tarija. Análisis de Mercado y Consumo, 6(1), 50-60.
- Medina, J., & Silva, R. (2018). Orujo de uva en productos alimenticios: Mejoras en valor nutricional y vida útil. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 66(15), 3792-3800.
- Ministerio de Desarrollo Productivo y Economía Plural. (2014). Informe sobre la producción de uva y vino en Tarija. Gobierno de Bolivia.
- Ortiz, A., & Fernández, L. (2021). La economía circular en la industria alimentaria: Utilización de subproductos como el orujo de uva. Sustainability Studies, 12(5), 1783-1792.

- Paredes, C., & Rojas, A. (2019). Estrategias para la reutilización de subproductos agroindustriales en alimentos funcionales. *Journal of Environmental Management*, 45(3), 289-298.
- Quispe, S., & Salazar, M. (2022). Aceptación del mercado de alimentos enriquecidos con ingredientes autóctonos en América Latina. *Latin American Food Journal*, 8(2), 113-124.
- Ramírez, J., & Salazar, P. (2024). Tendencias en el mercado de alimentos funcionales: Un enfoque en la incorporación de orujo de uva. *Global Health Journal*, 19(1), 23-30.
- Romero, S., & Valdés, J. (2023). Impacto de los antioxidantes del orujo de uva en la prevención de enfermedades metabólicas. *Clinical Nutrition Research*, 31(4), 215-226.
- Sosa, C., & Martínez, R. (2020). Investigación sobre la aceptación de productos alimenticios enriquecidos con orujo de uva. *Food Research and Innovation*, 14(2), 95-108.
- Vargas, L., & Pacheco, R. (2022). Innovaciones en alimentos saludables: Control del peso y mejora del sistema inmunológico. *Health Nutrition Review*, 27(3), 77-86.

DESARROLLO DE ESTRATEGIAS DE CONTROL DE CALIDAD Y REDUCCIÓN DE PÉRDIDAS EN LA PRODUCCIÓN DE LECHE EN POLVO

DEVELOPMENT OF QUALITY CONTROL AND LOSS REDUCTION
STRATEGIES IN POWDERED MILK PRODUCTION

Fecha de recepción: 09/12/2024 | Fecha de aceptación: 21/01/2025

Autor:

Tejerina Portugal Fernando¹

¹Ingeniero Industrial, Departamento de Ciencias Industriales, Medio Ambiente y Energía, UCB Tarija

Correspondencia del autor: fernando.tejpor@gmail.com¹

Tarija - Bolivia

RESUMEN

La presente investigación se realizó para medir la Calidad y Productividad en la línea de producción de leche en polvo de una empresa, así como para determinar las causas de los problemas presentes en esta.

Se realizó en base a la metodología Seis Sigma, empleando datos para analizar estadísticamente el proceso y de esta manera obtener conclusiones objetivas que permitan identificar las oportunidades de mejora en el proceso.

A través de estadística descriptiva e inferencial, se determinó que el proceso presentaba falencias en ambos indicadores y que sus causas principales eran la falta de control de la leche concentrada que se suministraba al secador y la variación de humedad ambiente.

ABSTRACT

The present investigation was carried out to measure the Quality and Productivity in the milk powder production line of a company, as well as to determine the causes of the problems present in it.

It was carried out based on the Six Sigma methodology, using data to statistically analyze the process and in this way obtain objective conclusions that allow identifying opportunities for improvement in the process.

Through descriptive and inferential statistics, it was determined that the process had flaws in both indicators and that its main causes were the lack of control of the concentrated milk that was supplied to the dryer and the variation in ambient humidity.

Palabras Clave: Leche en polvo, control estadístico, Seis Sigma.

Keywords: Milk powder, statistic control, Six Sigma.

1. INTRODUCCIÓN

A medida que el mundo empresarial se vuelve cada vez más competitivo, las industrias buscan constantemente maneras de aumentar su eficiencia para aprovechar mejor sus recursos y de esta manera alcanzar mayores rentabilidades y alcanzar una mejor posición en el mercado. Las industrias de alimentos no son ajenas a esta realidad, por lo que la implementación de programas de mejora continua de sus procesos es importante al suponer tanto una ventaja competitiva como un aumento en la confianza y seguridad de los clientes.

En la actualidad, metodologías como Manufactura Esbelta (mejor conocida como Lean Manufacturing) y Seis Sigma se han constituido como una gran ayuda para la mejora de procesos en las empresas, por lo que son ampliamente valoradas en el mercado.

Cada una posee un enfoque distinto, siendo Manufactura Esbelta una filosofía que define su mejora como la eliminación o reducción de actividades que no agregan valor al producto (Hernández Matías & Vizán Idoipe, 2013); mientras que Seis Sigma es "una estrategia de mejora continua del negocio que busca mejorar el desempeño de los procesos de una organización y reducir su variación" (Gutierrez Pulido & De la Vara Salazar, 2009). Es decir, que mientras que la metodología de Manufactura esbelta se encarga de hacer que el flujo de trabajo sea lo más eficiente posible al reducir al mínimo las actividades que no agregan valor para el cliente, Seis Sigma busca la reducción en la variación estadística de los procesos y con ello reducir no conformidades y desperdicios.

En el caso de las industrias de alimentos, la aplicación de estas metodologías ha ido creciendo con el paso de los años, pero aún es baja en comparación con otras industrias (Message Costa, Filho, Fredendall, & Gómez Paredes, 2018); esto puede variar según el contexto en el que se encuentre la empresa,

pero en términos generales, la aplicación, especialmente de Seis Sigma, en la industria de alimentos aún no ha sido abordada ampliamente.

Sin embargo, tales metodologías son válidas para estas industrias y representan una oportunidad para aumentar la eficiencia y eficacia de sus procesos. Por ello, esta investigación se centra en el análisis del proceso de elaboración de leche en polvo en una empresa boliviana de elaboración de lácteos en base a Seis Sigma, considerando las fases de mejora del ciclo DMAIC (Definir, Medir, Analizar, Mejorar, Controlar).

1.1 Producción de leche en polvo

La producción de leche en polvo consiste en extraer el agua presente en esta para dejar un producto compuesto del extracto sólido de la leche con un porcentaje residual de humedad. Actualmente, el método más empleado es el de secado por aspersión, en el cual la leche pasa principalmente por dos fases: evaporación y secado.

En primer lugar, la leche es precalentada para posteriormente ser sometida a la evaporación, que se define como "una operación unitaria que consiste en la eliminación de agua de un alimento fluido mediante vaporización o ebullición." (Ibarz & Barbosa-Cánovas, 2005). A través de esta operación, el producto puede llegar a perder más la mitad de su porcentaje de agua, generalmente alcanzando su porcentaje de sólidos no grasos (SNG) un valor de alrededor de 45 grados Brix. Esta operación suele realizarse en evaporadores de más de un efecto y tiene la característica de que operan a presiones de vacío para evitar calentar excesivamente a la leche.

Posteriormente, la leche concentrada es transportada hacia el secador, donde el flujo de alimentación pasa ya sea por una boquilla o disco giratorio que lo transforma en gotas que son secadas por un flujo

continuo de aire caliente, controlándose a través de las condiciones de los flujos y temperaturas para alcanzar las condiciones de humedad deseadas.

Geankopolis (1998), en su texto sobre operaciones unitarias, presenta que la velocidad de secado está relacionada tanto al contenido de sólidos como al área de superficie seca, representado por la siguiente ecuación:

$$R = -\frac{w_s}{A} \frac{dY}{dt}$$

Donde:

R = Velocidad de secado

Ws = Peso de sólidos

A = Área superficial

Y = Porcentaje de humedad

Mientras que, de manera más detallada, Mahaut, Jeantet, Brulé y Schuck (2003) presentan tres factores principales que afectan a la velocidad de secado por aspersión, siendo estas: el área superficial de la partícula, la diferencia de presiones parciales de vapor de agua entre el medio y la partícula, y la migración de agua en el interior de la gota. Los autores igualmente describen que la operación de secado puede desarrollarse en más de una fase, es decir, tras el secado principal en la cámara de aspersión, el producto puede someterse a otra operación de secado, esta vez en lechos fluidizados alimentados por aire a distintas temperaturas, para alcanzar su humedad final deseada.

1.2 Control Estadístico de Procesos

El Control Estadístico de Procesos se realiza principalmente a través de herramientas como histogramas; en los cuales se registran las frecuencias de los valores registrados en las mediciones a los proce-

sos (Alcalde San Miguel, 2010); y/o cartas de control de procesos, cuyo objetivo es "observar y analizar el comportamiento de un proceso a través del tiempo" (Gutierrez Pulido & De la Vara Salazar, 2009), es decir, consiste en una carta en la que se grafican los valores de distintas características; ya sean de un proceso, como de las variables de entrada y de salida de este; para estudiar su comportamiento a lo largo del tiempo y determinar si este presenta un comportamiento estable estadísticamente, es decir, que se encuentra bajo control estadístico, y si cumple con los requerimientos establecidos.

La función del Control Estadístico de Procesos es la evaluación de la variación de los procesos y cómo esta afecta a su capacidad para cumplir con los requerimientos establecidos, así como identificar si el proceso se encuentra bajo control estadístico. Para ello, se definen distintos indicadores del proceso para evaluar su capacidad y estabilidad en el tiempo, permitiendo identificar cuatro posibles estados del proceso, como se observa en la Figura 1.

Figura 1: Clasificación de procesos según control estadístico

	Estable	Inestable
Capaz	Tipo A: Capaz y Estable	Tipo B: Capaz pero Inestable
Incapaz	Tipo C: Incapaz pero Estable	Tipo D: Incapaz e Inestable

Fuente: Elaborado en base a Gutierrez Pulido y De la Vara Salazar (2009)

La métrica más importante para Seis Sigma se realiza calculando la capacidad en función de la desviación estándar.

$$Z = \min \left[\frac{ES - \mu}{\sigma}, \frac{\mu - EI}{\sigma} \right]$$

Donde:

ES = Límite de Especificación Superior

EI = Límite de Especificación Inferior

μ = Media de la variable

σ = Desviación estándar de la variable

Por otra parte, el análisis de la inestabilidad del proceso se realiza por medio de las cartas de control de procesos, interpretando el índice de Estabilidad y los patrones.

El índice de Inestabilidad se refiere al porcentaje de los puntos de la gráfica de control que están fuera de los límites, es decir, que se encuentran a más de 3(tres) desviaciones estándar respecto a la media, lo que indica que el proceso se encuentra fuera de control estadístico, existiendo causas asignables para la variación.

$$S_t = \frac{N^{\circ} \text{ puntos fuera de límites}}{N^{\circ} \text{ total de puntos}} * 100$$

Gutierrez Pulido y De la Vara Salazar (2009) presentan, a su vez, cinco tipos de patrones que también indican que el proceso no se encuentra bajo control estadístico: Desplazamientos o cambios en el nivel, Tendencias positivas o negativas, Ciclos recurrentes y Exceso o Escasez de variabilidad.

1.3 Seis Sigma

Seis Sigma se trata de una metodología de mejora continua que busca, mediante el estudio y análisis de los procesos, diseñar e implementar mejoras en las organizaciones con el objetivo de lograr procesos con alta capacidad y estabilidad para cumplir con los requerimientos de los clientes.

Esta metodología se caracteriza principalmente por un enfoque a los procesos y a los clientes, el involu-

cramiento de toda la organización y principalmente, basarse en datos para la gestión de los procesos y las propuestas de mejora (Gutierrez Pulido & De la Vara Salazar, 2009).

Siendo el enfoque en datos objetivos la característica más representativa de Seis Sigma, existe una fuerte relación con el control estadístico de la calidad ya que la determinación de parámetros a considerar y el estudio posterior de los problemas y sus causas se realiza a través de métodos estadísticos en la toma y análisis de los datos con el objetivo de obtener información relevante para la evaluación de los procesos e implementar mejoras en la calidad con sustento en los datos verificables, garantizando así que los proyectos realizados bajo este sistema sean de utilidad para las empresas.

Estas características se ven reflejadas en la metodología base para la elaboración de proyectos Seis Sigma, la metodología DMAIC.

La fase de Definir consiste en la determinación y delimitación del proyecto, estableciendo el marco general que engloba su desarrollo. En este punto se define principalmente el problema a ser atendido y los objetivos en la realización del proyecto, así como las variables de medición.

En la fase de Medir, se profundiza en el estudio del proceso, aumentando el conocimiento sobre el funcionamiento de este a través de diagramas y midiendo las variables relevantes para conocer su estado.

Posteriormente, en la etapa de Analizar, se busca encontrar la causa raíz de los problemas en el proceso; esto suele definirse como buscar las fuentes principales de variación de los procesos para resolver los problemas ocasionados por estas.

Una vez que se encuentran las causas de las variaciones, se procede al diseño e implementación de Mejoras, buscando solucionar los orígenes de los problemas presentes y obtener así procesos estables y con alta capacidad.

Finalmente, se elaboran mecanismos de Control para monitorear las mejoras y el desempeño del proceso una vez terminado el proyecto.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

El proyecto se desarrolló como una investigación exploratoria y descriptiva, ya que, mediante este, se realizó la medición de variables del proceso para después pasar al análisis estadístico de este, llegando por último a la redacción de las propuestas de mejora y control en base a estos datos.

La obtención de datos se realizó mediante observación y medición en la línea de producción, así como a través de la recopilación de información de los registros históricos de la empresa. De esta manera, se pretende evaluar las pérdidas de materia prima y la calidad del producto terminado

Acorde a la metodología DMAIC de Seis Sigma, el proyecto inició con la definición del proceso y las variables a evaluar, siendo en este caso, la productividad y la calidad de la línea de producción de leche en polvo instantánea de la empresa. Las variables de medición son mostradas en la Tabla 1.

Tabla 1: Variables de medición del proceso

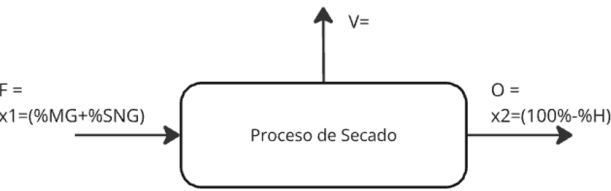
Variables				
Variable	Definición conceptual	Definición operacional	Dimensiones	Indicador
Calidad	Grado de cumplimiento de las especificaciones de un producto	Capacidad del proceso para cumplir con el objetivo de Humedad en el producto final	Producto Terminado	Humedad (%)
Productividad	Relación entre producción real y producción teórica	Aprovechamiento de materia prima de acuerdo a la cantidad utilizada y su porcentaje de sólidos, así como las características del producto final	Cantidades de Producto y Materia Prima	Leche Fluida (Materia Prima) (Kg) Leche en Polvo (Producto Terminado) (Kg)
			Características de Materia Prima	Sólidos No Grasos (%SNG) Materia Grasa (%MG)
			Producto Terminado	Humedad (%)
			Producción teórica	Máxima producción teórica (Producto Terminado) (Kg)

Fuente: Variables a tomar en cuenta para evaluar el proceso

La variable que tomar en cuenta para la Calidad fue el porcentaje de humedad en el producto terminado, dado que de esta depende la estabilidad del producto terminado y su control es parte de la norma NB-33010 Leche en Polvo-Requisitos.

La productividad se calculó como la relación entre la producción real y la producción teórica, calculada empleando un balance de materia utilizando las cantidades y características de materia prima y las propiedades promedio del producto terminado, como lo representa el diagrama de la Figura 2.

Figura 2: Diagrama de balance de materia en el secador



Nota: F es la corriente de alimentación, V es la salida de agua en forma de vapor y O es la corriente de producto terminado

$$\text{Máxima producción teórica} = O = \frac{F * (\%MG + \%SNG)}{(100\% - \%H(PROM))}$$

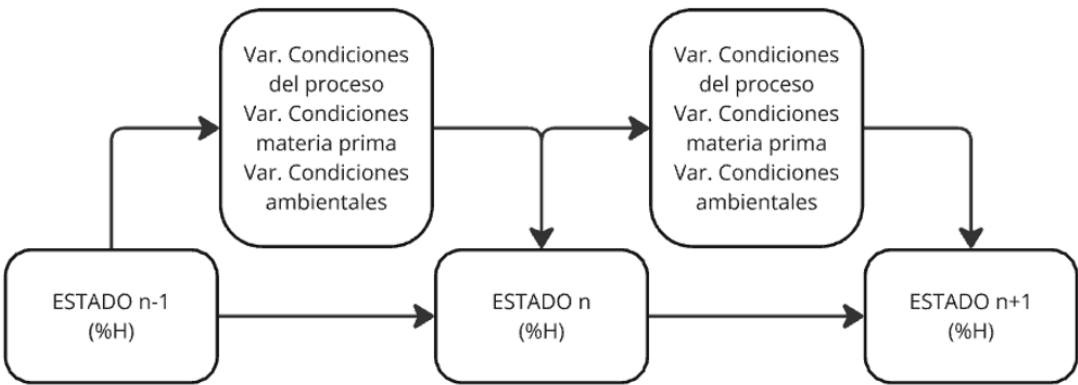
$$\text{Productividad} = \frac{\text{Leche en Polvo (Producto Terminado)(Kg)}}{\text{Máxima producción teórica(Kg)}}$$

Se realizó la observación del proceso para elaborar los diagramas que describen su funcionamiento; y se recolectó datos para realizar los análisis descriptivos de las variables Calidad y Productividad, incluyendo el análisis en cartas de control de procesos para observar la estabilidad y capacidad del proceso, especialmente buscando calcular el nivel sigma(Z).

Tras la evaluación inicial, se procedió con el análisis de estadística inferencial, principalmente Análisis de Varianza (ANOVA) para evaluar las posibles variables que afectan al proceso. Para esto, dada la naturaleza de la investigación, se definió que significancia como 0.10 para las pruebas de hipótesis.

La evaluación de los factores que alteran a la humedad se realizó evaluando periodos de cambio de 1(una) hora como se diagrama en la Figura 3.

Figura 3: Diagrama de medición de factores que producen variación en la humedad



Nota: Se realizó tomando en cuenta variaciones ocurridas durante el transcurso de un periodo, así como ocurridas en un periodo anterior, según el caso.

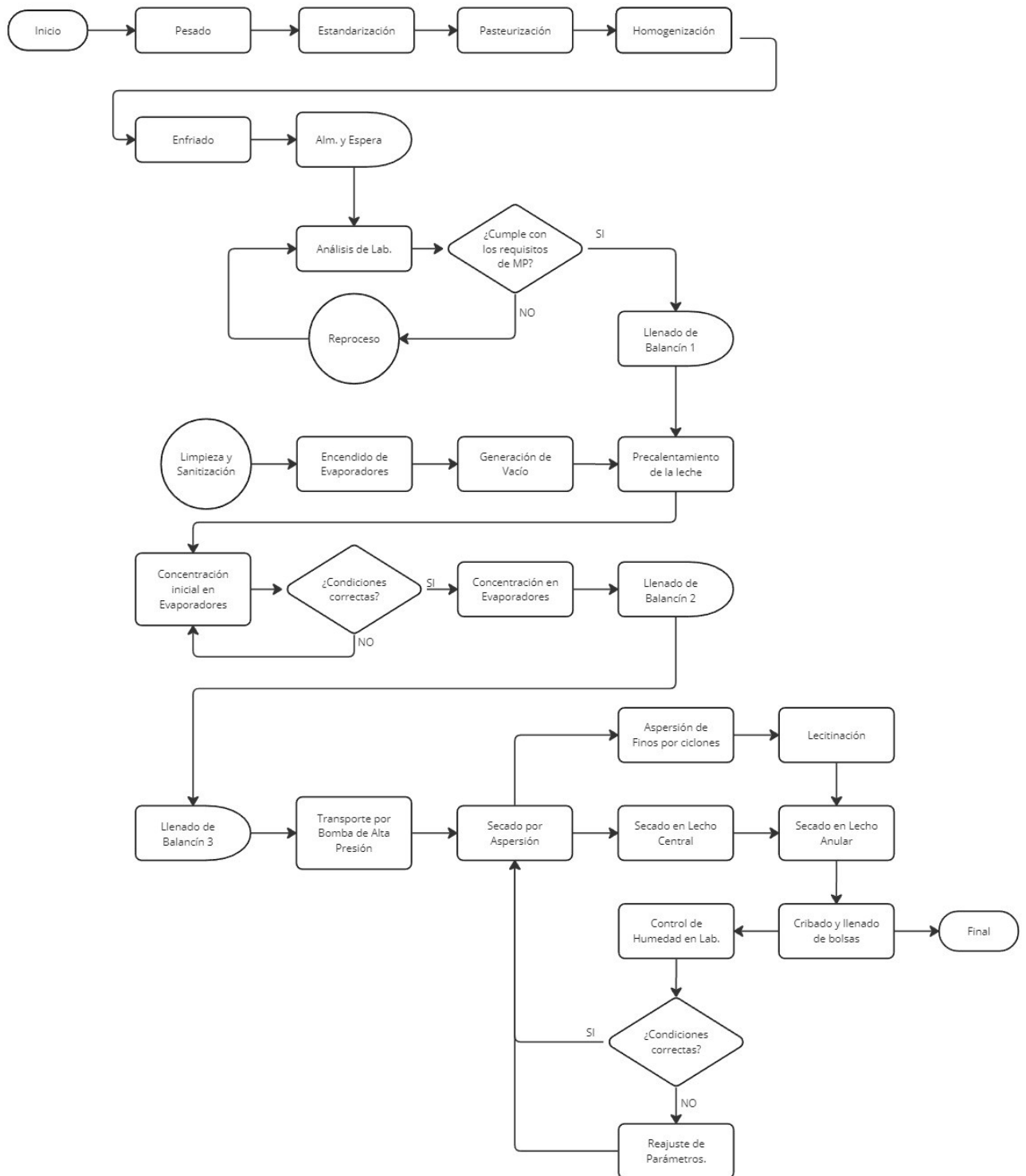
La evaluación de los factores que afectan a la productividad se realizó tomando el promedio de las variables en el tiempo total del proceso para su análisis.

3. RESULTADOS

Fase de Medición

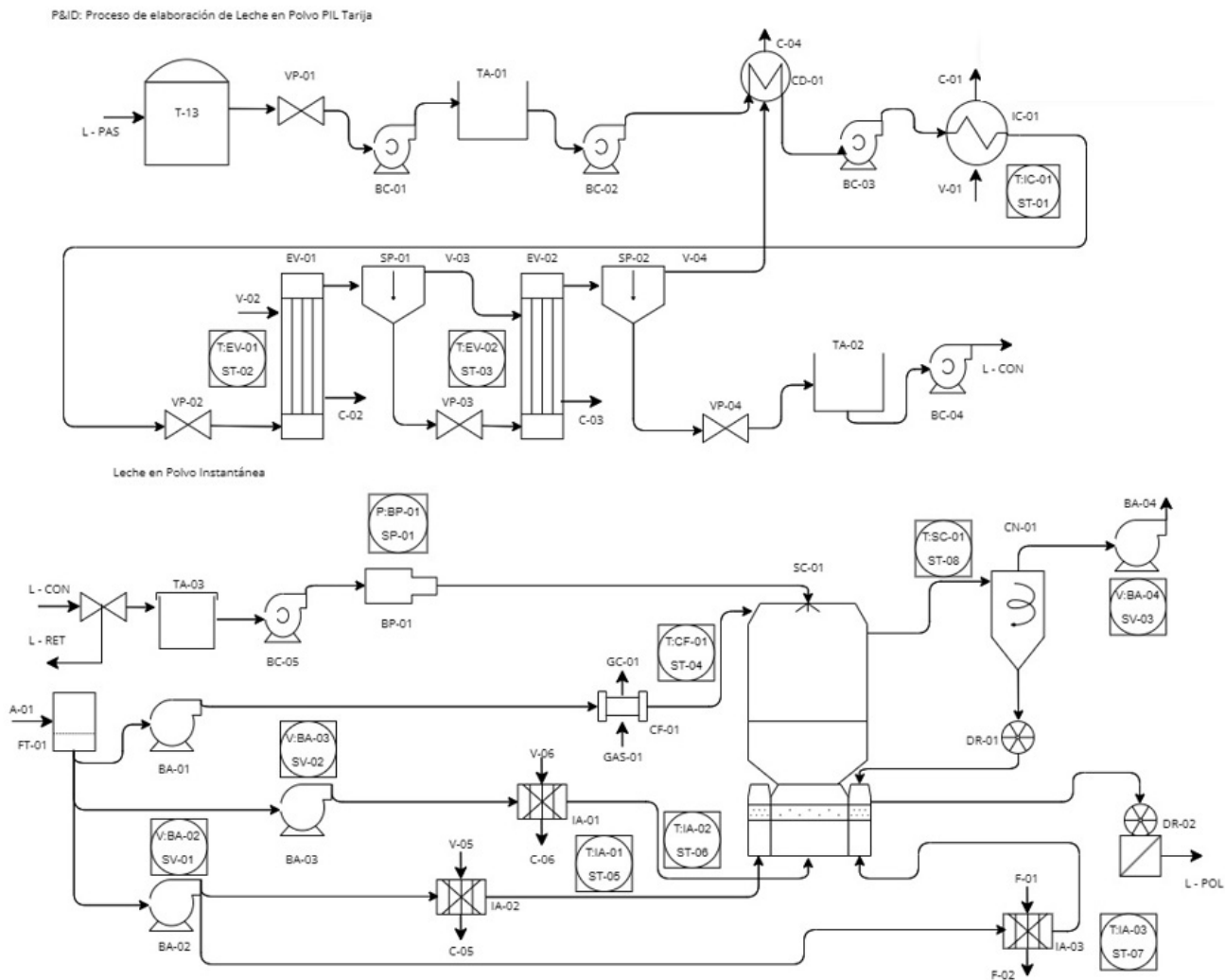
A través de la observación, se realizaron los diagramas de la Figuras 4 y Figura 5:

Figura 4: Diagrama de flujo: Elaboración de Leche en Polvo Instantánea



Nota: Proceso de la línea de producción de leche en polvo en la empresa

Figura 5: Diagrama de Tuberías e Instrumentación: Leche en Polvo Instantánea

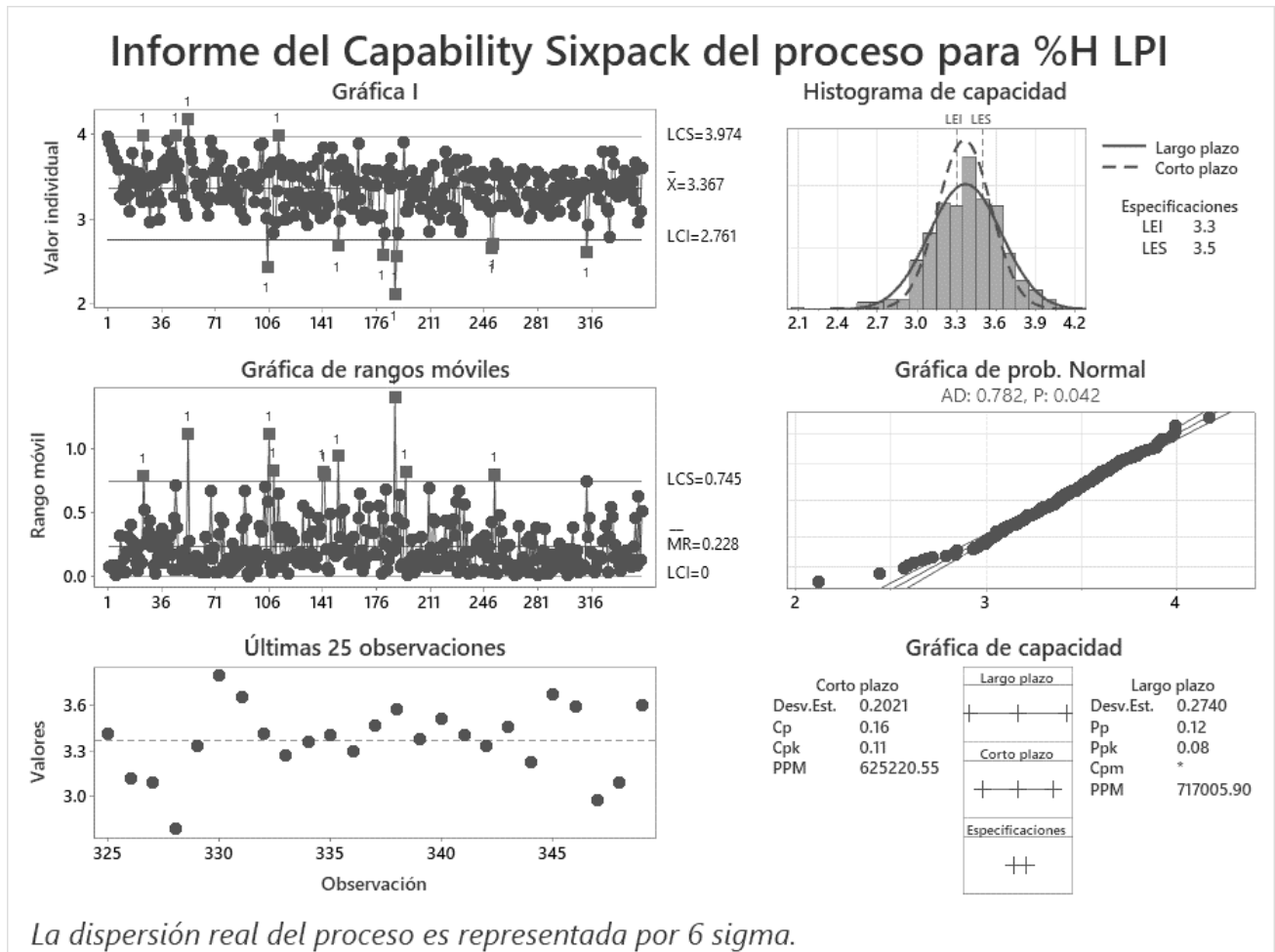


Nota: Principales equipos e instrumentos empleados en el proceso

Las variables definidas fueron evaluadas para obtener principalmente sus indicadores de estadística descriptiva, observándose los resultados en la Figura 6 y Tabla 2.

Los límites de control para la humedad fueron definidos por normas bolivianas (IBNORCA) (Límite Superior = 3.5%) y por los estándares manejados por la empresa (Límite Inferior = 3.3%)

Figura 6: Carta de Control de Humedad (%): Leche en Polvo Instantánea



Nota: Estadísticos descriptivos del porcentaje de humedad del producto terminado. Elaborado en Minitab®

Tabla 2: Estadísticas descriptivas de Productividad

Estadísticas					
Variable	Media	Desv.Est.	Mínimo	Mediana	Máximo
Productividad	0.8379	0.0436	0.7242	0.8446	0.9121

Nota: Estadísticas descriptivas básicas de la productividad.

Dada la evidencia de que el proceso presenta deficiencias en ambos indicadores, se procedió al análisis de las causas.

Fase de Análisis

A través de ANOVA y regresión lineal, se procedió al

análisis de las causas de los resultados vistos en la fase de Medición. Se presentan los resultados de las variables que tuvieron significancia suficiente como para explicar lo observado en el proceso.

En el caso de la Calidad, se obtuvieron los resultados expuestos en la Tabla 3.

Tabla 3: Prueba ANOVA (%) Humedad

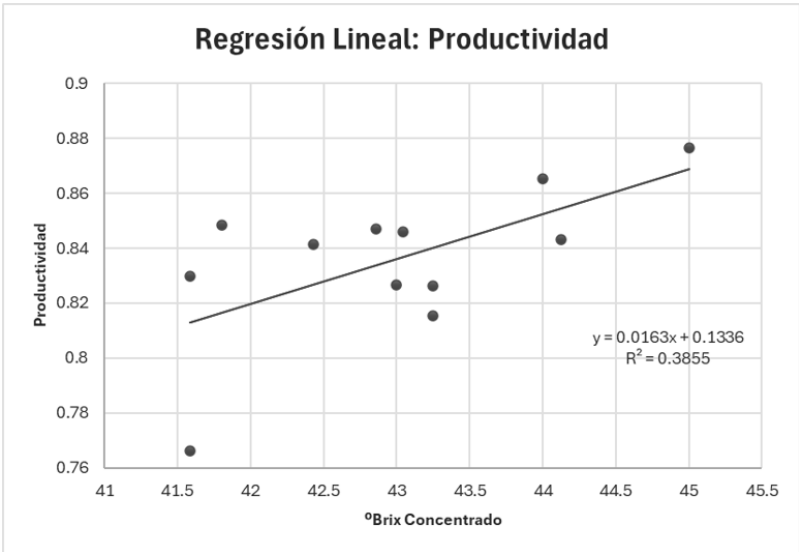
ANOVA					
Variable dependiente:		dH			
Origen	Suma de cuadrados tipo III	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Modelo corregido	1.244a	47	0.02647128	16.2900164	0.05946579
Intersección	0.042048053	1	0.04204805	25.8757247	0.03654113
dTprom	0.068123684	3	0.02270789	13.9740891	0.06751894
dºBrix	0.04705231	7	0.00672176	4.13646682	0.20845507
dHE	0.11191774	18	0.00621765	3.82624753	0.22711873
dTprom * dºBrix	0	0			
dTprom * dHE	0.010864286	1	0.01086429	6.68571429	0.12265352
dºBrix * dHE	0.144920588	5	0.02898412	17.8363801	0.05393667
dTprom * dºBrix * dHE	0	0			
Error	0.00325	2	0.001625		
Total	1.2602	50			
Total corregida	1.2474	49			

a. Rcuadrado = .997 (Rcuadrado corregida = .936)

Nota: Evaluación mediante ANOVA de la relación de la variación de las variables de: Temperatura de Promedio Lecho fluidizado Anular y Central (dTprom), Concentración de la Leche Concentrada de 1(un) periodo anterior del proceso (dºBrix) y Humedad Específica del Ambiente (dHE)

Por su parte, una de las causas de los resultados de la Productividad observados se resume en la Figura 7 y Tabla 4.

Figura 7: Regresión lineal de Productividad y Concentrado de Leche



Nota: Relación entre Productividad y Concentración de Leche Concentrada

Tabla 4: Análisis de Regresión Lineal Productividad y Concentrado de Leche

ANOVA						
		Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sg.
Modelo						
1	Regresión	0.003	1	0.003	4.855	0.05
	Residual	0.007	11	0.001		
	Total	0.01	12			
Coeficientes						
Modelo		Coeficientes no estandarizados		Coeficientes tipificados	t	Sg.
		B	Error tip.	Beta		
1	(Constante)	0.161	0.308		0.521	0.612
	°Brix	0.016	0.007	0.553	2.203	0.05

Nota: Pruebas de hipótesis para el modelo general y coeficientes en cuanto a la relación entre Productividad y Concentración de Leche Concentrada

4. DISCUSIÓN

Los resultados obtenidos destacan la efectividad de la metodología utilizada para identificar problemas específicos de calidad y productividad. Aunque los métodos de control estadístico de procesos (CEP), y en particular la metodología Seis Sigma, no son ampliamente empleados en la industria alimentaria, este estudio demuestra su alto potencial. Su implementación permitió, mediante análisis estadístico, identificar las causas subyacentes de factores cuya medición directa era inviable.

Es fundamental subrayar que una adopción más amplia de estas herramientas podría ofrecer una ventaja significativa para las industrias locales. Integrar estas metodologías contribuiría a mejorar la eficiencia operativa y elevar la calidad del producto, fortaleciendo la competitividad en mercados globales cada vez más exigentes.

Además, es importante reconocer que cada proyecto de mejora posee características únicas. Por ello, la selección adecuada de herramientas debe basarse en las particularidades y la viabilidad de los procesos involucrados, asegurando así la eficacia y sostenibilidad de las soluciones implementadas.

5. CONCLUSIONES

A través de la investigación, se pudo evidenciar que la aplicación de estas metodologías es de gran ayuda para la identificación de problemas en las líneas de producción de alimentos, haciendo posible determinar las causas de estos para reducir errores y con ello, no solo evitar incurrir en pérdidas económicas, sino también manejar más responsablemente los recursos alimenticios.

En el caso de la Calidad, se observó que las causas de la elevada variación en la humedad del producto final pueden explicarse por la variación de la temperatura de los lechos fluidizados, la variación de la humedad ambiental y la variación en la concentración en grados Brix del concentrado de leche que entra al secador. Mientras que el primer factor es algo fácilmente controlable por los operadores de la empresa, los otros dos evidencian fallas en el proceso, pues la humedad ambiente, si bien sigue ciertos patrones, es, en esencia, aleatoria, y no puede controlarse a no ser que se instale un deshumidificador en la entrada de aire del proceso; por otro lado, la leche concentrada puede presentar elevada variación a causa de que si no se realiza cuidadosamente y con los instrumentos de medición adecuados,

es imposible conocer exactamente su valor, dando como resultado que la dinámica de secado cambie constantemente, provocando la alta variación de la humedad..

En el caso de la Productividad, si bien no se llegó a determinar todos los factores que afectan a esta, se logró identificar que la concentración de la leche que entra al secador es un factor importante para tener en cuenta, esto debido a la maquinaria empleada en el proceso. Se explica debido a que una menor concentración implica en el proceso, una menor viscosidad, lo que, a su vez, provoca un tamaño promedio inferior de las gotas, que se traduce en partículas sumamente finas que, al quedarse suspendidas en el aire en la cámara de secado, son absorbidas por el ciclón, pero a causa de su bajo peso, la efectividad de este queda reducida, dando como resultado que el producto sea expulsado junto con el aire y no se recupere, como cabría esperar.

Finalmente, se observa que las causas de los problemas de la línea de producción se deben sobre todo a la falta de control de la leche concentrada y la falta de un deshumidificador de aire para el proceso, por lo que la solución pronta de estos daría como resultado un mejor desempeño de esta.

6. BIBLIOGRAFÍA

- Alcalde San Miguel, P. (2010). Calidad (Segunda ed.). Ediciones Paraninfo S.A. Madrid
- Geankopolis, C. J. (1998). Procesos de Transporte y Operaciones Unitarias. Compañía Editorial Continental S.A. de C.V. México D.F.
- Gutierrez Pulido, H., & De la Vara Salazar, R. (2009). Control Estadístico de Calidad y Seis Sigma (Segunda ed.). McGraw-Hill/Interamericana Editores S.A. México D.F.
- Hernández Matías, J., & Vizán Idoipe, A. (2013). Lean manufacturing: Conceptos, técnicas e implantación. Escuela de Organización Industrial. Madrid
- Ibarz, A., & Barbosa-Cánovas, G. (2005). Operaciones Unitarias en la Ingeniería de Alimentos. Ediciones Mundi-Prensa. Madrid
- IBNORCA. (s.f.). NB-33010 Leche en Polvo - Requisitos.
- Mahaut, M., Jeantet, R., Brulé, G., & Schuck, P. (2003). Productos lácteos industriales. ACRIBIA. Zaragoza
- Message Costa, L. B., Filho, M. G., Fredendall, L. D., & Gómez Paredes, F. J. (2018). Lean, six sigma and lean six sigma in the food industry: A systematic literature review. Trends in Food Science and Technology. Volumen 2. pp 122-133. Diciembre de 2018. European Federation of Food Science and Technology

ALTERNATIVA PARA EL APROVECHAMIENTO DE LACTOSUERO: PROCESO DE DESLACTOSADO DE SUERO DE LECHE A TRAVÉS DEL ENCAPSULAMIENTO DE β -GALACTOSIDASA

ALTERNATIVE FOR THE USE OF WHEY: WHEY DELACTOSATION
PROCESS THROUGH THE ENCAPSULATION OF β -GALACTOSIDASE

Fecha de recepción: 09/12/2024 | Fecha de aceptación: 21/01/2025

Autores:

Quispe Condori Melissa¹

Quisbert Duarte Gabriela del Pilar²

Delgadillo Vargas Krupskaya³

^{1,2 y 3} Estudiantes Carrera de Ingeniería de Alimentos, UMSA

Correspondencia de los autores: melissaqc2120@gmail.com¹, gabyqd22@gmail.com², krupskaya.d@gmail.com³

La Paz - Bolivia

RESUMEN

El artículo describe la experimentación sobre hidrólisis enzimática en lactosuero, utilizando la enzima β galactosidasa. El objetivo fue utilizar un producto residual de la industria láctea, reduciendo su efecto en el medio ambiente y convirtiéndolo en un alimento complementario para mujeres embarazadas. El método sugerido posibilitó la obtención de una materia prima con una mayor concentración de galactosa, precursor de galacto-oligosacáridos esenciales para el desarrollo fetal y reducido en lactosa, adecuado para personas con intolerancia a este componente. La técnica se enfoca en la inmovilización de β -galactosidasa a través de la esferificación con alginato de sodio, lo que permite conservar la actividad de la enzima durante el proceso de deslactosado. El análisis empleó LactoScan para cuantificar el nivel de lactosa y el método DNS para cuantificación de azúcares; se demostró una reducción significativa de lactosa tras 4 horas de tratamiento con recuperación enzimática. Los resultados corroboran la eficacia del procedimiento con un incremento en la concentración de galactosa y una disminución considerable de lactosa. La investigación evidencia la factibilidad de elaborar un suplemento alimentario a partir del lactosuero y también representa una innovación en el sector de la alimentación con la capacidad de desarrollar alimentos que favorezcan a mujeres en gestación y a personas con intolerancia a la lactosa, favoreciendo la sostenibilidad y la generación de productos de alto valor nutricional.

ABSTRACT

The article describes enzymatic hydrolysis experimentation of whey using the enzyme β -galactosidase. The aim was to use a residual product of the dairy industry, reducing the environment effect and turning it into a complementary food for pregnancy. The suggested method made it possible to obtain a product with a higher concentration of galactose, a precursor of galacto-oligosaccharides essential for fetal development and reduced in lactose, suitable for people with lactose intolerance. The technique focuses on the immobilization of β -galactosidase through spherification with sodium alginate, which allows the enzyme activity to be preserved during the delactose process. The analysis used LactoScan to quantify the lactose level and the DNS method to quantify sugars; a significant reduction in lactose was demonstrated after 4 hours of treatment with enzymatic recovery. The results confirm the effectiveness of the procedure with an increase in the concentration of galactose and a considerable decrease in lactose. The research demonstrates the viability of producing a food supplement from whey and also represents an innovation in the food sector with the capacity to develop foods that benefit future mothers with lactose intolerance and new children, promoting sustainability and the generation of products with high nutritional value.

Palabras Clave: Lactosuero, β -galactosidasa, hidrólisis enzimática, inmovilización, sostenibilidad, intolerancia a la lactosa

Keywords: Whey, β -galactosidase, enzymatic hydrolysis, immobilization, sustainability, lactose intolerance.

1. INTRODUCCIÓN

Los "Mil Días de Oro", se constituyen en un periodo crítico para el ser humano pues va desde la gestación hasta los dos primeros años de vida, donde existe mayor impacto del crecimiento y desarrollo del organismo, cualquier factor o situación negativa que se presente, afectaría de manera irreversible el proceso normal del crecimiento. Este es el periodo de desarrollo cerebral más intenso de toda la vida post uterina, pues el proceso de formación del cerebro alcanza un 90%, consecuentemente, es importante proporcionar estimulación y nutrición adecuada para un desarrollo cognitivo, social y emocional óptimos que garantizarían alcanzar el máximo potencial en la vida (Ministerio de Salud de Bolivia, 2017).

La industria quesera se ha convertido en un grave problema de contaminación ambiental, debido a que generalmente descarga sus residuos a ríos y desagües (Zall, 1984). Se estima que cada kg de queso producido genera 9 kg de suero y que anualmente se producen a nivel mundial 9.000.000 toneladas de queso; esto representaría aproximadamente 81 millones de toneladas de suero, considerado como producto de desecho (Veisseyre, 1988).

La producción de leche siendo un sector que aporta a la economía del país, llegó a producir en la gestión 2023, más de 557 millones de litros de suero de leche según organismos gubernamentales (PRO - Bolivia, 2024).

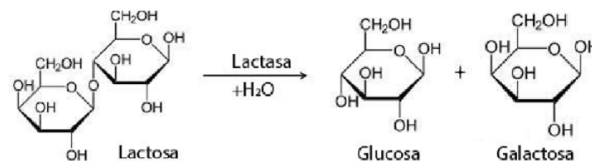
Araujo et al. corrobora que el lactosuero, proveniente de industrias de productos lácteos, es el que genera un mayor problema ambiental, esto debido a su volumen y a que afecta física y químicamente al suelo, lo que genera una disminución en el rendimiento de cultivos agrícolas y cuando se desecha en el agua, reduce la vida acuática al agotar el oxígeno disuelto (Araujo, s.f).

El suero de leche está constituido por un 4,64% de lactosa, en su mayoría proveniente de la leche,

en una proporción de (4.5-5.0 % p-v) 46,0-52.0 g/1000cc en lactosuero dulce y 44.0-46.0 g/1000cc en lactosuero ácido (Poveda, 2013); por otro lado, su contenido proteico desempeña un importante papel nutritivo como una rica y balanceada fuente de aminoácidos esenciales (Ibrahim et al., 2005).

La hidrólisis enzimática del componente lactosa en el suero de leche es una técnica aplicable que permite el aprovechamiento de este subproducto. Cuando la lactosa es hidrolizada por la enzima se obtienen dos moléculas, glucosa y galactosa. La galactosa es indispensable para la formación de cerebrosidos (glucolípidos), moléculas que forman parte del sistema nervioso central en la etapa de formación prenatal y del neonato (Panis et al., 2024).

Figura 1. Hidrólisis enzimática de la lactosa



Fuente: laboratoriolopezsalcedo.es, 2018.

La galactosa es esencial para la formación de galactocerebrosidos, lípidos clave en el desarrollo del cerebro y la mielina de los bebés, que permiten la transmisión rápida de impulsos nerviosos. En trastornos como la galactosemia, la incapacidad para procesar galactosa afecta el desarrollo neurológico, resaltando su importancia en la salud cerebral (Panis et al., 2024; Radin, 1970).

Las funciones de la D-galactosa se desarrollan a continuación:

Es esencial para la formación de glucoesfingolípidos, que son cruciales para el desarrollo del sistema nervioso central. Estos lípidos están involucrados en la formación de membranas celulares y en la transmisión de señales nerviosas.

La D-galactosa participa en la síntesis de glucoproteínas y glucolípidos que son esenciales para el

desarrollo de células y tejidos, así como para la estructura de órganos y sistemas. Es un componente importante en la biosíntesis de compuestos necesarios para el crecimiento y la diferenciación celular durante el desarrollo prenatal. Contribuye al desarrollo y mineralización de los huesos, lo cual es crucial para el desarrollo esquelético del feto (Hurlimann, 2006).

La presente investigación enfoca su interés en la galactosa, este azúcar simple que juega un papel importante en el desarrollo humano, se encuentra en la leche materna y en alimentos en forma de galactosa unida a glucosa (lactosa). Se plantea desarrollar un producto suplementario ideal para la etapa de gestación, cómo fuente de una mayor concentración de galactosa biodisponible y aminoácidos esenciales para el desarrollo prenatal y que su asimilación sea mejor debido al proceso de deslactosado de suero de leche, siendo posible en base al tratamiento enzimático de este disacárido.

Inmovilización enzimática por esferificación mediante alginato de sodio.

La gelificación con alginato es una forma habitual de producir perlas o cápsulas. El término esferificación es utilizado para abarcar todos los métodos utilizados para diseñar partículas de tamaño milimétrico, idealmente esféricas con el objetivo de encapsular diferentes ingredientes y principios activos (Liu et al., 2002).

La inmovilización enzimática, se realiza con alginato de sodio (E401), y la técnica de inmovilización es el encapsulamiento por esferificación convencional. El método de encapsulamiento externo se guía por la formación de gel a través de la difusión de iones de calcio en una solución de alginato de sodio (Panesar et al., 2010).

Extrusión simple dripping (goteo simple). Este proceso es el método de encapsulación más comúnmente utilizado y el que se utilizó para esta investigación.

El principio consiste en la extrusión a través de una boquilla de una solución o emulsión de alginato. Las gotas formadas caen en un baño de gelificación que contiene un reticulante de alginato (para el caso Cl-2Ca). Siguiendo este principio básico, el proceso puede variarse para incorporar componentes interesantes a la solución/emulsión de alginato con el fin de encapsularlo y atraparlo en la matriz.

Hidrólisis enzimática de lactosa empleando enzima β – galactosidasa

La hidrólisis de la lactosa mediante el empleo de la β - galactosidasa o lactasa (EC.3.2.1.23), rompe el enlace glicosídico (1-4) mediante la inclusión de una molécula de agua que une los dos monosacáridos.

El mecanismo de acción de la enzima postulada por Wallenfels y Malhorta establece que la enzima transfiere el residuo de D – galactosa de un galactósido a un aceptor con grupos hidroxilos; cuando este aceptor es agua, se forma la galactosa; sin embargo, al igual que otras glicosidasas, la transferencia puede hacerse a otros aceptores como azúcares y alcoholes, dando lugar a la formación de oligosacáridos. La cantidad y naturaleza de los oligosacáridos formados depende del origen de la enzima, así como de algunas de las condiciones en las que se efectúa la reacción tales como concentración inicial de lactosa, tiempo de reacción, pH, temperatura e iones inorgánicos (Juarez, 2011).

Para la investigación se emplea β -galactosidasa o lactasa (EC.3.2.1.23) proveniente de la cepa *Kluyveromyces fragilis*, debido a que tiene condiciones adecuadas de temperatura y pH para su desarrollo detalladas a continuación:

● Temperatura ideal:

Rango: La β -galactosidasa de *K. lactis* generalmente trabaja de manera ideal en un rango de temperatura de 35°C a 40°C.

Temperatura: 37°C.

Estabilidad Térmica: La enzima mantiene su actividad en un rango moderado de temperaturas, pero su estabilidad puede disminuir significativamente a temperaturas superiores a 45°C.

● **pH de trabajo:**

Rango: El pH óptimo está en un rango de 6.0 a 7.5. **Alrededor de 6.5.** **Estabilidad de pH:** La enzima es relativamente estable en un rango de pH cercano al neutro, lo que es compatible con la mayoría de los productos lácteos, pero su actividad disminuye en condiciones altamente ácidas o alcalinas (Bennacef et al., 2021).

2. MATERIALES Y METODOLOGÍA

Inmovilización enzimática por esferificación mediante alginato de sodio.

Para la parte experimental de este proyecto, el proceso para la inmovilización se lleva a cabo en tres partes:

- I. Disolución de la enzima:** se pesaron 10g de alginato de sodio y se diluyeron en 500cc de agua destilada, con una batidora manual se mezcla bien hasta obtener una solución homogénea y sin burbujas de aire, posteriormente se añadió la enzima a la solución, la cantidad de enzima depende de la cantidad de suero de leche a deslactosar, en este caso se utiliza 3 pastillas LactoZero Forte (Lactasa 9000 FCC-ALU) que contiene en su composición la enzima lactasa.
- II. Baño de calcio:** se pesaron 5g de cloruro de calcio y se mezcló en 500cc, llevando la mezcla a 80°C para una mejor disolución, se agita hasta obtener una solución homogénea y se dejó enfriar hasta aproximadamente 22°C para beneficio de la formación de la membrana fina en las esferas y evitar la desnaturalización de la enzima contenida. Esta solución se utiliza para la reticulación de alginato que forma los puentes de sal divalente y gel.

- III. Formación de las esferas:** se utilizó un dispensador plástico de 3 picos para contener la enzima disuelta en alginato de sodio, se hace gotear lentamente en la solución de cloruro de calcio, al entrar en contacto se formaron esferas (ver figura 2). Posteriormente se filtran las mismas utilizando un colador y se enjuaga con agua destilada el exceso de cloruro de calcio.

Figura 2. Inmovilización enzimática de lactasa



Fuente: Elaboración propia

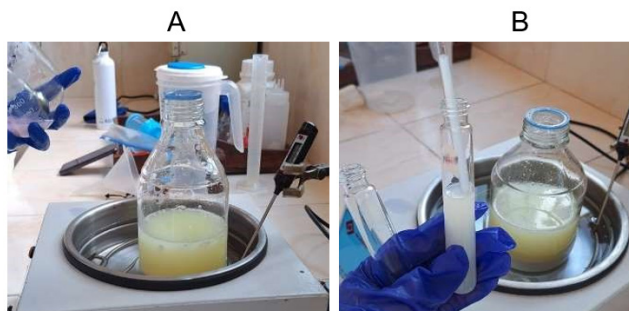
Se observan las esferas formadas debido a la formación de membranas finas gracias a la interacción de alginato de sodio y cloruro de calcio.

Hidrólisis enzimática de lactosa empleando enzima β – galactosidasa

Para la parte experimental de este proyecto, se utilizó un frasco SCHOTT de 1000cc de capacidad, donde se coloca las esferas de lactasa a medio litro de suero de leche, la lactasa dentro de las esferas comienza a hidrolizar la lactosa presente en el suero, dividiéndola en glucosa y galactosa. Se trabaja en un rango de temperatura de $37^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$, para que la temperatura se mantenga constante se coloca en un baño termostático (ver figura 3A), este proceso de deslactosado dura aproximadamente 4 horas, se tomaron muestras de suero de leche cada 40 min (ver figura 3B), cada muestra es de 20cc y se las toma con una pipeta volumétrica, la primera muestra se

toma en $t=0$, considerando como $t=0$ el momento en el que se pone en contacto las esferas con el suero de leche. Cada muestra se lleva a ebullición para la inactivación de la enzima y su posterior análisis.

Figura 3. Deslactosado del suero de leche.



Fuente: Elaboración propia

A. Se observa la hidrólisis de la lactosa del suero de leche por las esferas con enzima lactasa a una temperatura constante de $30^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ en baño termostático. B. Extracción de la primera muestra del suero de leche en $t=0$.

Se realiza el deslactosado del suero de leche a través de la enzima β -galactosidasa inmovilizada bajo atrapamiento en gel esferificado por 4 horas y el deslactosado del suero a través de enzima libre durante un tiempo de 40 minutos, en las mismas condiciones de temperatura y pH, $(37 \pm 1)^{\circ}\text{C}$ y 6.5 respectivamente, para realizar el análisis comparativo.

Análisis de la concentración de lactosa en el proceso.

Para las mediciones de concentración en el proceso de deslactosado del suero de leche se emplea el equipo LactoScan de @ Milkotronic Ltd.

El LactoScan emplea la espectroscopía NIR (Near Infrared Reflection, reflexión de infrarrojo cercano), una técnica basada en la absorción de luz en la región del infrarrojo del espectro electromagnético (longitudes de onda entre 700 nm y 2500 nm).

Este dispositivo está calibrado con muestras patrón, lo que permite interpretar los datos de absorción y

correlacionarlos con las concentraciones de grasa, proteína y datos del interés de la investigación como lactosa y pH.

Para la parte experimental de este proyecto, se llevan todas las muestras extraídas cada 40min, al análisis en el LactoScan (ver figura 4) en total fueron 6 muestras de las cuales cuantificamos el contenido de lactosa obteniendo resultados rápidos y continuos para validar el procedimiento.

Figura 4. Lactoscan



Fuente: Elaboración propia

Equipo utilizado para la cuantificación de contenido de lactosa de cada muestra extraída en el proceso.

Determinación de azúcares reductores totales

Como método de análisis indirecto para contrastar la información obtenida, se emplea el análisis DNS (ácido 3,5-dinitrosalicílico), método colorimétrico ampliamente utilizado para cuantificar azúcares reductores, siendo de interés la concentración de glucosa. Este método se basa en la capacidad de los azúcares reductores para reducir el ácido 3,5-dinitrosalicílico (DNS) en presencia de calor, formando un complejo coloreado que puede ser medido por espectrofotometría. Bajo la hipótesis de un incremento de glucosa en el suero de leche conforme la enzima actúa en el tiempo durante el proceso, se asocia con un incremento en azúcares reductores que pueden

reaccionar con el reactivo DNS. Para la curva patrón se preparó una solución referencial de glucosa de concentración 0.002 (g/cc). Por dilución se obtiene soluciones de las siguientes concentraciones: 0, 0.7, 1.0, 1.5, 1.7 y 2.0 g/1000cc que se prepara en matraces aforados de 25 y 50cc (ver figura 5).

En tubos de ensayo con tapa de 10cc se adicionaron 0.5cc de cada muestra y 0.5cc del reactivo de DNS. los tubos se colocan en baño térmico a 87 °C por 5 min. Se enfrían hasta temperatura ambiente y se le añaden 5cc de agua destilada. Se agita y se realiza la lectura a 540 nm en espectrofotómetro.

Figura 5. Disoluciones para la curva patrón para la determinación de azúcares reductores totales.



Fuente: Elaboración propia

Se observa las disoluciones para la curva patrón con concentraciones de 0, 0.7, 1.0, 1.5, 1.7 y 2.0 g/1000cc de glucosa

Se realiza la curva de calibración de azúcares reductores totales a partir de soluciones de glucosa de diferentes concentraciones.

Formulación del alimento suplementario bebible

Para la composición del alimento suplementario bebible en base a suero de leche deslactosado, se realizó la siguiente formulación:

Estandarización de azúcar blanca al 8%, tomando en cuenta los sólidos totales y sabor dulce provenientes del proceso de deslactosado y el origen del suero de leche, agregado en seco de estabilizante Carboximetil Celulosa (CMC) al 0.35% para su posterior homogenización y termización a 60°C, temperatura para el añadido de 0.03% Lactato cálcico (E327) cómo regulador de acidez y posterior pasteurización

de la mezcla a 85°C por 5 minutos, finalizado por el añadido de 0.01% de esencia de vainilla y envasado. Se utiliza Carboximetil celulosa (CMC), por ser un producto inerte que no se metaboliza y esta desprovisto de toxicidad, careciendo de efectos secundarios sistémicos (e-lactancia s.f.). Y lactato cálcico, cómo regulador de acidez y fuente reconstituyente de calcio por su seguridad y su presencia en la lista de aditivos compatibles con la gestación y lactancia (WHO, 1974). Se tomó en cuenta en el etiquetado la advertencia a personas con galactosemia (MSD Manuals. s.f.).

3. RESULTADOS

Inmovilización de la β -galactosidasa por esferificación:

Se obtienen esferas uniformes y semitransparentes al gotear la mezcla de alginato y lactasa en la solución de cloruro de calcio. Las esferas mantienen su integridad estructural durante el proceso en el suero de leche. El tamaño promedio de las esferas es de 3 mm de diámetro, lo que influye en la tasa de reacción enzimática.

Análisis de la concentración de lactosa

La lectura del equipo LactoScan genera los datos mostrados en las siguientes tablas de concentración de lactosa (datos por duplicado):

Enzima inmovilizada

Tabla 1. Concentración de lactosa vs tiempo (Enzima inmovilizada)

Tiempo [min]	Conc. Lactosa [%]		
	C1	C2	Conc. promedio
0	3,43	3,43	3,43
40	2,73	2,72	2,73
80	2,61	2,6	2,60
120	2,32	2,32	2,32
160	2,32	2,31	2,32
200	2,2	2,2	2,20
240	2,18	2,17	2,18

Fuente: Elaboración propia

Las muestras tomadas cada 40 minutos mostraron una disminución de la concentración de lactosa en el sustrato con enzimas inmovilizadas, desde un 3.43% hasta un 2.18%.

Enzima móvil

Tabla 2: Concentración de lactosa vs tiempo, (Enzima móvil)

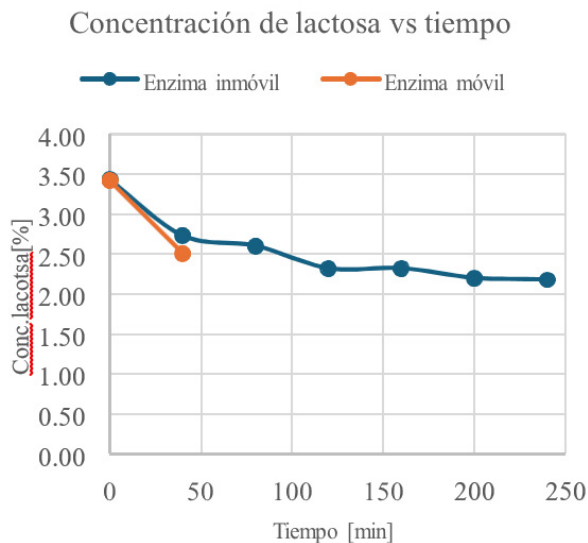
Tiempo [min]	Conc. Lactosa [%]		
	C1	C2	Conc. promedio
0	3,42	3,43	3,42
40	2,52	2,51	2,51

Fuente: Elaboración propia

La muestra de suero tratada con enzima móvil mostró una disminución en la concentración de lactosa desde un

3.42% hasta un 2.51% en un tiempo de 40 minutos.

Gráfica 1. Concentración de lactosa vs tiempo



Fuente: Elaboración propia

En la Gráfica 1 se observa una pendiente mayor en la muestra con enzima móvil lo que indica que la reacción de hidrólisis enzimática es llevada a cabo a mayor velocidad.

Determinación de azúcares reductores totales

Se realiza la curva de calibración de azúcares reductores totales a partir de soluciones de glucosa de diferentes concentraciones. Se desarrolla la reacción con el reactivo DNS. La presencia de azúcares reductores se puede evidenciar por el cambio de color de amarillo a naranja.

En la siguiente tabla se muestra las cantidades agregadas de soluciones de glucosa, reactivo y agua destilada para cada muestra:

Tabla 3: Preparación de soluciones para el método DNS

Reactivo	Concentración (g/1000cc)					
	0	0,7	1,0	1,5	1,7	2,0
Glucosa (cc)	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
Reactivo DNS (cc)	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
Agua destilada (cc)	5	5	5	5	5	5

Fuente: Elaboración propia

Para cada concentración se realiza la medición de la absorbancia a una $\lambda=540$ nm (Gráfica 2) por duplicado. Se obtiene la recta de calibración detallada en la Tabla 4:

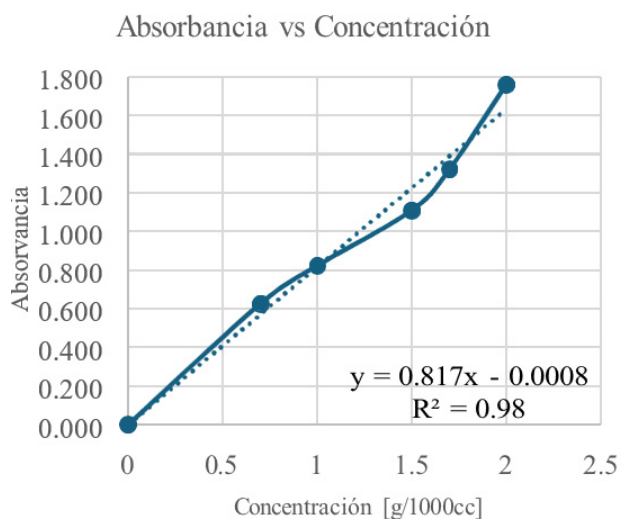
Tabla 4. Mediciones de Absorbancia de diferentes soluciones de glucosa

Concentración [g/1000cc]	A1	A2	A
0	0,000	0,000	0,000
0,7	0,627	0,625	0,626
1	0,821	0,827	0,822
1,5	1,109	1,107	1,108
1,7	1,317	1,321	1,319
2	1,755	1,758	1,757

Fuente: Elaboración propia

Los datos obtenidos para la curva de calibración muestran un buen ajuste lineal tal cual se observa en el gráfico 2 donde se observa un coeficiente de correlación $R = 0.9899$, indicador de un buen ajuste de datos.

Gráfico 2: Concentración vs Absorbancia (Método DNS)



Fuente: Elaboración propia

El ajuste de datos genera la siguiente ecuación:

$$A = 0.8169 \cdot C - 0.0007 \quad (1)$$

Donde:

A: Absorbancia

C: Concentración [g/1000cc]

Para la determinación de concentraciones se realiza el despeje de la variable C

(Concentración):

$$C = \frac{A + 0.0007}{0.8169} \quad (2)$$

Con la ecuación 2 se realiza la determinación de concentración de azúcares reductores para las muestras tomadas a diferentes tiempos:

Enzima inmovilizada

Tabla 5. Concentración de azúcares reductores totales vs tiempo (Enzima inmovilizada)

Enzima inmóvil				
t [min]	A1	A2	A	Conc. (g/1000cc)
Blanco	0,000	0,000	0,000	0,001
0	1,428	1,426	1,427	1,748
40	1,605	1,599	1,602	1,962
80	1,657	1,664	1,661	2,034
120	1,700	1,699	1,700	2,081
160	1,757	1,759	1,758	2,153
200	1,786	1,789	1,788	2,189
240	1,839	1,845	1,842	2,260

Fuente: Elaboración propia

Enzima móvil

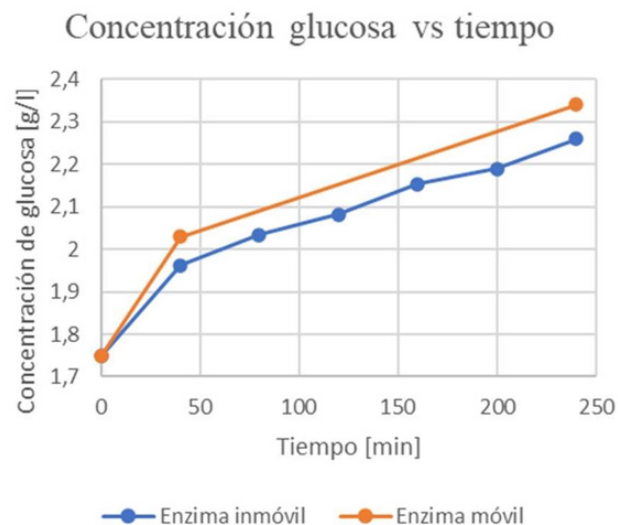
Tabla 6. Concentración de azúcares reductores totales vs tiempo (Enzima móvil)

Enzima móvil				
t [min]	A1	A2	A	Conc. (g/l)
Blanco	0,000	0,000	0,000	0,001
0	1,43	1,43	1,43	1,748
40	1,66	1,66	1,66	2,03
240	1,90	1,94	1,92	2,34

Fuente: Elaboración propia

- ALTERNATIVA PARA EL APROVECHAMIENTO DE LACTOSUERO: PROCESO DE DESLACTOSADO DE SUERO DE LECHE A TRAVÉS DEL ENCAPSULAMIENTO DE β -GALACTOSIDASA

Gráfico 3. Concentración de azúcares reductores totales vs tiempo



Fuente: Elaboración propia

Caracterización fisicoquímica y valor nutricional del producto final.

Inicialmente se realizó un estudio de la condición inicial que presenta el suero de leche deslactosado detallado en la tabla 7.

Tabla 7: Caracterización fisicoquímica de suero de leche deslactosado.

Lactosuero dulce fluido	
Parámetro	Resultado de análisis
°Brix	6.47
pH	6.66
Acidez (% ácido láctico)	0.10

Fuente: Elaboración propia

Posteriormente se revisó los valores nutricionales del suero dulce, el cual se detalla en la tabla 8

Tabla 8: Valores de macronutrientes del producto final basado en cálculos teóricos.

Información Nutricional		
Porciones por envase	2	
Tamaño de porción	246 g (236.58cc)	
Por porción Calorías	141 KCal	% Valores diarios
Grasas totales	0.74 g	1.06 %
Sodio	98.4 mg	4.28 %
Total Carbohidratos	31.49 g	34.99 %
Lactosa	0.57 g	0.232 %
Proteínas	2.09 g	4.18 %
Calcio	129.86 mg	12.99%
*Porcentajes valorados en una dieta de 2000 Kcal diarias		

Fuente: U.S. Department of Agriculture s.f.

En base a la Tabla 8 se tiene una base de la composición nutricional de la materia prima que resultaría el suero de leche deslactosado.

Para la composición del alimento suplementario bebible en base a suero de leche deslactosado, se plantea realizar la incorporación en la formulación de Lactato cálcico (E327) como regulador de acidez y fuente reconstituyente de calcio por su seguridad y su presencia en la lista de aditivos compatibles con la gestación y lactancia por su seguridad y su presencia en la lista de aditivos compatibles con la gestación y lactancia.

Se debe tomar en cuenta en el etiquetado la advertencia a personas con galactosemia.

4. DISCUSIÓN

Inmovilización de la β -galactosidasa por esferificación:

La esferificación de la lactasa con alginato de sodio en cloruro de calcio permite encapsular eficientemente la enzima para el proceso de deslactosado del suero de leche. Las esferas formadas mantienen su integridad ya que se puede observar con los resultados obtenidos que el porcentaje de lactosa disminuye y que el método es adecuado para este tipo de procesos.

La aplicación de la enzima inmovilizada de lactasa en el deslactosado del suero de leche ha demostrado ser eficaz para reducir el contenido de lactosa, evidenciado por un descenso en la concentración de la misma y un aumento significativo en la concentración de azúcares reductores (glucosa, galactosa).

Hidrólisis enzimática de lactosa por β galactosidasa.

El seguimiento de las condiciones adecuadas para el desarrollo de la enzima proveniente de la cepa *Kluyveromyces fragilis*, tanto en temperatura (37 ± 1) °C y pH se realizó con éxito durante el proceso de hidrólisis enzimática.

El suero dulce atemperado resultó un medio adecuado para el trabajo de la enzima.

Sobre la encapsulación enzimática, la técnica de inmovilización de β -galactosidasa en esferas de alginato de sodio permitió mantener la actividad enzimática durante el proceso de deslactosado. Este método mejora la estabilidad de la misma y permite un uso prolongado, reduciendo costos y aumentando la eficiencia en comparación con el uso de enzimas libres.

Análisis de la concentración de lactosa

La reducción en la concentración a través del tiempo tanto para la enzima inmóvil como la enzima móvil refleja una actividad enzimática efectiva a lo largo del tiempo, lo que indica que las enzimas lograron degradar la lactosa presente en el sustrato.

Es importante destacar que la caída en la concentración de lactosa fue del 36.44% durante el periodo de muestreo en lo que lleva a la enzima inmovilizada, lo que indica una conversión significativa de sustrato. Si bien no se tienen muchos datos para la enzima móvil se observa en primera instancia una velocidad de reacción mayor a la presentada con la enzima inmovilizada, esto debido a una mayor superficie de contacto por parte de la enzima.

Aplicado a la metodología de análisis, el uso del LactScan para medir la concentración de lactosa mediante espectroscopía NIR demostró ser una herramienta eficiente para monitorear y validar el proceso de deslactosado. La integración de tecnologías como esta mejora el control de calidad y la precisión en la medición de componentes lácteos.

Determinación de azúcares reductores totales

Se puede observar con este método indirecto que el incremento de la concentración de glucosa va ascendiendo con el tiempo, tanto con la enzima móvil y con la enzima inmóvil, este es un indicador de que la lactosa que contiene el suero de leche se está convirtiendo en glucosa y galactosa, por consiguiente se está deslactosando, si bien la enzima móvil tiene como resultado una concentración de glucosa más alta no debemos dejar a un lado, que la enzima inmovilizada también tiene un incremento en concentración de glucosa, la diferencia se debe al encapsulamiento, el lado positivo de la inmovilización es que la enzima inmovilizada se puede reutilizar para posteriores ciclos de deslactosado.

Análisis del alcance de la experimentación.

Abocado a resultados del proceso de deslactosado, el tratamiento enzimático redujo la concentración de lactosa en el suero, lo que lo hace apto para personas con intolerancia a este disacárido. Se alcanzó una reducción de lactosa del 36.44% en 4 horas, lo que muestra un progreso efectivo en el mecanismo de deslactosado.

Acerca del aprovechamiento del lactosuero, el estudio destaca la posibilidad de transformar el lactosuero, un producto residual considerado contaminante, en materia prima de alto valor agregado, contribuyendo a la sostenibilidad. Mediante el proceso de deslactosado, se genera un suplemento alimenticio rico en galactosa, ideal para el desarrollo fetal.

Referente al impacto en la innovación en alimentos, el producto final, rico en galactosa y con bajo contenido de lactosa, es particularmente beneficioso para mujeres gestantes, ya que la producción de galacto-oligosacáridos (GOS), juega un papel crucial en el desarrollo del sistema nervioso central y la formación de estructuras cerebrales. En conjunto, este estudio ofrece una innovación tecnológica y sostenible en la industria láctea, transformando desechos industriales en productos valiosos para la salud humana.

Para concluir, se determina que la β -galactosidasa inmovilizada se utiliza con éxito en el proceso de deslactosado del suero de leche para disminuir la cantidad de lactosa e incrementar la concentración de galactosa biodisponible. Este método no solo se beneficia de un residuo industrial, transformándolo en un componente para un suplemento alimenticio, sino que también propone una opción sostenible y asequible en contraposición al empleo de enzimas libres. El producto final es apropiado para mujeres embarazadas que presentan intolerancia a la lactosa y el procedimiento refleja innovación en el sector de la alimentación

5. BIBLIOGRAFÍA

- Amador, A., Arredondo, J., & Jimenez. (2020). Estandarización de una bebida deslactosada a base de suero dulce de leche saborizado. DOI: 10.23850/26652447/5/1/2768.
- Araujo Guerra, [iniciales], & Monsalve Castro, [iniciales]. Aprovechamiento del lactosuero como fuente de energía nutricional para minimizar el problema de contaminación ambiental. Universidad Nacional Abierta y a Distancia.
- Bennacef, C., Desobry-Banon, S., Probst, L., & Desobry, S. Advances on alginate use for spherification to encapsulate biomolecules.
- e-lactancia. (n.d.). Fecha de consulta, [fecha de acceso], de <https://www.e-lactancia.org/breastfeeding/carboxymethylcellulose/synonym/>.
- Hurlimann, E. T. (2006). Galactose metabolism and its role in health and disease. *Journal of Biochemistry and Molecular Biology*.
- Ibrahim, A., Babiker, E. E., Yousif, N. E., & Eltinay, A. H. (2005). Functional properties of whey protein hydrolysate and its effect on pasta quality. *Food Chemistry*, 89(4), 559-566.
- Juarez Mamani, R. (2011). Hidrólisis enzimática de la lactosa del suero en polvo. Proyecto de grado Licenciatura. Química Industrial. UMSA. La Paz, Bolivia.
- Liu, X. D., Yu, W. Y., Zhang, Y., Xue, W. M., Yu, W. T., Xiong, Y., et al. (2002). Characterization of structure and diffusion behaviour of Ca-alginate beads prepared with external or internal calcium sources. *Journal of Microencapsulation*, 19(6), 775-782. <https://doi.org/10.1080/026520402100022743>.
- Ministerio de Salud. (2017). Serie: Documentos Técnico Normativos ESTADO PLURINACIONAL DE BOLIVIA. Fecha de consulta, [fecha de acceso], de <https://sedespotosi.com/storage/leyes/MANUAL%20DE%20ANTROPOMETRIA.pdf>.
- MSD Manuals. (s.f.), de <https://www.msdmanuals.com/es/professional/pediatría/trastornos-hereditarios-delmetabolismo/galactosemia>.

- Panesar, P. S., Kumari, S., & Panesar, R. (2010). Properties of the β -galactosidase from *Kluyveromyces lactis*. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 90(10), 1623-1634. <https://doi.org/10.1002/jsfa.4000>.
- Panis, B., Vos, E. N., Barić, I., Bosch, A. M., Brouwers, M. C., Burlina, A., ... & Rubio-Gozalbo, M. E. (2024). Brain function in classic galactosemia, a galactosemia network (GalNet) members review. *Frontiers in genetics*, 15, 1355962.
- Poveda, E., & Elpidia. (2013). Suero lácteo, generalidades y potencial uso como fuente de calcio de alta biodisponibilidad. *Revista chilena de nutrición*, 40(4), 397-403. <https://dx.doi.org/10.4067/S071775182013000400011>.
- PRO - Bolivia. (2024, enero 12). Producción de leche en Bolivia. Fecha de consulta, [fecha de acceso], de <https://www.probolivia.gob.bo/2024/01/12/produccion-de-leche-llego-a-mas-de-557-millones-de-litros-en-lagession-2023/>.
- Radin, N. S. (1970). Cerebrosides and Sulfatides. En: Lajtha, A. (eds) *Metabolic Reactions in the Nervous System*. Springer, Boston, MA. https://doi.org/10.1007/978-1-4615-7160-5_13.
- U.S. Department of Agriculture s.f. Whey, Sweet, fluid. de <https://fdc.nal.usda.gov/fdcapp.html#/fooddetails/171282/nutrients>.
- Veisseyre, R. (1988). *Lactología Técnica*. Cap.XVII. 2da. Edición. Editorial Acribia. Zaragoza, España.
- WHO. (1974). Evaluation of certain food additives, 18th Reporte WHO/FAO Comité experto en aditivos alimentarios.
- Zall, R. (1984). Trends in whey fractionation and utilization, a global perspective. *J Dairy Sci*, 67(11), 2621-2629.

YOGURT ENRIQUECIDO CON CALCIO DE LA CÁSCARA DE HUEVO Y SABORIZADO CON ALGARROBINA Y EXTRACTO DE DURAZNO DESHIDRATADO.

YOGURT ENRICHED WITH CALCIUM FROM EGGSHELL AND FLAVORFUL
WITH ALGARROBINA AND DEHYDRATED PEACH EXTRACT.

Fecha de recepción: 09/12/2024 | Fecha de aceptación: 21/01/2025

Autores:

Pérez Gonzalo¹, Guzmán Jhordana²

Duran Kevin³, Flores Juan⁴

^{1,2,3 y 4} Docentes, Universidad Mayor, Real y Pontificia de San Francisco Xavier de Chuquisaca,
Facultad de Ciencias y Tecnología, Carreras de Ingeniería de Alimentos e Ingeniería Química.

Correspondencia del autor: perez.gonzalo@usfx.bo¹

Sucre - Bolivia

RESUMEN

En Chuquisaca y en el resto de Bolivia se cuenta con materias primas como las vainas de algarrobo (*Prosopis pallida*), durazno deshidratado conocido como mocochinchi y cáscaras de huevo de gallina. Se han obtenido micropolvos de cascara de huevo que contienen principalmente carbonato de calcio, se obtuvo citrato de calcio a partir de los micropolvos y ácido cítrico al 5%, también se ha obtenido algarrobina a partir de la vainas de algarrobo y extracto de durazno deshidratado, con concentraciones cercanas a los 70 °Brix. con los cuales se ha fortificado y saboreizado el yogurt de leche de vaca, se utilizaron diferentes tipos de cultivo para el yogurt, se realizó el análisis sensorial, evaluación del pH y la viscosidad. Se determinó la cantidad adecuada de adición de micropolvos, citrato de calcio, el momento de adición y temperatura adecuada para evitar la formación de sedimentos en el yogurt (adición después de la incubación a 45 °C, a 250 rpm). Se probó con 2, 3, 4% de adición de algarrobina y extracto de mocochinchi. En el caso de la algarrobina el yogurt más aceptado fue de 2% y en el caso del extracto de mocochinchi fue de 4%. El yogurt fortificado este libre microorganismo patógenos y contiene además el doble de calcio respecto a un yogurt normal y ha recibido una calificación de "me gusta" en los atributos de olor, sabor, textura y apariencia.

ABSTRACT

In Chuquisaca and the rest of Bolivia, raw materials such as carob pods (*Prosopis pallida*), dehydrated peach known as mocochinchi and chicken eggshells are available. Eggshell micropowders containing mainly calcium carbonate have been obtained, calcium citrate was obtained from the micropowders and 5% citric acid, algarrobine has also been obtained from carob pods and dehydrated peach extract, with concentrations close to 70 °Brix, with which cow's milk yogurt has been fortified and flavored, different types of culture for yogurt were used, sensory analysis was performed, pH and viscosity evaluation. The appropriate amount of micropowders and calcium citrate to be added was determined, the time of addition and the appropriate temperature to avoid the formation of sediments in the yogurt (addition after incubation at 45 °C, at 250 rpm). It was tested with 2, 3, 4% addition of algarrobine and mocochinchi extract. In the case of algarrobine, the most accepted yogurt was 2% and in the case of mocochinchi extract it was 4%. The fortified yogurt is free of pathogenic microorganisms and also contains twice as much calcium compared to a normal yogurt and has received a "like" rating in the attributes of smell, flavor, texture and appearance.

Palabras Clave: Calcio, cascara de huevo, alimento funcional, algarrobo, durazno deshidratado

Keywords: Calcium, eggshell, functional food, carob, dehydrated peach.

1. ANTECEDENTES

En Bolivia por lo general las cáscaras de huevo de gallina son desechadas a la basura y no se obtiene ningún beneficio de las mismas. Estas son una fuente importante de carbonato de calcio que puede ser utilizado para la fortificación de alimentos. Un alimento funcional es aquel que proporciona un beneficio para la salud superior al que aportan los nutrientes tradicionales que contenga (J & Bibiloni, 2016).

El calcio es un mineral indispensable para varios procesos del organismo como la formación de los huesos, dientes, contracción muscular y funcionamiento del sistema nervioso, también ayuda en la coagulación de sangre y en la actividad de algunas enzimas (Gonzales, 2017). El consumo en niveles bajos de calcio debilita los huesos y dientes. En el caso de niños, el crecimiento se atrasa y la forma de los huesos se ve afectada por que éstos se vuelven más blandos. En personas adultas, sobre todo en mujeres, el consumo de calcio es importante para evitar que los huesos se vuelvan porosos y quebradizos (Gonzales, 2017). La cantidad diaria de calcio requerida en niños de 1 a 13 años varía de 700 a 1300 mg, en adolescentes 1300 mg, en adultos, personas de la tercera edad entre 1000 y 1200 mg y mujeres embarazadas y en periodo de lactancia entre 100 y 1300 mg (National Institutes of Health, 2016).

Por otra parte, la cáscara de huevo es una biocerámica compuesta de una fase orgánica y otra inorgánica. Compuesta por 1,6% de agua, 95,1 % de minerales, de los cuales 93,6% corresponden a carbonato de calcio en forma de calcita, 0,8% de carbonato de magnesio y 0,73% de fosfato tricálcico, y finalmente 3,3% de materia orgánica (Fernández y Arias, 2000).

Según estudios realizados se conoce que el citrato de calcio es mejor absorbido que el carbonato de calcio logrando un incremento superior de calcio. Se realizó comparaciones con el consumo de 500 mg de citrato de calcio y 1000 mg de carbonato de calcio,

sin embargo, ninguna de las diferencias en las respuestas entre las dos sales cálcicas resultó significativas. El estudio demostró que el citrato de calcio resulta efectivo a la mitad de la dosis del carbonato de calcio (Tondapu et al., 2018).

El algarrobo es un recurso natural nativo conocido también como huaranca, thacco, mesquite, se conocen cerca de 44 especies, se la puede encontrar en Norte América, el Caribe, Sud América, África y el Sur de Asia. Los pueblos indígenas la han utilizado para su alimentación, mucho antes de la colonización (Felker. T. 2013). El algarrobo requiere poco consumo de agua y puede ser cultivado en zonas áridas y secas (Rosa et al., 2006).

En Bolivia se han identificado 15 especies de algarrobo las que se encuentran distribuidas en una parte de la Región Andina y gran parte de la Región Chaqueña en los departamentos de Tarija, Chuquisaca, Potosí, Cochabamba y Santa Cruz (Antezana, A. 2000). En cercanías de la ciudad de Sucre se encuentran dos especies el algarrobo negro (*Prosopis nigra*) y el algarrobo blanco (*Prosopis alba*). Se han realizado estudios de la morfología y composición de las vainas de algarrobo, llegándose a determinar las cantidades de azúcares, proteínas y fibra en el endocarpio, mesocarpio y semilla de la vaina de algarrobo, obteniéndose valores promedio en el total de la vaina de 10 % a 17% de proteína y azúcares de 10% a 40% y la presencia de calcio, fósforo, hierro y magnesio (Felker. T. 2013). En las Jornadas Y Exposición Científica Versión III se ha realizado la obtención algarrobina determinándose las condiciones adecuadas para su elaboración como: tamaño de partícula, relación solvente-sólido, temperatura de extracción, concentración del producto y rendimiento (Mamani et al., 2017).

En Chuquisaca y en el resto de Bolivia se cuenta también con otra materia prima como el mocochinchi (Durazno deshidratado) que requiere ser estudiado para el desarrollo y evaluación de alimentos funcionales. El Mocochinchi es utilizado en la elaboración

del refresco, producto tradicional de sabor y olor agradable que se elabora en la ciudad de Sucre y en el resto de Bolivia. Se ha mejorado el proceso de elaboración aumentando el rendimiento y las propiedades organolépticas del jugo concentrado mediante la recuperación de los vapores ricos en aroma para el enriquecer el jugo concentrado. (Pérez, 2009).

El consumo mayor a 1.5 µg por día de saborizantes y colorantes artificiales puede dar lugar al riesgo calculado de cáncer de uno en un millón, cuando no se dispone de datos de toxicidad apropiados (Renwick, 2004). En esta investigación se ha desarrollado un yogurt enriquecido con cascara de huevo, algarrobina y jugo concentrado de mocochinchi. También se ha utilizado dos tipos de cultivos para yogurt.

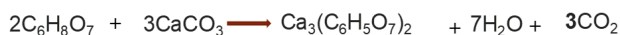
2. MATERIALES Y METODOS

Obtención de micropolvos de cascara de huevo de gallina.

Para la obtención de micropolvos se ha seguido el procedimiento descrito en (Pérez et al., 2018). Donde se han utilizado un molino de discos y un molino de bolas, secador de bandejas marca Mareno, un juego de tamices a escala micrométrica, balanza, refractómetro, termómetros, equipo multiparámetro marca Delta para humedad y velocidad del aire.

Preparación del Citrato de calcio

Se utilizaron micro polvos de cascara de huevo y solución de ácido cítrico al 5%, que fue preparada a partir de ácido cítrico en polvo adquirido de la distribuidora Maprial SRL. Se pesaron 15.4 g de micropolvos y colocaron en un vaso de precipitado seguidamente se añadió 250 ml de ácido cítrico al 5%, y se dejó reaccionar por 24 horas, finalmente el citrato de calcio se trituro en un mortero.



Obtención de algarrobina y jugo concentrado de mocochinchi.

Para la obtención de algarrobina a partir de vainas de algarrobo se siguió el proceso planteado por (Mamani et al., 2017), las vainas fueron recolectadas de la localidad de Yotala a 15 km de la ciudad de Sucre. Para el jugo concentrado de mocochinchi se siguió el proceso desarrollado por (Urioste et al., 2017). El mocochinchi fue adquirido en el mercado Campesino de la Ciudad de Sucre.

Elaboración del Yogurt Enriquecido

Se ha seguido el proceso tradicional de elaboración de yogurt, para las pruebas se han utilizado muestras de 450 ml de leche de vaca entera de la empresa PIL Andina, a la que se adicionó 45 g de azúcar de la empresa Bermejo, posteriormente se adicionaron 2%, 3% y 4% de algarrobina y extracto de mocochinchi, luego la leche se calentó a 80°C por un tiempo de 2.5 min, posteriormente se la enfrió hasta 45°C. Para la inoculación se utilizaron dos tipos de cultivos. 1) Termófilo Lyofast Y 450 B de la línea SACCO (*Streptococcus Thermophilus* y *Lactobacillus delbrueckii ssp bulgaricus*.) y 2) Probiótico ABT-1 de la línea CHR HANSEN (*Streptococcus Thermophilus*, *Lactobacillus delbrueckii ssp bulgaricus*, cepas probióticas de *Bifidobacterium spp.* y *Lactobacillus acidophilus*).

El tiempo de incubación fue de 5 horas a una temperatura de 45°C utilizando un baño María marca selecta. Una vez obtenido el yogurt se adicionaron los micropolvos (Principalmente carbonato de calcio) y el citrato de calcio en cantidades de 0.77 y 1.54g (Mohammad, Kyung-Hoon, & Hae-Soo, 2014). Para evitar la formación de sedimento se estudiaron el efecto de la velocidad y tiempo de agitación (150 rpm por un tiempo de 30 y 40 segundos) y temperatura de adición (45 y 10oC), después de la incubación.

ph

Se ha empleado un medidor de pH de marca LAQUA (HORIBA Scientific) debidamente calibrado las mediciones se realizaron a una temperatura de 18±2 °C.

Viscosidad

Para determinar la viscosidad del yogurt se utilizó un viscosímetro marca Brookfield modelo PVS Rheometer. Las pruebas se realizaron en un rango de temperatura de 6 a 8 °C a una velocidad de 35 revoluciones por minuto.

Contenido de calcio

Utilizando el espectrofotómetro de fluorescencia portátil marca Elvax industria ucraniana se analizó el contenido de calcio en los micropolvos y yogurt.

Evaluación sensorial

En el análisis sensorial se calificaron el sabor, olor, textura y apariencia. Utilizándose una escala hedónica de 1 a 9 y 20 panelistas no entrenados, consumidores habituales de yogurt.

Tabla 1: Escala hedónica de análisis sensorial de yogurt

Valor	Muestra grado de Aceptabilidad
9	Me gusta muchísimo
8	Me gusta mucho
7	Me gusta poco
6	Me gusta moderadamente
5	No me gusta ni me disgusta
4	Me disgusta moderadamente
3	Me disgusta poco
2	Me disgusta mucho
1	Me disgusta muchísimo

Fuente: Elaboración propia

3. RESULTADOS

Micropolvos de cáscara de huevo de gallina

A partir de 1000 g de cascara de huevo de gallina, se obtuvieron 285 g de micropolvos (principalmente carbonato de calcio) con un tamaño de partícula de menor o igual 60 µm, mediante el espectrofotómetro de fluorescencia se determinó que la concentración de calcio en los micropolvos es del 70%. El análisis microbiológico realizado en el Instituto de Tecnología de Alimentos (ITA), Sucre. reporto la ausencia de salmonella. Estos resultados son consistentes con los obtenidos por (Pérez et al., 2018).

Evaluación sensorial

Para garantizar el grado de aceptación del yogurt fortificado, se realizó el análisis sensorial calificándose: Sabor, olor, textura y apariencia. La prueba de análisis sensorial se realizó en tres momentos: la primera comparando la adición de micropolvos (Carbonato de calcio) y citrato de calcio, la segunda evaluando los dos tipos de cultivo de yogurt termófilo Lyofast Y 450 B y Probiótico ABT-1 , el tercero para determinar la cantidad de algarrobina y extracto de mocochinchi.

Adición micropolvos de cascara de huevo y citrato de calcio.

Se estudió la etapa de adición de micropolvos y citrato de calcio al yogurt, como se muestra en la tabla 2, realizando una comparación al agregar inmediatamente después de la incubación y después de un tiempo de refrigeración aproximadamente 15 horas. Del cual se determinó que la etapa de adición optima es después de la incubación a 45 o C, facilitando la dispersión y mezcla de las micropartículas, la cantidad de adición de las sales de 1.54 g por 450 ml de yogurt no presento sedimento tampoco mal aspecto, el análisis sensorial determino que el yogurt fortificado con citrato de calcio es más aceptado en cuanto a sabor, olor, textura y apariencia. De acuerdo a (Pérez et al., 2018), la adición de micropolvos des-

pués de la incubación garantiza que no se sedimenten la micropartícula.

Tabla2: Adición de micropolvos Carbonato de calcio y citrato de calcio al yogurt

Sal	Muestra	Cantidad (g/450ml)	Tiempo de agitación (s) 150 rpm	Temperatura °C
Carbonato de Calcio	1	0.77	20	45
	2	0.77	30	5
	3	1.54	20	45
	4	1.54	30	5
Citrato de calcio	5	0.77	20	45
	6	0.77	30	5
	7	1.54	20	45
	8	1.54	30	5

Fuente: Elaboración propia

Adición de algarrobina y extracto de mocochinchi.

Tal como se observa en la tabla 3, el yogurt fue sabORIZADO con algarrobina y extracto de mocochinchi en cantidades de 2, 3, 4% para cada 450 ml de yogurt. En cuanto se refiere a la etapa de adición, se la realizó antes de la pasteurización del yogurt. Luego se procedió a realizar una prueba de análisis sensorial en el atributo sabor. Para el caso de la algarrobina el más aceptable fue de 2%. y para el extracto de mocochinchi el más aceptado es el de 4%. Los resultados de la encuesta se muestran en la figura 1.

Tabla 3. Adición de algarrobina y extracto de mocochinchi al yogurt

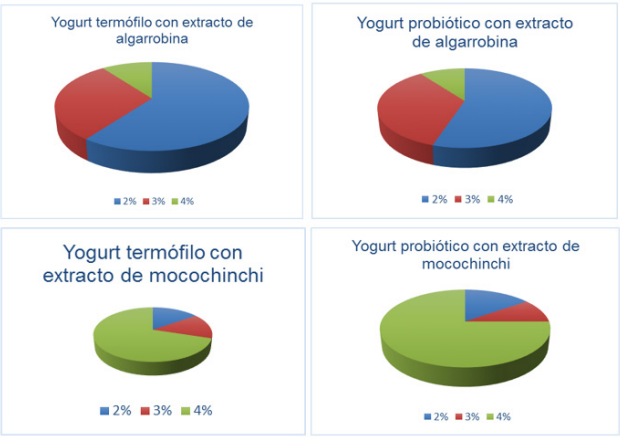
Muestra	Tipo de cultivo	Extracto	% de extracto
1	Termófilo	Algarrobina	2
2	Termófilo		3
3	Termófilo		4
4	Probiótico		2
5	Probiótico		3
6	Probiótico		4
7	Termófilo	Mocochinchi	2
8	Termófilo		3
9	Termófilo		4
10	Probiótico		2
11	Probiótico		3
12	Probiótico		4

Fuente: Elaboración propia

Comparación de cultivos Lyofast Y 450 B y Probiótico ABT-1

En la elaboración de yogurt se probó dos alternativas de cultivo para yogurt: Termófilo Lyofast Y 450 B y Probiótico ABT-1. La diferencia observada fue el tiempo de incubación, el yogurt con cultivo Termofilo Lyofast Y 450B alcanza el ph y viscosidad adecuada en 4.5 h, mientras que el yogurt Probiótico ABT-1, lo hace 5.5 h. Se realizó el análisis sensorial respectivo con ambos cultivos y los dos tienen buena aceptación.

Figura 1. Yogurt saborizado con algarrobina y extracto de mocochinchi



Fuente: Elaboración propia

El pH y viscosidad en el yogurt fortificado con citrato de calcio y saborizado con algarrobina y extracto de mocochinchi.

De acuerdo a los resultados reportados en la tabla 3, se puede observar que al añadir el citrato de calcio aumenta el pH del yogurt disminuyendo su acidez. Y la viscosidad del yogurt con el cultivo termofilo es mayor a la del probiotico. Los yogures saborizados con algarrobina presentan mayor cantidad de calcio debido a que la algarrobina contiene calcio.

Tabla 4. pH, Viscosidad, y Ca en el yogurt fortificado con citrato de calcio y saborizado con algarrobina y extracto de mocochinchi.

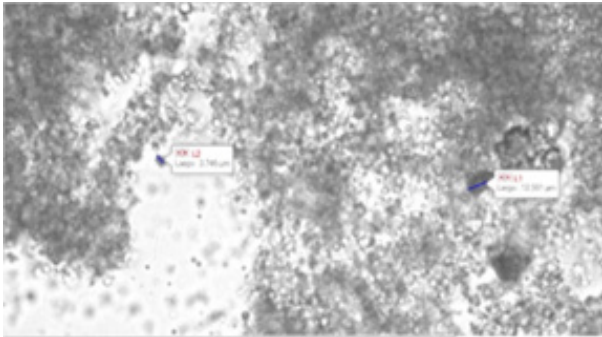
Tipo de yogurt	pH	pH con adición de citrato de Ca	Viscosidad (cp)	Ca (ppm)
Termófilo-algarrobina	4.53	5.02	126.67	1820
Probiótico-Algarrobina	4.65	5.25	137.13	1667
Termófilo-Mocochinchi	4.38	4.88	147.27	1647
Probiótico-Mocochinchi	4.90	5.37	116.33	1560

Fuente: Elaboración propia

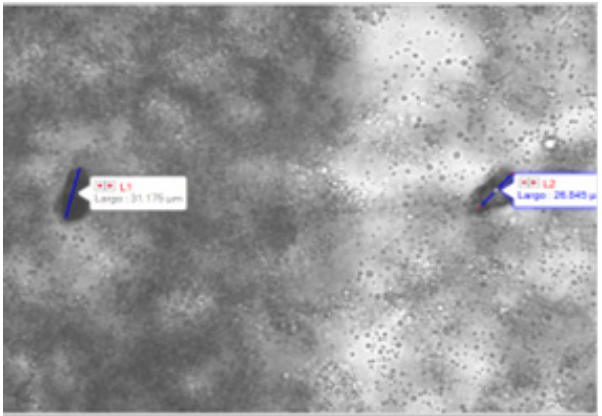
Caracterización microscópica del yogurt fortificado

La caracterización del yogurt se realizó con el microscopio electrónico trinocular marca Moti. Los tamaños de partículas observado en el yogurt con adición de citrato de calcio son menores de 13 μm en cambio con micropolvos son menores de 32 μm como se puede observar en la figura 2.

Figura 2. – Tamaño de partícula de citrato de calcio y carbonato de calcio



Tamaño microscópico del yogurt con citrato de calcio



Tamaño microscópico del yogurt con micropolvos (carbonato de calcio)

Fuente: Elaboración propia

4. DISCUSIÓN

Ha sido posible obtener un yogurt fortificado con calcio a partir de cascaras de huevo, mediante la adición de micropolvos de carbonato de calcio y citrato de calcio, saborizado con algarrobina y extracto de mocochinchi. (Mohamed et al., 2014) reportaron que la adición de micropolvos de cascara de huevo incre-

mentan la densidad ósea, siendo una buena alternativa para prevenir la osteoporosis.

El yogurt fortificado fue calificado mediante el análisis sensorial como "me gusta", la adición de calcio en forma de carbonato de calcio o citrato de calcio modifican el pH y la viscosidad. Existen varios estudios que concluyen que la adición de calcio al yogurt es una buena alternativa para mejorar la disponibilidad de calcio y ha evaluado propiedades como el pH y viscosidad (Santillán et al., 2019), (Szajnar et al., 2016).

Este estudio ha demostrado que es posible aprovechar las cáscaras de huevo que en Bolivia por lo general son echadas a la basura, sobre todo en los lugares de venta de comida rápida, se tienen estudios como los de (Bedoya et al., 2020), que muestran las aplicaciones de la cascara de huevo. También muestra que se puede dar mayor valor agregado al algarrobo al utilizarlo como saborizante y colorante natural, dándole al yogurt un sabor característico y sobre todo agradable. También se demostró que se puede soborizar el yogurt con extracto de mocochinchi y de esa manera tener un yogurt con el sabor propio del mocochinchi.

La investigación desarrollada se constituye en un aporte innovador para las industrias lácteas, además de ser un excelente alternativa para cubrir la deficiencia de calcio en niños y adultos.

El yogurt funcional obtenido, está libre de microorganismos patógenos y es apto para el consumo humano. Además de duplicar el contenido de calcio respecto a un yogurt normal y recibir una calificación de me gusta en los atributos de olor, sabor, textura y apariencia.

5. CONCLUSIONES

Se han definido los parámetros adecuados para el desarrollo del yogurt fortificado, que garantizan sus atributos de calidad y seguridad, como ser: cantidad

de microplastos (0.34%) en forma de carbonato de calcio y citrato de calcio, adición después de la incubación (T 45 °C), velocidad y tiempo de agitación (150 rpm y 20s), adición de saborizantes y colorantes naturales (algarrobina 2%, Mocochinchi 4%). El análisis microbiológico reportó ausencia de salmonella y microorganismos patógenos.

Con la información generada es posible producir el yogurt funcional a escala de planta piloto. Y de esta manera aprovechar las cascara de huevo de gallina y dar mayor valor al algarrobo y mocochinchi.

6. RECOMENDACIONES

Se recomienda implementar una planta piloto de yogurt fortificado con carbonato de calcio y citrato de calcio a partir de cáscara de huevo y extractos naturales de algarrobo y mocochinchi, como alternativa de alimento funcional para niños y personas adultas para cumplir con los requisitos mínimos de calcio proporcionados por la organización mundial de la salud.

7. AGRADECIMIENTOS

El presente trabajo fue realizado con la colaboración del Instituto Tecnológico de Alimentos (ITA) y la Universidad Mayor Real y Pontificia de San Francisco Xavier de Chuquisaca (Sucre, Bolivia).

8. BIBLIOGRAFÍA

- Al Mijain, M., Choi, K., & Kwak. (2014). Physico-chemical, microbial, and sensory properties of nanopowdered eggshell-supplemented yogurt during storage. American Dairy Science Association, 97: pp 3273 - 3280. Marzo 2014.
- Antezana, C., Atahuachi, M., & Fernández, E. (2000). Ecología y biogeografía del género *Prosopis* (mimosaceae) en Bolivia. Revista Boliviana de Ecología y Conservación ambiental, 8: pp 25-36.

- Bedoya, A., Valencia, M. P. (2020). Usos potenciales de la cáscara de huevo de gallina (*Gallus domesticus*): una revisión sistemática. En *Rev Colombiana Cienc Anim*, 12(2):pp776. Julio 2020.
- Bibiloni, J. T. (2016). Functional Foods. En T. J., & Bibiloni, Encyclopedia of Food and Health pp. 157-161.
- Felker, P., Takeova, G., & Dao, L. (2013). Pod Meso-carp Flour of North and South American Species of Leguminous Tree *Prosopis* (Mesquite): Composition and Food Applications. *Food Reviews International*, 29:pp 49-66.
- Gonzales, S. M. (2017). Ministerio de Salud. Recuperado el 30 de Enero de 2017, de Calcio: [tps://www.ministeriodesalud.go.cr/gestores_en_salud/guiasalimentarias/calcio.pdf](https://www.ministeriodesalud.go.cr/gestores_en_salud/guiasalimentarias/calcio.pdf).
- Mamani, C., & Colaboradores. (2017). Optimización del proceso de obtención de extracto de algarrobo y su aplicación como saborizante y colorante natural. *Jornadas y exposición científica de la USFX - Versión III*.
- Mohammad, A. M., Kyung-Hoon, C., & Hae-Soo, K. (2014). Physicochemical, microbial, and sensory properties of nanopowdered eggshell-supplemented yogurt storage. *American Dairy Science Association*, pp 3273-3280.
- Mohammad, A. M., Yun, K. L., & Hae-Soo, K. (2014). Effects of Nanopowdered Eggshell on Postmenopausal Osteoporosis: a Rat study. *Food Science and Biotechnology* 23(5):pp 1667-1676, octubre de 2014.
- Perez, G., & Urioste, A. (2017). Optimización del proceso de obtención de extracto de algarrobo y su aplicación como saborizante y colorante natural. *Jornadas y Exposición Científica de la USFX - Versión III*.
- Pérez, G., Callapa, E., & Giménez, E. (2009). Recuperación de los vapores en el proceso de elaboración del refresco de moco-chinchi para mejorar los atributos de calidad. *Ciencia, Tecnología e Innovación*, 4:pp 33- 34.
- Pérez, G., Guzmán, J., Duran, K., Ramos, J. Acha, V. (2018), Aprovechamiento de las cascaras de huevo en la fortificación de alimentos, En *Revista Ciencia, Tecnología e Innovación*. Volumen 16, Número 18:pp 29-38, Diciembre de 2018.
- Renwick, A. (2004). Toxicology databases and the concept of thresholds of toxicological concern as used by the JECFA for the safety evaluation of flavouring agents. *Toxicology*, pp 223-224.
- Rosa, B. d., & Colaboradores, y. (2006). Processing, Nutritional evaluation. and utilization of whole mesquite Flour (*prosopis laevigata*). *Journal of Food Science*, Vol. No 71, pp 4.
- Santillán E., Vélez J. (2019). Evaluación de propiedades fisicoquímicas y físicas de dos alimentos lácteos (yogur y queso) enriquecidos con nanopartículas de Ca, Fe y Zn. *Revista Colombiana de Investigaciones Agroindustriales*, 6(1), pp 52-80.
- Szajnar K., Znamirska A., Kalicka D., Zagula G. (2017). Fortification of yoghurts with calcium compounds. En *Journal of Elementology*, 22(3):pp 869-879.
- Tondapu, P., Provost, D., Adams-Huet, B., Sims, T., Chanc, C., & Sakhaee, K. (mayo de 2018). Información científica actualizada Citrato de Calcio . Obtenido de <http://summameis.com/images/productos/summaflex/evidencia-cientifica/15-CITRATO-vs-CARBONATO>.

PRUEBAS DE FORMULACIÓN DE ELECTRODOS EN BATERÍAS DE LITIO AZUFRE

ELECTRODE FORMULATION TESTS IN LITHIUM SULFUR BATTERIES

Fecha de recepción: 11/11/2024 | Fecha de aceptación: 21/01/2025

Autores:

Daroca Aparicio Adrian Waldemar¹, Alloin Fannie²

^{1y2}LEPMI (Laboratoire Electrochimie et Physicochimie des Matériaux et des Interfaces) Grenoble, Francia. 2019

Correspondencia de los autores:

Tarija - Bolivia

RESUMEN

Este artículo presenta una investigación sobre la formulación de electrodos y pruebas de baterías de litio-azufre (Li-S). El objetivo principal es mejorar el rendimiento electroquímico de estas baterías, que son una alternativa prometedora a las baterías de iones de litio debido a su mayor capacidad teórica y menor costo de producción. Se estudiaron diversos factores, como el grosor del electrodo y la composición de este, variando las proporciones de azufre, carbono y aglutinante. Además, se evaluó el uso de dos tipos de separadores (Celgard® 2400 y Viledon®) en la configuración de las celdas de monedas. Los resultados muestran que los electrodos más delgados, combinados con el uso de un aglutinante catiónico y el separador Viledon®, mejoran significativamente el rendimiento en términos de capacidad de descarga y ciclabilidad. Sin embargo, se identificaron limitaciones, como la formación de polisulfuros que afectan la eficiencia del ciclo. El estudio concluye que optimizar la formulación del electrodo y los componentes de la batería es crucial para avanzar en la comercialización de las baterías Li/S, proponiendo futuras investigaciones sobre los electrolitos y la composición del aglutinante.

ABSTRACT

This article presents research on electrode formulation and testing of lithium-sulfur (Li-S) batteries. The main objective is to improve the electrochemical performance of these batteries, which are a promising alternative to lithium-ion batteries due to their higher theoretical capacity and lower production cost. Various factors were studied, such as the thickness of the electrode and its composition, varying the proportions of sulfur, carbon and binder. Additionally, the use of two types of separators (Celgard® 2400 and Viledon®) in the coin cell configuration was evaluated. The results show that thinner electrodes, combined with the use of a cationic binder and the Viledon® separator, significantly improve performance in terms of discharge capacity and cyclability. However, limitations were identified, such as the formation of polysulfides that affect the efficiency of the cycle. The study concludes that optimizing the electrode formulation and battery components is crucial to advancing the commercialization of Li-S batteries, proposing future research on electrolytes and binder composition.

Palabras Clave: Batería litio-azufre, formulación de electrodos, ciclabilidad, capacidad de descarga.

Keywords: Lithium-sulfur battery, electrode formulation, cyclability, discharge capacity.

1. INTRODUCCIÓN

El acceso a la energía es un pilar clave para el bienestar humano, el desarrollo económico y el alivio de la pobreza. Garantizar que todos tengan suficiente acceso es un desafío continuo y apremiante para el desarrollo global².

Sin embargo, nuestros sistemas energéticos también tienen importantes impactos ambientales. Los sistemas energéticos históricos y actuales están dominados por los combustibles fósiles (carbón, petróleo y gas) que producen dióxido de carbono (CO_2) y otros gases de efecto invernadero, el motor fundamental del cambio climático global. Si queremos cumplir nuestros objetivos climáticos globales y evitar un cambio climático peligroso, el mundo necesita una transición significativa y concertada en sus fuentes de energía.

Por lo tanto, equilibrar el desafío entre desarrollo y medio ambiente nos proporciona el objetivo final de garantizar que todos tengan acceso a suficiente energía sostenible para mantener un alto nivel de vida.

La necesidad de reducir las emisiones de CO_2 también es objeto de intensos debates en términos de transporte. De hecho, se presta cada vez más atención al desarrollo de vehículos eléctricos híbridos (HEV) y/o vehículos eléctricos puros (EV). Además, la demanda cada vez mayor de utilización de fuentes de energía renovables también pone de relieve la importancia de contar con sistemas fiables de almacenamiento de energía para hacer frente a la intermitencia tanto de la producción como de la demanda. En este panorama energético, los sistemas de almacenamiento de energía electroquímicos, y más particularmente las baterías, desempeñan un papel crucial para las aplicaciones actuales y de próxima generación³.

El tipo de batería se adapta directamente a una aplicación deseada, es decir, a gran escala (como sistemas de flujo redox o Na/S) o más portátiles. Ac-

tualmente, las baterías recargables más populares son las de iones de litio (Li-ion), hidruro metálico de níquel (NiMH), plomo ácido (Pb) y níquel cadmio (Ni Cd). Sin embargo, es la tecnología Li-ion la que sin duda ha atraído la mayor atención desde 1990, cuando Sony la comercializó por primera vez. Basadas en compuestos de intercalación de Li, las celdas de iones de Li ofrecen el mejor rendimiento en términos de densidades de energía y superan a otros sistemas de baterías portátiles por un factor de 2,5 ($250 - 300 \text{ Wh kg}^{-1}$ en comparación con $\sim 100 \text{ Wh kg}^{-1}$ en (sobre todo en el caso de Ni-MH), a la vez que proporciona una potencia específica superior (hasta 300 W kg^{-1})⁴.

Es incuestionable, por tanto, que las celdas de Li-ion han revolucionado el mercado de los dispositivos portátiles, y son la batería preferida para muchos tipos de aplicaciones como portátiles, cámaras, teléfonos, entre otros dispositivos electrónicos. Sin embargo, el desarrollo de nuevos dispositivos electrónicos, así como de vehículos eléctricos (híbridos), requiere también un sistema de batería mejorado, en términos de densidad energética, durabilidad, flexibilidad, seguridad y costes. Se sabe que la tecnología de iones de litio, incluso si se considera madura, alcanza lentamente sus límites de rendimiento. Además, su alto costo sigue siendo un problema, especialmente cuando se trata de aplicaciones más grandes, como HEV o EV, que son los campos que impulsan predominantemente el desarrollo actual de baterías de alta energía. En otras palabras, los avances en el mercado de HEV y EV dependen en gran medida de las características de la batería, tanto en términos de densidad de energía (que ajusta la distancia de autonomía de conducción del automóvil) como de precio (por ejemplo, el costo de una batería en un automóvil Tesla EV representa aproximadamente $\sim 50 \text{ mil}\$$)¹.

1.1 Batería Li-Ion

Las baterías de iones de litio tienen una combinación inigualable de alta energía y densidad de potencia, lo que las convierte en la tecnología preferida para

dispositivos electrónicos portátiles, herramientas eléctricas y vehículos híbridos/completamente eléctricos. Si los vehículos eléctricos (EV) reemplazan a la mayoría de los medios de transporte impulsados por gasolina, las baterías de iones de litio reducirán significativamente las emisiones de gases de efecto invernadero. La alta eficiencia energética de las baterías de iones de litio también puede permitir su uso en diversas aplicaciones de redes eléctricas, incluida la mejora de la calidad de la energía obtenida de la energía eólica, solar, geotérmica y otras fuentes renovables, contribuyendo así a su uso más generalizado y construyendo una economía energéticamente sostenible. Por lo tanto, las baterías de iones de litio despiertan un gran interés tanto por parte de la industria como de las agencias de financiación gubernamentales, y en los últimos años ha abundado la investigación en este campo⁶.

Sin embargo, mirando hacia el futuro, hay muchos que dudan de que las baterías de iones de litio puedan satisfacer las necesidades mundiales de almacenamiento de energía portátil a largo plazo. Para algunas aplicaciones (como el transporte y la red), las baterías de iones de litio son costosas en la actualidad, y la escasez de Li y algunos de los metales de transición que se utilizan actualmente en las baterías de iones de litio puede convertirse algún día en un problema⁶. Al mismo tiempo, las baterías de iones de litio tienen ciertas ventajas fundamentales sobre otras químicas. En primer lugar, el Li tiene el potencial de reducción más bajo de cualquier elemento, lo que permite que las baterías basadas en Li tengan el potencial de celda más alto posible. Además, el Li es el tercer elemento más ligero y tiene uno de los radios iónicos más pequeños de cualquier ion con carga única. Estos factores permiten que las baterías basadas en Li tengan una alta capacidad gravimétrica y volumétrica y densidad de potencia. Finalmente, aunque los cationes multivalentes permiten una mayor capacidad de carga por ion, la carga adicional reduce significativamente su movilidad. Dado que la difusión iónica en los electrodos sólidos

es a menudo el factor limitante de la velocidad del rendimiento energético de la batería; esto presenta un enorme obstáculo para el desarrollo de este tipo de químicas alternativas.

La alta reactividad del litio crea varios desafíos en la de fabricación de celdas de batería seguras que pueden superarse mediante el uso de compuestos capaces de producir iones de litio. El electrodo de grafito se utiliza principalmente como electrodo negativo, lo que limita la capacidad de la celda⁷. Los materiales a base de silicio pueden considerarse otra alternativa prometedora al Li metálico como ánodo para baterías de iones de litio debido a su alta capacidad de almacenamiento de energía, su abundancia en la capa terrestre y su compatibilidad medioambiental. Sin embargo, la evolución de grandes volúmenes a través de la litación/deslitación conduce a una grave disminución de la capacidad de almacenamiento de energía de los electrodos y de la ciclabilidad.

Un sistema clásico de celdas de iones de litio consta de electrodos positivos y negativos, que están separados por un electrolito conductor iónicamente⁴. Los óxidos de metales de transición, o más generalmente los compuestos de óxido, se emplean a menudo como materiales activos para el electrodo positivo y el grafito para el negativo, donde se producen reacciones de intercalación de iones Li^+ durante la descarga y la carga respectivamente. Un electrolito líquido generalmente se embebe en un separador poroso, que actúa como una barrera física que evita el contacto entre los electrodos y permite el transporte de iones Li^+ . Durante la descarga, los iones Li^+ fluyen a través del electrolito desde el electrodo negativo y se intercalan en el positivo. Durante la carga, los iones se mueven en dirección opuesta, fluyendo desde el electrodo positivo e intercalándose en el electrodo negativo.

A pesar de la evolución de los sistemas de almacenamiento de energía lograda en las últimas décadas, las capacidades de las tecnologías de baterías de litio se ven constantemente desafiadas por los

modernos dispositivos portátiles multifuncionales, que exigen cada vez más prestaciones en términos de energía y densidad de potencia. Los sistemas de almacenamiento de energía no pudieron mejorar al mismo ritmo que avanza la industria electrónica. Por lo tanto, es necesario desarrollar materiales alternativos para cátodos y ánodos con mayores capacidades. Para superar las limitaciones de almacenamiento de carga de los electrodos compuestos de inserción, los materiales de conversión, que sufren reacciones electroquímicas que involucran más iones y electrones, se están convirtiendo en una opción prometedora⁸. Sin embargo, lograr el máximo rendimiento de estos materiales sigue siendo un desafío. Con esta perspectiva, se están investigando exhaustivamente dos sistemas, litio-oxígeno (Li-O_2) y litio/azufre (Li-S). Las células de Li-O_2 adolecen de muchos problemas no resueltos, y su comercialización está más bien prevista para los próximos años. Por otro lado, el sistema Li-S está mucho más cerca de ser lanzado como un producto real, y algunas nuevas empresas ya están apuntando a desarrollar prototipos de Li-S para diferentes aplicaciones.

Además, el interés industrial en el desarrollo de la tecnología Li-S ha aumentado de dos a tres empresas dedicadas a la investigación en 2007 y casi todos los desarrolladores de celdas a nivel mundial han invertido en su capacidad interna de investigación de Li-S para 2017⁵. En comparación con las tecnologías ya existentes de Li-ion , la celda de Li-S tiene una energía específica más alta, que se prevé que sea entre 2 y 3 veces mayor que los equivalentes de Li-ion de mejor rendimiento, mejorando la seguridad y un costo unitario más bajo debido a la amplia disponibilidad de azufre.

En consecuencia, el desarrollo de celdas Li-S y sus aplicaciones están recibiendo mucha atención en la investigación. La tecnología aún no se ha comercializado porque adolece de limitaciones como capacidades energéticas deficientes, alta autodescarga y ciclo de vida corto, particularmente en presencia de altas corrientes de descarga.

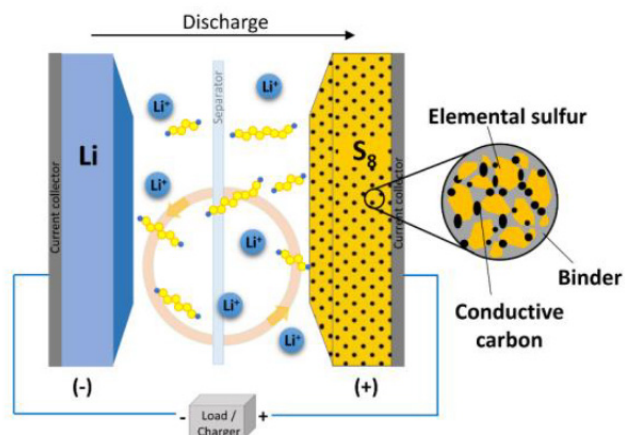
Sin embargo, existen esfuerzos para mejorar la química y la construcción de las celdas Li-S para mitigar estos problemas. Gran parte de la investigación actual sobre baterías de Li-S se refiere al desarrollo y comprensión de los materiales, la construcción y la comprensión científica fundamental del comportamiento de las celdas.

1.2 Baterías Litio Azufre (Li-S)

1.2.1 Principio y Mecanismo de Trabajo

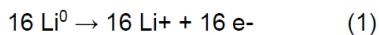
Una celda típica de Li-S está compuesta por un electrodo positivo a base de azufre y un electrodo negativo de litio metálico, ambos separados con separadores poliméricos porosos empapados con un electrolito orgánico (a menudo basado en disolventes de éter), como se ilustra en la Figura 1.1.

Figura 1.1 Diagrama esquemático de una celda Li-S

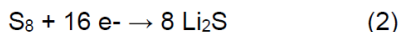


El sistema Li-S se basa en la reacción electroquímica del azufre con el litio para formar sulfuro de litio (Li_2S , producto final de la reacción). Dado que el azufre está en estado cargado (sin Li^+), el funcionamiento de la celda comienza desde la descarga, mientras que el litio metálico se oxida en el electrodo negativo y produce iones de litio y electrones. Los iones Li^+ se difunden hacia el electrodo positivo a través del separador/electrolito, mientras que los electrones pasan por un circuito eléctrico externo. La reacción de oxidación que ocurre en el electrodo negativo es

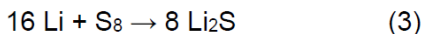
la siguiente:



En el electrodo positivo, el azufre se reduce al aceptar iones Li^+ y electrones, según la ecuación (2):



La reacción general que ocurre dentro la celda de Li-S , a un voltaje de $\sim 2,15 \text{ V}$, se describe en la ecuación (3):



Basado en el peso molecular del azufre (que es un elemento relativamente liviano en comparación con los óxidos de metales de transición utilizados para los materiales de electrodos positivos de inserción) y el hecho de que se pueden aceptar 2 electrones por cada átomo de azufre, se pueden esperar una capacidad específica teórica muy alta de 1675 mAh g^{-1} .

$$\text{Capacidad Específica} = \frac{n \times F}{M_s} \left[\frac{\text{As}}{\text{g}} \right] = \frac{1000 \times n \times F}{3600 \times M_s} \left[\frac{\text{mAh}}{\text{g}} \right] = 1675 \frac{\text{mAh}}{\text{g}} \quad (4)$$

Dónde:

n = número de electrones intercambiados = 2

F = Faraday = $96\,485 \text{ C mol}^{-1}$

M_s = masa molar de azufre = 32 g mol^{-1}

Una particularidad de este sistema reside principalmente en su mecanismo de funcionamiento, que es muy complejo. La reacción general entre el elemento azufre y el litio para formar sulfuro de litio no es una reacción de intercalación. Es bien sabido que las especies de polisulfuro (Li_2S_n , $n \geq 2$) son los productos importantes en una batería de Li-S durante la carga y descarga⁹. Las especies de polisulfuro se pueden disolver en electrolitos orgánicos, especialmente en electrolitos a base de éter. Las propiedades de los diferentes polisulfuros (su solubilidad, reactividad, color, etc.) están fuertemente relacionadas con la longitud de su cadena. Podemos distinguir los si-

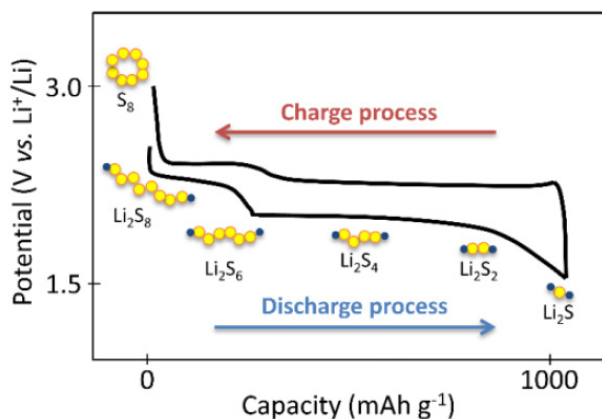
guientes grupos polisulfuros:

- Polisulfuros de "orden superior" o de "cadena larga": son las especies con la cadena más larga, es decir, Li_2S_8 , Li_2S_6 .
- El "orden medio" es principalmente Li_2S_4 , todavía relativamente fácil de solubilizar.
- Los polisulfuros de "orden bajo" o "cadena corta" son las especies: Li_2S_3 , Li_2S_2 y Li_2S .

Cuanto más corta es la cadena, menos solubles son las especies. De hecho, el producto final Li_2S es un material sólido.

En la Figura 1.2 se muestra un perfil de ciclo típico de la celda Li-S .

Figura 1.2 Perfil de voltaje típico de la celda Li-S



1.2.2 Ventajas de las Baterías Litio Azufre

Una de las mayores ventajas de las baterías Li-S es la alta tecnología y densidad de energía que se podría obtener al tener un ánodo de metal litio y un cátodo de azufre. En teoría, el sistema podría entregar una densidad de energía de $\sim 2600 \text{ Wh kg}^{-1}$. Además, el azufre es un elemento abundante, no tóxico y extremadamente barato, que puede disminuir drásticamente el coste final de la batería. Un objetivo realista de densidad de energía práctica está en el rango de $400 - 600 \text{ Wh kg}^{-1}$, que es más alto en compara-

ción con las celdas clásicas de iones de litio y que permitiría ampliar el alcance de los vehículos eléctricos de la industria automotriz a 500 km⁵.

Además, las baterías Li-S pueden funcionar a una amplia temperatura de funcionamiento y existe la posibilidad de ciclos prolongados.

1.2.3 Limitaciones

Independientemente de las principales ventajas que tiene la tecnología de Baterías Li-S, existen algunas limitaciones. Estos problemas, que provocan una brecha entre los valores teóricos y prácticos de la densidad de energía, están impidiendo el uso comercial masivo de células de Li-S¹⁰. Estos aspectos hacen que el interés aumente tanto en el ámbito académico como en el industrial.

Como se menciona en 1.2.1 Principio y Mecanismo de Trabajo, los polisulfuros de orden superior ($n \geq 3$) son solubles en el electrolito y, por lo tanto, se difunden hacia el ánodo de litio. El potencial del litio, que es significativamente negativo, permite la reducción de las especies de polisulfuro de cadena larga. Estas especies reducidas pueden migrar al electrodo positivo y oxidarse induciendo un proceso de carga infinita; esto se conoce como "mecanismo lanzadera de polisulfuro". Estos fenómenos inducen una eficiencia coulombica débil y algunos mecanismos de degradación.

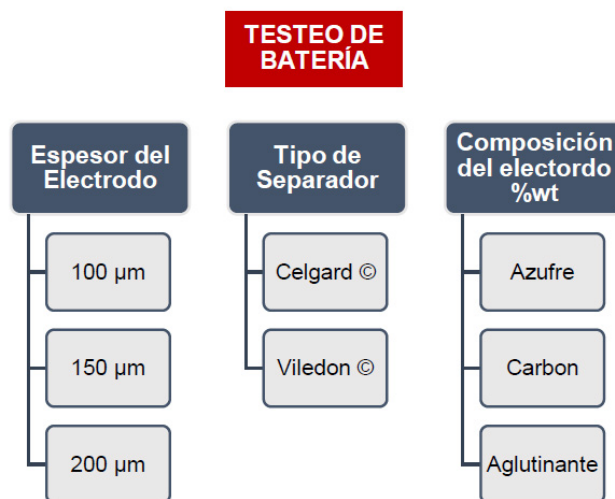
2. MOTIVACIÓN DEL TRABAJO

La literatura muestra que muy a menudo se aplican métodos complicados para la fabricación de compuestos de carbono/azufre¹. Sin embargo, la ganancia en el rendimiento no siempre es relevante comparado con el rendimiento teórico y muchos de estos electrodos se caracterizan por cargas de masa activa bajas⁵. Una estrategia para limitar el mecanismo de lanzadera mencionado anteriormente es utilizar un aglutinante catiónico y/o un electrolito aniónico. El aglutinante catiónico puede interactuar fuertemente con el dianión polisulfuro mediante interacciones

iónicas y, por lo tanto, atrapar los polisulfuros en el electrodo. Además, debido al efecto Donnan inducido por aniones fijados, se puede limitar la difusión del dianión polisulfuro en el electrolito. El uso tanto de un aglutinante catiónico como de un electrolito aniónico permitirá una gran mejora del rendimiento. Por lo tanto, el trabajo propone un énfasis en el comportamiento de una batería típica de Li-S centrándose en la formulación del electrodo positivo tanto en su espesor como en su composición¹¹. El electrodo se preparó de forma sencilla utilizando un aglutinante catiónico disponible comercialmente. Además, se evaluó la influencia del uso de dos separadores diferentes en el montaje de la batería.

3. MATERIAL Y MÉTODOS

Figura 3.1 Diagrama de del trabajo propuesto.



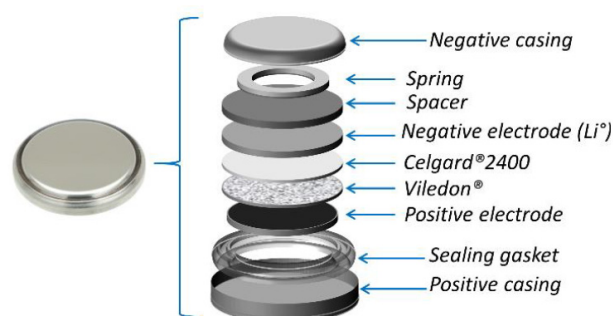
El trabajo propuesto se muestra en la Figura 3.1. En primer lugar, la atención se centrará en ver qué pila de botón presenta los mejores rendimientos electroquímicos con respecto al grosor del electrodo. Luego se probará la posición de adición y colocación de los separadores dentro de la celda de moneda. Finalmente, el cambio de la composición del electrodo se realizará para ver el comportamiento respecto a la cantidad de azufre/carbono del electrodo.

El trabajo de investigación fue realizado en el Laboratorio de Electroquímica y Fisicoquímico de Materiales e Interfases - LEPMI (Laboratoire Electrochimie et Physicochimie des Matériaux et des Interfaces) en Grenoble, Francia.

3.1 Ensamblaje de la Batería (Pila Botón)

Las pilas de botón de la Figura 3.2 se fabricaron en una globe box (caja con guantes) bajo una atmósfera inerte para evitar cualquier reacción del litio y el electrolito con el aire.

Figura 3.2 Representación esquemática de una pila de botón de dos electrodos.



Las carcasas externas de acero inoxidable sirvieron como colectores de corriente y contenedor de la batería. Fueron separados con una junta plástica, para evitar cualquier contacto electrónico entre ellos y proporcionar un perfecto sellado de la celda. Se colocó un espaciador de acero inoxidable de 1,0 mm de espesor ($\varnothing$ 16 mm) con un disco de electrodo positivo ($\varnothing$ 13 mm) dentro de una de las tapas y se cubrió con una capa de separador ($\varnothing$ 16 mm): Celgard® 2400 (Freudenberg) - un Capa microporosa de polipropileno de 25 μ m de espesor y Viledon® (Freudenberg), un tejido de poliolefina de 280 μ m de espesor, según el caso de la pila de botón. Luego se vertió electrolito líquido en el separador, llenando todos sus poros, así como los poros del electrodo positivo. La cantidad de electrolito líquido (150 μ L) se fijó para simplificar los procedimientos ya existentes de preparación de pilas de botón, y fue una cantidad en exceso. Como electrodo negativo se utilizó litio metálico (Li, 60 μ m).

Se perforó un disco de Li ($\varnothing$ 12 mm), se colocó sobre los separadores empapados y se cubrió con un espaciador de acero inoxidable de 1,0 mm de espesor ($\varnothing$ 16 mm). Antes de cerrar la pila de botón completa con la carcasa superior, se colocó un resorte de acero inoxidable en el espaciador, para proporcionar suficiente presión y contacto entre todos los componentes.

3.2 Globe Box

Contenedor sellado diseñado para permitir manipular objetos donde se desea una atmósfera separada. Integrados en los lados de la guantera hay guantes dispuestos de tal manera que el usuario puede colocar sus manos dentro de los guantes y realizar tareas dentro de la caja sin romper la contención. Casi toda la caja es transparente para permitir al usuario ver lo que se está manipulando. Permite manipular sustancias (litio y electrolito) que deben estar contenidas en una atmósfera inerte de muy alta pureza, utilizando argón.

Figura 3.3 Globe box utilizado en LEPMI para el armado de pilas botón.



La globe box que se ve en la Figura 3.3 está trabajando en sobrepresión con argón. Para regular la presión consta de conexión con bombona de gas (argón), válvula monoválvula de acción directa y dispositivo antirretorno de flujo. La guantera está conectada a una unidad de purificación continua del

gas inerte. Para eliminar la humedad y el oxígeno, este módulo está equipado con una bomba de vacío, un ventilador, válvulas simples de acción directa y analizadores de concentración (O_2 y H_2O menos de 1 ppm).

3.3 Preparación del Electrolito Líquido

Se eligió una solución electrolítica líquida estándar basándose en resultados anteriores obtenidos por Céline Barchasz, ex estudiante de doctorado en el grupo de investigación de LEPMI, en el trabajo "Accumulateur Lithium/Soufre: développement et compréhension des mécanismes électrochimiques". Este electrolito se preparó bajo la caja de guantes de argón disolviendo una mezcla de sal de bis(trifluorometanosulfona)imida de litio (LiTFSI, 99,95 %, Rhodia Asia Pacific) con 1 M de concentración y nitrato de litio ($LiNO_3$, Aldrich) de 0,30 M de concentración. en una mezcla de disolventes a base de éter: tetraetilenglicol dimetil éter (TEGDME, 99 %, Aldrich) y 1,3-dioxolano (DIOX, anhidro, 99,8 %, Aldrich) en una proporción de volumen 1/1. Se sabe que $LiNO_3$ tiene un efecto beneficioso contra el mecanismo de lanzadera de polisulfuro y se descubrió que mejora en gran medida la eficiencia de carga y descarga (eficiencia coulombica) de una batería recargable de Li-S. Es discutible si el $LiNO_3$ puede sostener la protección del ánodo de Li durante un almacenamiento prolongado de una gran cantidad. El electrolito se almacenó en un tubo de ensayo bien sellado para evitar la evaporación de la solución.

3.4 Preparación del Electrodo

El procedimiento para la preparación de los electrodos se basó en el trabajo "Accumulateur Lithium/Soufre: développement et compréhension des mécanismes électrochimiques" de Céline Barchasz.

Con base en las conclusiones generales alcanzadas por Céline Barchasz, que establecen que el pretratamiento del azufre y el material activo del electrodo no afectó significativamente la capacidad práctica

de descarga y ciclabilidad, se estableció una forma sencilla de fabricación de electrodos.

Para la primera parte se utilizaron electrodos de diferentes espesores (100, 150 y 200 μm). Estos electrodos se configuraron con una composición de 70/15/15% en peso (azufre/carbono/aglutinante). Esta relación se eligió arbitrariamente para mantener una alta carga de azufre y un alto porcentaje de azufre, teniendo en cuenta la aplicación práctica de los electrodos.

En la última parte se prepararon electrodos con diferente composición con el método descrito en 3.4 Preparación del Electrodo con la siguiente composición:

- 80/10/10 % en peso
(azufre/carbono/aglutinante).
- 75/15/10 % en peso
(azufre/carbono/aglutinante).
- 75/10/15 % en peso
(azufre/carbono/aglutinante).

Se utilizó azufre (malla -325, Alfa Aesar) como material activo sin ningún tratamiento previo. Se usó SuperP® (Timcal) como aditivo de carbono conductor y se seleccionó polidialildimetilamonio, bis(trifluorometanosulfona)imida (PolyDADMAC, TFSI; disuelto en N-metil-2-pirrolidinona como solución al 12% en peso) como aglutinante polimérico. El PDADMA se utiliza como aglutinante para interactuar con polisulfuros (PS), mediante interacciones iónicas. Estas interacciones pueden mitigar la difusión de polisulfuros.

La composición sólo varió en términos de relación azufre/carbono/aglutinante (S/C/B) como se mencionó anteriormente.

Primero, se realizó una mezcla de azufre/carbono. Se trituraron juntos cantidades precisas de azufre y carbono (dependiendo del % en peso final del electrodo) en un mortero de ágata hasta que la mezcla

fue homogénea (~30 a 45 min) con la adición constante de unas gotas de ciclohexano (Aldrich, anhidro, 99,5 %) como disolvente. Después de lograr la homogeneidad y la evaporación del disolvente, la mezcla de polvo S/C se recuperó en un vaso de precipitados; no se aplicó ningún tratamiento térmico adicional.

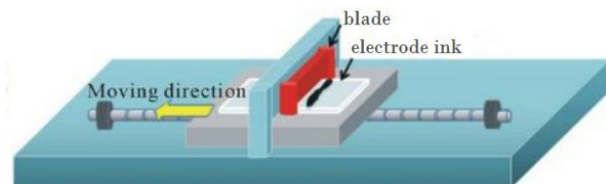
Por otro lado, se preparó poliDADMAC, TFSI (aglutinante polimérico). Se añadió una cantidad adecuada de solución PolyDADMAC, TFSI (12% en peso en NMP) de acuerdo con el% en peso requerido en el electrodo. Se debe tener en cuenta que se incorporó un volumen adicional de NMP (~100-150 μL) dependiendo del % en peso final de Carbono, para obtener una viscosidad óptima de la tinta del electrodo, para facilitar el recubrimiento del electrodo.

Para finalizar la preparación de la tinta, se añadió la mezcla S/C a la solución de aglutinante polimérico.

Todos los componentes se agitaron juntos en un agitador magnético (~12-18 horas) a ~400 rpm. Finalmente se mezcló en un ultraturax hasta lograr una suspensión homogénea (~10-15 min).

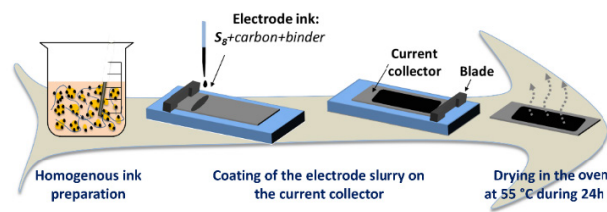
Luego, esta tinta homogénea se recubrió a 100 μm utilizando la técnica "doctor Blade" (Figura 3.5) sobre una lámina de aluminio de 20 μm de espesor debidamente limpiada. Finalmente, se secó en estufa a $55^\circ\text{C} \pm 5^\circ\text{C}$ durante 24 h.

Figura 3.5 Principio de la técnica "doctor blade" utilizando un marco con un depósito de tinta de electrodo de recubrimiento que se mueve relativamente en la lámina de aluminio¹²



Un gráfico esquemático (Figura 3.6) ilustra todos los pasos de la preparación del electrodo descritos anteriormente.

Figura 3.6 Ilustración esquemática del procedimiento de preparación del electrodo.



3.5 Ciclo Galvanostático

Las pilas de botón se ciclaron galvanostáticamente (GCPL – ciclo galvanostático con limitaciones de potencial) en el rango de voltaje de 2 V (entre 1,5 V y 3,5 V) a una temperatura de 25°C .

Las capacidades de las celdas y, por tanto, los valores actuales se calcularon en base a la capacidad teórica específica del material activo de azufre (1675 mAh g^{-1}) y la cantidad de azufre en cada electrodo.

La cantidad de azufre/carbono se calculó pesando el electrodo y restando el peso del papel de aluminio que sostiene el electrodo de azufre/carbono.

Con esta masa y la capacidad específica teórica del material sulfuroso activo se calculó la corriente. Luego se dividió entre 50 horas y 20 horas, que fueron los tiempos que se establecieron para los ciclos de descarga y carga como se describe en la ecuación 5:

$$I = \frac{m_{\text{electrodo}} * \text{capacidad específica del electrodo} * \text{wt\% azufre}}{t} \quad [\text{mA}] \quad (5)$$

Dónde:

I = la corriente aplicada para el ciclo galvanostático

$m_{\text{electrodo}}$ = masa del electrodo

t = tiempo (50 h o 20 h)

4 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Espesor del Electrodo

La primera parte consistió en el montaje de diferentes pilas de botón como se describe en la Figura 3.2, alternando con tres espesores diferentes de electrodo de capa: 100 μm , 150 μm y 200 μm , utilizando únicamente Celgard® 2400 como separador; para observar cuál tiene mejores rendimientos electroquímicos. De hecho, los electrodos gruesos proporcionan un mejor rendimiento en términos de Wh kg^{-1} teóricos al maximizar la cantidad de especies activas. Sin embargo, puede ocurrir alguna limitación

asociada con la limitación de la difusión a través del electrodo 3-D.

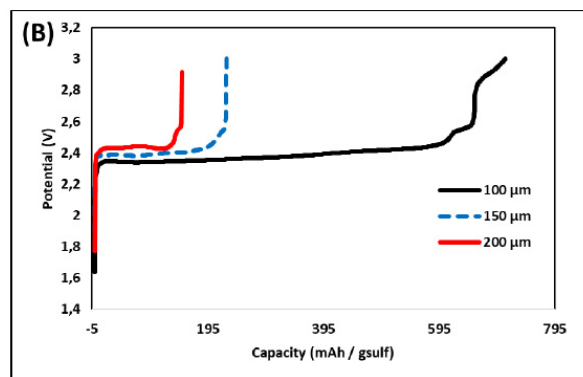
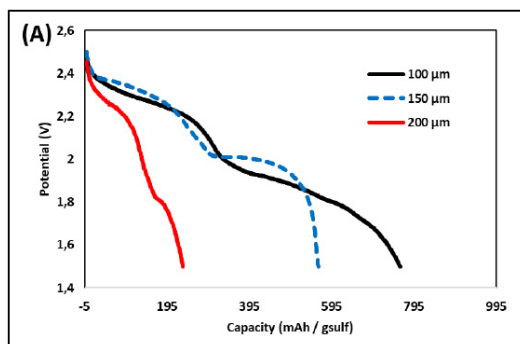
La corriente utilizada para el funcionamiento de la batería es proporcional a la masa del electrodo (en consecuencia, el espesor) como se describe en 3.4 Preparación del Electrodo ecuación (5). El uso de carga promedio para los diferentes electrodos se describe en la Tabla 4.1:

Tabla 4.1 Carga de azufre y corriente aplicada a la batería con respecto al espesor del electrodo a tasa C/20

Espesor (μm)	Composición (%wt S/C/A)	Carga de Azufre(mg)	Load (mA)
100		2.3	3.85
200	70-15-15	4.6	7.78
100		6.0	10.04

Los resultados se muestran en la Figura 4.1.

Figura 4.1 (A) Primera descarga en ciclo galvanostático (B) carga en ciclo galvanostático (tasa C/50)

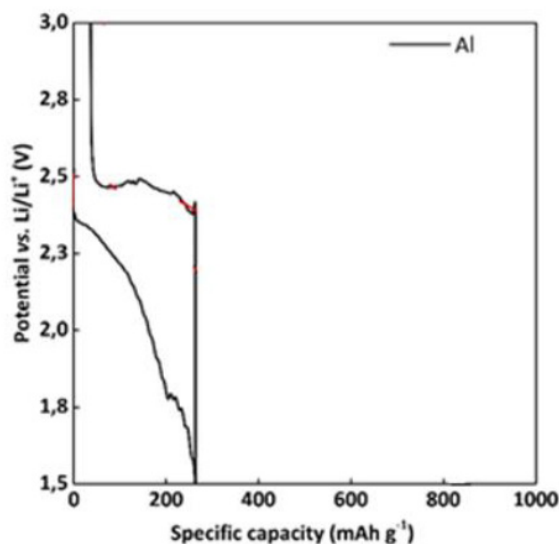


El electrodo con el menor espesor de recubrimiento de 100 μm muestra un comportamiento más cercano al de una batería Li-S típica en la primera descarga y carga (C/50). Ambos electrodos de 150 μm y 200 μm no presentan este comportamiento típico, para el caso del electrodo de 200 μm casi no hay meseta visible, teniendo una caída de potencial muy rápida a 2 V.

La pila de botón con un grosor de electrodo de 100 μm proporciona una capacidad de descarga cercana a los 795 mAh g^{-1} , que es la más alta de las tres. La diferencia puede radicar en los fenómenos de polarización. Para ambos casos de 100 μm y 150 μm , la capacidad correspondiente a la reducción de azufre y formación de polisulfuros en la forma de la primera meseta es similar: 240 mAh g^{-1} y 227 mAh g^{-1} respectivamente pero no es el caso de la pila de botón con 200 μm , que presenta el mismo fenómeno a 93 mAh g^{-1} .

Si comparamos el resultado obtenido con poliDAD-MAC,TFSI, como conglomerante y el obtenido con la misma formulación pero con PVdF como conglomerante (Figura 4.2).

Figura 4.2 Perfil de voltaje del ciclo inicial del electrodo 'S-on-Alu' ciclado a una velocidad C/20 con solo el separador Celgard®2400 en la celda de moneda. (Extraído de "Accumulateur Lithium/Soufre: développement et compréhension des mécanismes électrochimiques tesis doctoral de Sylwia Walus). Carga de azufre 3 mg.



De hecho, la capacidad obtenida sólo con Celgard® como separador es igual a 220 mAh g⁻¹ en lugar de 795 mAh g⁻¹ cuando se utilizan tanto Celgard® como Viledon®. El buen resultado obtenido con el electrodo de 100 µm de espesor muestra la mejora debida a la presencia del aglutinante catiónico en lugar de PVdF.

Por otro lado, en el caso de la carga de la celda, las tres pilas botón presentan un rendimiento similar al principio, el voltaje aumenta rápidamente hasta ~2,3 V, seguido de una meseta de carga estable, sin embargo, la moneda con el electrodo menos grueso presenta una carga estable mucho más larga, como se ve en la Figura

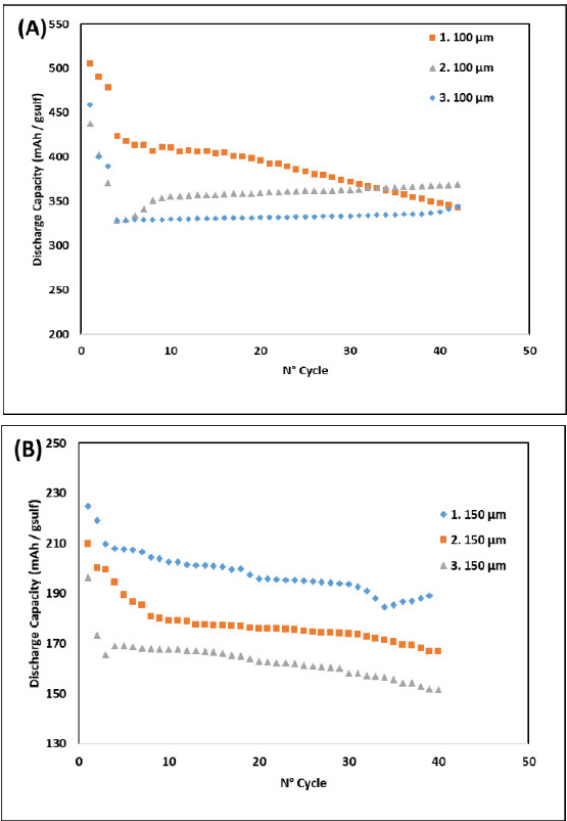
4.1 (B). Esto generalmente se asigna a la oxidación de polisulfuros de litio más cortos a cadenas más largas y luego se oxida aún más a azufre elemental en la última meseta.

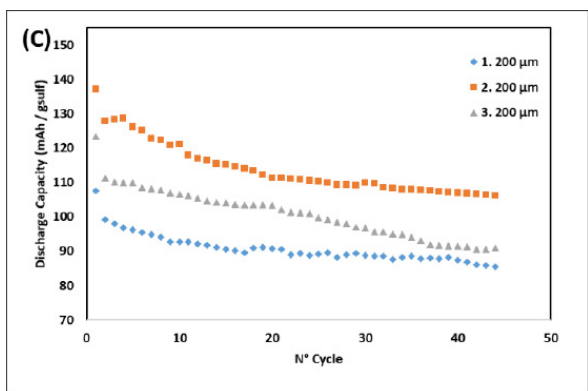
Se puede decir que un electrodo menos grueso ayuda a la conducción de los electrones y las especies

iónicas a través del electrodo; por tanto, reducen su polarización, lo que permite aumentar la capacidad de descarga. Además, a medida que aumenta la carga de azufre, aumenta proporcionalmente la cantidad de polisulfuro obtenido por reducción de azufre. Como la cantidad de electrolito es baja, su viscosidad será mucho mayor debido a la concentración de polisulfuros. Además, los polisulfuros de cadena baja pueden precipitar en el electrolito. Tanto la precipitación como la alta viscosidad presente para los electrodos de 150 µm y 200 µm podrían explicar la pérdida de capacidad, además la alta viscosidad limita la difusión y aumenta la polarización.

El rendimiento electroquímico de estas pilas de botón se muestra en la Figura 4.3.

Figura 4.3 Capacidad de descarga vs el número de ciclos (A) espesor del electrodo 100 µm, (B) espesor del electrodo 150 µm, (C) espesor del electrodo 200 µm. (Tasa C/20).

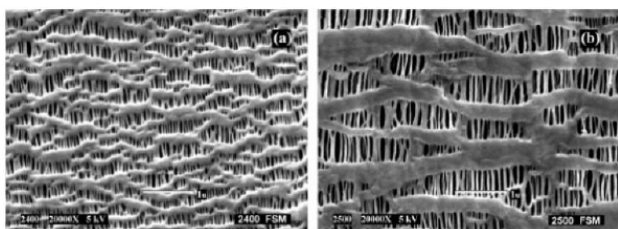




La capacidad de descarga del electrodo de 200 μm presenta un rendimiento muy pobre (promedio de 110 mAh g^{-1}), no tiene una meseta adecuada desde el primer ciclo hasta el último y tarda más en estabilizarse. El comportamiento del de 150 μm es un poco mejor pero no suficiente, tiene una capacidad de descarga media de 170 mAh g^{-1} ; aunque la meseta en este caso es mejor que la mencionada anteriormente, los resultados se consideran no lo suficientemente buenos en comparación con la celda de botón con el electrodo de 100 μm de espesor. Para el electrodo de 100 μm de la Figura 4.2 (A), tanto la meseta como la capacidad de descarga (promedio 420 mAh g^{-1}) son las mejores de los tres electrodos.

Con sólo Celgard® como separador (Figura 4.3), los rendimientos obtenidos con electrodos gruesos disminuyen con el espesor del electrodo. Esto puede deberse a la alta concentración de polisulfuros (PS) en el electrolito, que uno, aumenta la viscosidad y limita la difusión del PS corto, y dos, favorece la precipitación del PS corto.

Figura 4.4 Imágenes SEM de un separador típico de poliolefina tipo Celgard. (Figura extraída de "Développement d'accumulateurs Li-S, Céline Barchasz")



4.2 Separadores

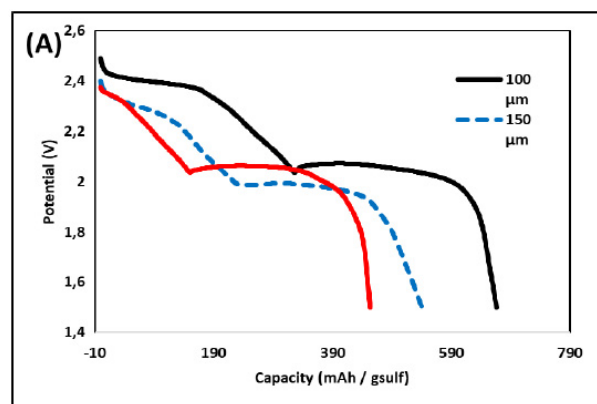
A continuación, se realizó el ensamblaje de diferentes celdas de moneda como se describe en la Figura 3.2, aún alternando con los tres distintos espesores de electrodo de capa, usando solo Celgard© 2400 como separador y agregando el nuevo separador (Viledon®). Las especificaciones de ambos separadores se muestran en la Tabla 4.2. De hecho, la adición de Viledon© induce un gran aumento de la cantidad de electrolitos. Debido a la solubilidad del PS, la cantidad de electrolito tiene un gran efecto en el rendimiento, especialmente con electrodos gruesos. El montaje de las pilas de botón se varió en la posición de los dos separadores según el electrodo de azufre y el de litio.

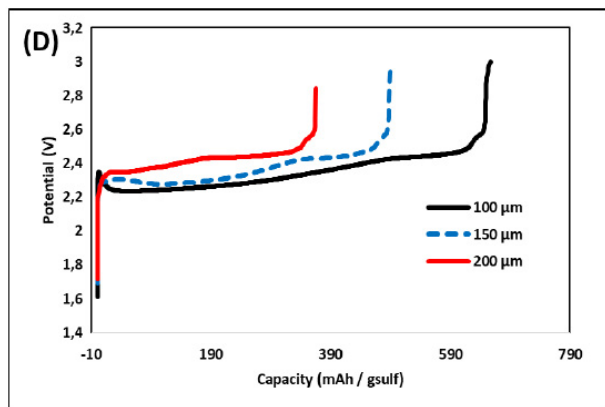
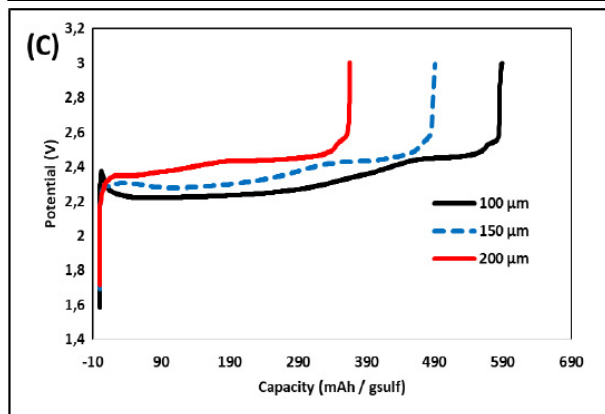
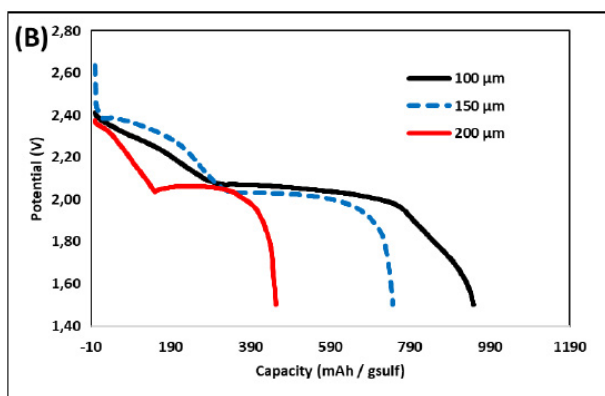
Tabla 4.2 Diferentes características de los separadores utilizados en el montaje de las pilas de botón.

Separador	Composición	Espesor (μm)	Porosidad (%)
Celgard© 2400	Polipropileno	25	41
Viledon®	Poliolefinas	208	88

Los resultados electroquímicos para este tipo de montaje se muestran en la Figura 4.5.

Figura 4.5 Comparación de propiedades electroquímicas de pilas botón con electrodos de diferente espesor (100 μm , 150 μm , 200 μm) y posición de los separadores (Celgard® 2400 y Viledon®). (A) y (C) conjunto de batería "Electrodo + Celgard® 2400 + Viledon® + Li",

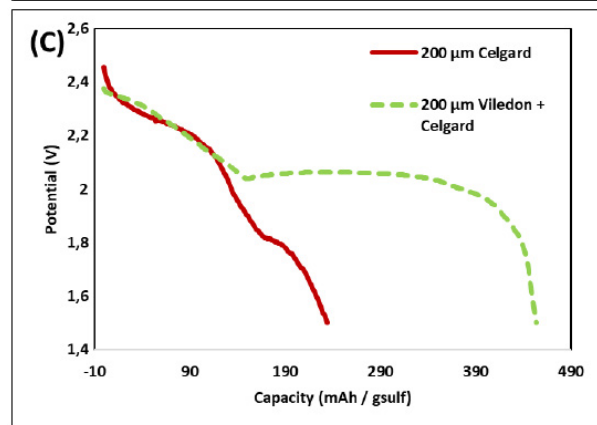
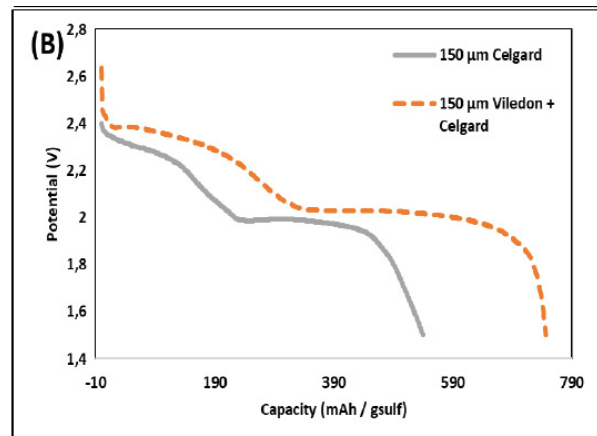
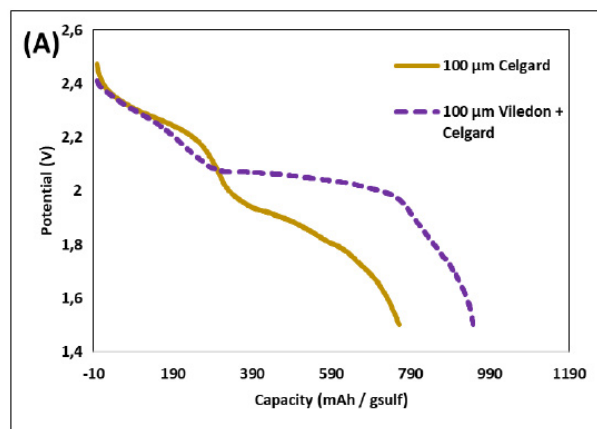




Los resultados presentan un comportamiento similar a los obtenidos utilizando únicamente Celgard® 2400 como separador, el mejor rendimiento se alcanza con el electrodo de menor espesor (100 μm). Como se ve en la Figura 4.5, la adición de Viledon® ayudó a acercarse a un perfil típico de una batería Li-S tanto para la descarga como para la capacidad de carga frente al potencial. También se puede decir que, dado que la capa de Viledon® es mucho más

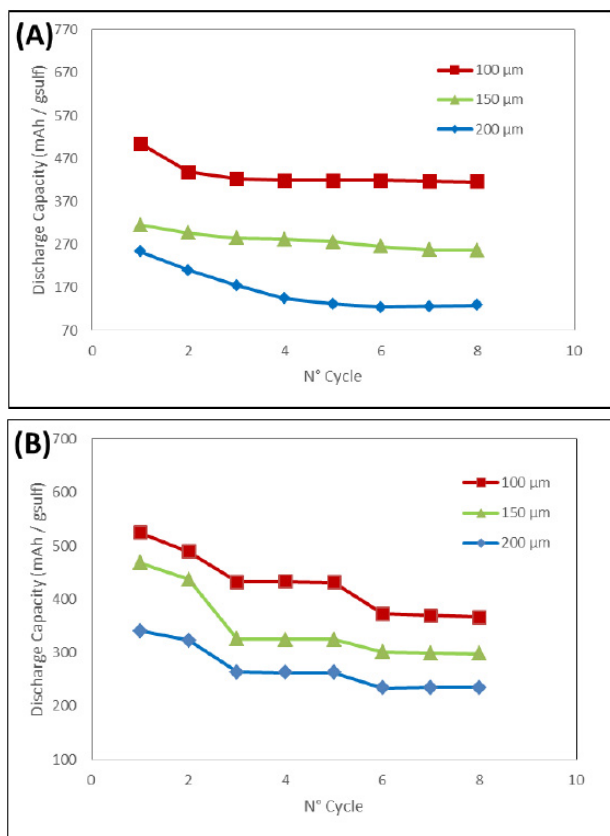
porosa (88%) y más gruesa (280 μm) que Celgard® 2400, forma un depósito de electrolito adicional.

Figura 4.6 Comparación de las propiedades electroquímicas de pilas de botón con separadores ensamblados con dos métodos diferentes respecto al separador (Electrodo + Celgard® 2400 + Li y otro Electrodo + Viledon® + Celgard® 2400 + Li), (A) electrodo de espesor 100 μm , (B) electrodo de espesor 150 μm y (C) electrodo de espesor 200 μm .



Además, la capacidad de descarga aumentó para los tres casos de electrodos como se ve en la Figura 4.7.

Figura 4.7 Capacidad de Descarga vs Número de Ciclos (A) conjunto de batería "Electrodo + Celgard® 2400 + Viledon® + Li", (B) conjunto de batería "Electrodo + Viledon® + Celgard® 2400 + Li".



Para ambos casos, la capacidad de descarga presenta un desempeño muy estable incluso si el número de ciclos investigados no es muy alto. Se sigue demostrando que el electrodo más grueso (200 μm) presenta la menor capacidad de descarga ($\sim 170 \text{ mAh g}^{-1}$ para el conjunto de "Electrodo + Celgard® 2400 + Viledon® + Li" y $\sim 270 \text{ mAh g}^{-1}$ para el "Electrodo + Viledon® + Celgard® 2400 + Li"). Para el caso del electrodo de 100 μm de espesor, se puede observar que la capacidad de descarga es la mayor de los tres

y además no hay una diferencia considerable en el rendimiento entre las dos diferentes posiciones de los separadores ($\sim 400 \text{ mAh g}^{-1}$ y 430 mAh g^{-1}).

La principal mejora en cuanto a la capacidad de descarga se obtiene con el espesor más alto del electrodo (200 μm) como se muestra en la Figura 4.7, es decir, 250 mAh g^{-1} en lugar de 110 mAh g^{-1} obtenido utilizando solo Celgard®. Con electrodo de 100 μm la mejora es muy limitada ya que la capacidad obtenida es muy similar. Esto podría estar asociado al impacto del aumento del electrolito líquido que es más dañino cuando tenemos mayor cantidad de azufre en el electrodo (más PS en el electrolito).

Se puede notar alguna diferencia con la posición de los separadores; Los peores resultados se obtienen cuando el Viledon® está cerca del litio. Esto puede estar asociado con la mala interfaz que se tiene entre el Litio y Viledon®, el cual presenta poros dilatados. De hecho, los poros grandes pueden favorecer el crecimiento de dendritas, lo que es perjudicial para la ciclabilidad de la celda.

Aunque se obtuvo una mejora, necesitamos tener un depósito para el electrolito para lograr mejores resultados, especialmente con electrodos más gruesos.

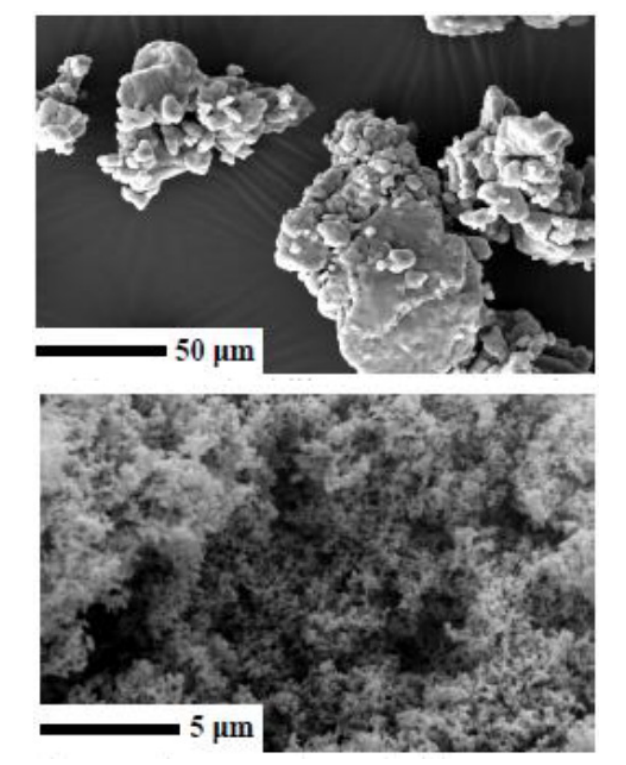
4.3 Composición del Electrodo

Un objetivo a tener en cuenta para aplicaciones de alta energía es la fracción de azufre (% en peso).

La fracción de azufre (% en peso) en el electrodo es simplemente la masa de azufre en relación con los otros componentes. En la literatura varía entre 20% en peso (proporción muy baja) y hasta 80% en peso.

Las fotografías de microscopía electrónica de barrido (SEM) de las materias primas se muestran en la Figura 4.8.

Figura 4.8 Fotografías SEM de materias primas. Arriba, Azufre Alfa Aesar, 99,5%, abajo Carbono (Super P®, Timcal) (Figura extraída de “Développement d’accumulateurs Li/S, Céline Barchasz”).

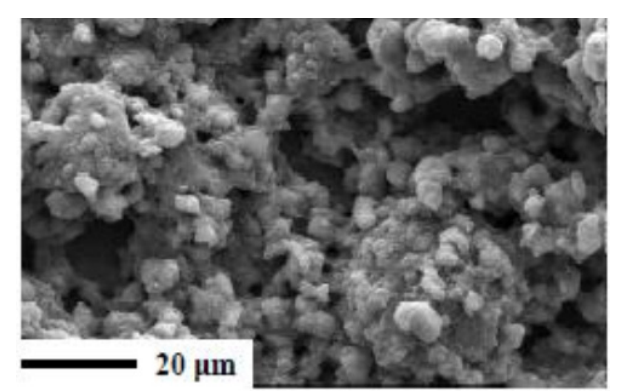


Los materiales se describen en la Tabla 4.3:

Tabla 4.3 Características del Azufre y del Carbono.

Material	Marca	Tamaño de Partícula
Azufre	Alfa Aesar, 95,5%	90% < 250 µm
Carbón	Super P®, Timcal	40 nm

Figura 4.9 Fotografías SEM de un electrodo de azufre positivo, antes del ciclo. (Figura extraída de Développement d’accumulateurs Li-S, Céline Barchasz)



La morfología inicial del electrodo de azufre es bastante porosa y homogénea como se ve en la Figura 4.8. La imagen SEM de la Figura 4.9 muestra el recubrimiento de las partículas de azufre por las nanopartículas de carbono en el electrodo.

En base a estos resultados obtenidos, se decidió utilizar el electrodo de espesor de 100 µm como “estándar” ya que presentó los mejores resultados de los tres probados. Además, dado que la posición de los separadores no varió significativamente en los resultados para el electrodo de 100 µm de espesor, ambos casos serán estudiados con los “nuevos electrodos”.

Se debe tener en cuenta que la formulación del electrodo utilizado para la primera parte de la investigación fue de 70/15/15% en peso (azufre/carbón/aglomerante) como se mencionó anteriormente.

La técnica y las especificaciones del nuevo electrodo se describen en 3.4 Preparación del Electrodo.

De la Figura 4.10, podemos ver que en este caso la posición del conjunto de la pila de botón con "Electrodo + Viledon® + Celgard® 2400 + Li" (B) tiene un mejor rendimiento comparando con el conjunto "Electrodo + Celgard® 2400 + Viledon® + Li" como en los resultados anteriores (influencia del espesor del electrodo). El electrodo con una composición de 75/15/10% en peso (azufre/carbono/aglutinante) tiene la polarización más baja y, por lo tanto, el mejor rendimiento en su primera descarga a una tasa de C/50 y de C/20. El valor obtenido con la composición 75/15/10% en peso (azufre/carbono/aglutinante) es similar al obtenido con la composición 70/15/15% (azufre/carbono/aglutinante) en peso con una capacidad cercana a 400 mAh g⁻¹ (Figura 4.11). Se puede producir una gran disminución del rendimiento. Se nota cuando la cantidad de carbono disminuye. La disminución de carbono reduce la percolación electrónica y luego aumenta la polarización y la reactividad del material activo.

Figura 4.10 Comparación de propiedades electroquímicas de pilas tipo botón con diferente composición % en peso de los electrodos y orden de posición de los separadores (Celgard® 2400 + Viledon®) en el conjunto. (A) Primera descarga en ciclo galvanostático C/50 h y (C) Capacidad de descarga versus número de ciclos (ambos ensamblados como "Electrodo + Celgard® 2400 + Viledon® + Li"). (B) Primera descarga en ciclo galvanostático C/50 h y (D) Capacidad de descarga versus número de ciclos (ambos ensamblados como Electrodo + Viledon® + Celgard® 2400 + Li").

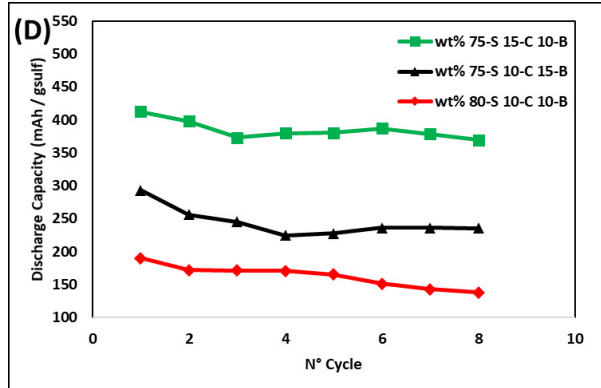
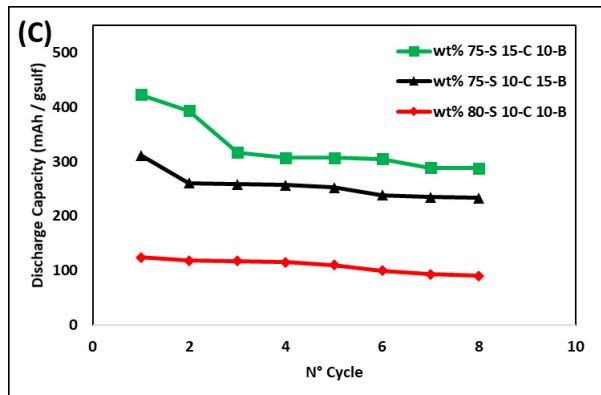
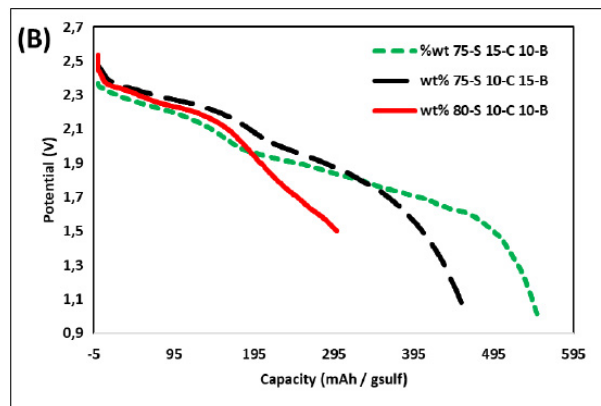
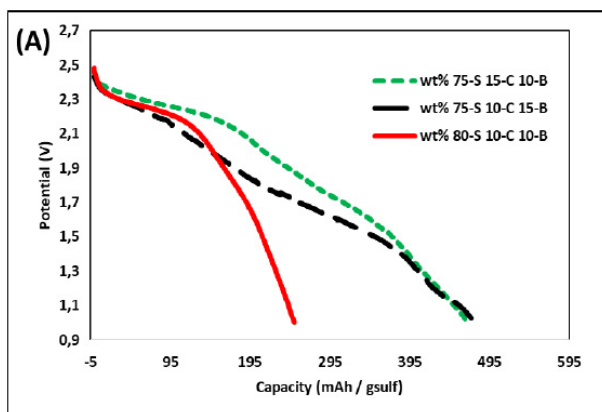
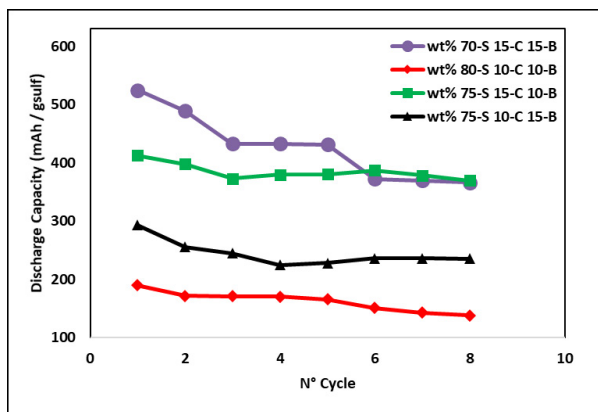


Figura 4.11 Comparación de la capacidad de descarga a tasa C/20 de celdas tipo botón ensambladas como Electrodo + Viledon® + Celgard® 2400 + Li" con diferente composición de electrodo % en peso de azufre/carbono/aglutinante



Hay que tener en cuenta que es necesario repetir estos experimentos para asegurar los resultados. Se realizaron con no más de dos repeticiones ya que se realizó cerca del final de la pasantía.

5. CONCLUSIÓN

Las baterías de litio-azufre son un candidato prometedor para baterías de litio de alta densidad energética para aplicaciones estacionarias, móviles y portátiles. La principal ventaja de este tipo de baterías es la alta capacidad teórica específica de $1675 \text{ mAh g}_{\text{azufre}}^{-1}$.

Se investigaron varios parámetros y se encontraron diferencias en la ciclabilidad al utilizar diferentes espesores de electrodos ($100 \mu\text{m}$, $150 \mu\text{m}$ y $200 \mu\text{m}$). El de menor espesor presentó el mejor comportamiento de ciclabilidad y capacidad de descarga.

Una forma eficaz de aumentar el rendimiento de la pila de botón fue añadir otro separador (Viledon®) para el nuevo conjunto de la batería, lo que induce un gran aumento de la cantidad de electrolito. También se realizaron pruebas en la posición dentro de la pila de botón de este separador, que, aunque el conjunto de "Electrodo + Viledon® + Celgard® 2400 + Li" ofreció una mejor ciclabilidad, se deben realizar otros experimentos para comprobar este punto.

Una de las principales limitaciones de la batería Li-S está relacionada con el fenómeno de pasivación del

electrodo positivo, que se produce en la descarga y que es función de la superficie disponible del electrodo (superficie específica de los materiales y superficie del pellet). También es función de la porosidad del electrodo después de la evaporación del disolvente y de la composición del material azufre-carbono. Se fabricaron electrodos con nueva composición y resultó que se necesita 15% en peso de carbono para tener un buen rendimiento.

6. PERSPECTIVAS FUTURAS

Aunque ha habido un gran progreso en el campo de la comprensión del mecanismo de funcionamiento de la batería Li-S, todavía no hay una comprensión completa de todas las reacciones y limitaciones del mismo. Por tanto, ahí reside una interesante y gran posibilidad.

Se deben realizar investigaciones complementarias sobre la composición del electrodo con cierto énfasis en la evaluación del uso del aglutinante para una comprensión más profunda del mecanismo que ocurre. Se deben considerar otras optimizaciones y mejoras de la fabricación del electrodo de azufre-carbono.

Mientras pensamos en la mejora de la batería Li-S, debemos considerar una investigación a través de ella, tomando en consideración todos los componentes de la batería para encontrar una mejor solución a los problemas. Se podría estudiar la mejora y la comprensión más profunda del electrolito; tal vez realizando una introducción a un electrolito de membrana sólida, cambiando toda la composición del electrodo y el uso de un aglutinante diferente para que el sistema funcione correctamente.

7. BIBLIOGRAFÍA

- Walus Sylwia; Alloin Fannie. "Accumulateur Lithium/Soufre: développement et compréhension des mécanismes électrochimiques". 2015

- Cheng, F.; Liang, J.; Tao, Z.; Chen, J. "Functional materials for rechargeable batteries". 2011.
- Dunn, B.; Kamath, H.; Tarascon, J. M. "Electrical energy storage for the grid: a battery of choices". 2011.
- Tarascon, J. M.; Armand, M. "Issues and challenges facing rechargeable lithium batteries". 2001.
- Fotouhi, A., Auger, D., O'Neill, L., Cleaver, T. and Walus, S. "Lithium-Sulfur Battery Technology Readiness and Applications". 2017.
- Naoki Nitta; Feixiang Wu; Jung Tae Lee; Gleb Yushin. "Li-ion battery materials: present and future". 2015
- Holtstiege, F., Bärmann, P., Nölle, R., Winter, M. and Placke, T. "Pre-Lithiation Strategies for Rechargeable Energy Storage Technologies: Concepts, Promises and Challenges". 2018
- Amit Mishra; Akansha Mehta; Soumen Basu; Shweta J. Malode; Nagaraj P. Shetti; Shyam S. Shukla; Mallikarjuna N. Nadagouda; Tejraj M. Aminabhavi, "Electrode materials for lithium-ion batteries". 2018
- Fotouhi, A., Auger, D., O'Neill, L., Cleaver, T. and Walus, S. "Lithium-Sulfur Battery Technology Readiness and Applications". 2017
- Moy, D., Manivannan, A. and Narayanan, S. "Direct Measurement of Polysulfide Shuttle Current: A Window into Understanding the Performance of Lithium-Sulfur Cells. Journal of The Electrochemical Society". 2014
- Hofmann, A., Fronczek, D. and Bessler, W. "Mechanistic modeling of polysulfide shuttle and capacity loss in lithium-sulfur batteries. Journal of Power Sources". 2014
- Ishizuka, K. "Technology Transition of Coater". 2017
- Gaoran Li; Zhongwei Chen; Jun Lu, Lithium-Sulfur Batteries for Commercial Applications. 2018
- Goriparti, S., Miele, E., De Angelis, F., Di Fabrizio, E., Proietti Zaccaria, R. and Capiglia, C. 2014

EVALUACIÓN SENSORIAL DE BARRAS ELABORADAS A PARTIR DE ORUJO DE UVA

SENSORY EVALUATIONS OF BARS MADE FROM GRAPE POMACE

Fecha de recepción: 09/12/2024 | Fecha de aceptación: 21/01/2025

Autores:

Trigo Adolfo Valentín¹

Mendoza Mariela²

¹Doctor en Ciencias y Recursos Naturales, Ingeniero de alimentos, Docente investigador a tiempo horario,
Universidad Católica Boliviana, Sede Tarija

²Ingeniero industrial, Asistente, Universidad Católica Boliviana, Sede Tarija

Correspondencia de los autores: atrigo@ucb.edu.bo¹, marielamendoza@ucb.edu.bo²

Tarija - Bolivia

RESUMEN

Se realizaron evaluaciones sensoriales, por parte de cinco jueces entregados a seis muestras de barras alimenticias elaboradas a partir de harina de orujo de uva negra, mezclado con harina de quinua, harina de avena, glucosa, miel de abeja, pasas de uva y aditivos alimentarios. Las muestras de las barras alimenticias en cuanto a la dosificación de sus materias primas e ingredientes fueron diferentes con el objeto de poder diferenciar sus características organolépticas en cuanto a color, sabor, textura, olor, firmeza, aspecto y consistencia. La muestra ganadora de las barras alimenticias resultó ser la número cinco, que contenía en su composición 22,3 % de harina de orujo de uva, 16,73 % de harina de avena, 16,73 % de harina de quinua, 14,49 % de agua, 12,27 % de glucosa, 10,04 % de miel de abeja, 6,69 % de pasas de uva, 0,45 % de bicarbonato de Sodio, 0,23 % de esencia de vainilla y 0,072 % de propionato de calcio, respectivamente. La muestra ganadora fue estandarizada para ser destinada al consumo de las personas con regímenes especiales de alimentación, además que los resultados de los componentes nutricionales analizados por el laboratorio fueron: Cenizas 3,21; Fibra 6,74; Grasa 5,89; Hidratos de carbono 73,38; Humedad 7,5 y Proteína total 10,02 g/100 g. El valor energético fue de 387 Kcal/100 g.

ABSTRACT

Sensory evaluations were carried out by five judges on six samples of food bars made from black grape pomace flour, mixed with quinoa flour, oat flour, glucose, honey, raisins and food additives. The samples of the food bars differed in terms of the dosage of their raw materials and ingredients in order to differentiate their organoleptic characteristics in terms of colour, flavour, texture, smell, firmness, appearance and consistency. The winning sample of the food bars turned out to be number five, which contained in its composition 22.3 % of grape pomace flour, 16.73 % of oat flour, 16.73 % of quinoa flour, 14.49 % of water, 12.27 % of glucose, 10.04 % of honey, 6.69 % of raisins, 0.45 % of sodium bicarbonate, 0.23 % of vanilla essence and 0.072 % of calcium propionate, respectively. The winning sample was standardized to be intended for consumption by people with special diets, in addition, the results of the nutritional components analyzed by the laboratory were: Ash 3.21; Fiber 6.74; Fat 5.89; Carbohydrates 73.38; Humidity 7.5 and Total protein 10.02 g/100 g. The energy value was 387 Kcal/100 g.

Palabras Clave: Barras, orujo de uva, evaluación sensorial, jueces entrenados, regímenes especiales de alimentación.

Keywords: Bars, grape marc, sensory evaluation, trained judges, special feeding regimes

1. INTRODUCCIÓN

La producción de la vid es el cultivo agrícola más importante en el departamento de Tarija y abarca aproximadamente más de 3000 hectáreas que están diseminadas en el Valle Central de Tarija y la provincia Gran Chaco y que favorece a más de 3000 familias de forma directa e indirecta (Ministerio de Desarrollo Productivo y Economía Plural, 2023).

El orujo es el residuo sólido obtenido tras la extracción del zumo de uva y el principal subproducto del proceso de elaboración del vino (Baraybar & Monje, 2017).

La producción de vinos y derivados produce residuo, en promedio cerca del 20% de la uva, en peso, constituido por la cascara o la película, las semillas y los restos de la pulpa de la uva, siendo el resultado del aplastamiento del grano. Por su parte el orujo de uva tiene funciones antioxidantes, entre otras, por lo que también actúan para prevenir el envejecimiento o deterioro de las células y eso colabora con enfermedades relacionadas con el síndrome metabólico, como la hipertensión o la diabetes (Antoniolli, 2018).

En el proceso de elaboración de vino, se generan aproximadamente entre un 40% a un 60% de subproducto conocido como orujo de uva, el cual se lo usa normalmente como abono, y alimento para ganado. El orujo es el residuo sólido obtenido de la producción de vinificación, este mismo contiene cascarrilla y semilla de la uva, los cuales cuentan con compuestos antioxidantes, polifenólicos, así como fibras tanto insolubles como solubles.

Dentro de la composición química del orujo de uva interviene mucho el tipo de uva con el que se produce el vino, tanto la proporción de piel, pulpa y semillas presentes. Es importante mencionar que la uva fresca tiene un contenido de humedad entre el 73% y 85% dependiendo de la variedad de uva, mientras que el orujo presenta valores de un 50% a un 72% (Zúñiga, 2005).

Asimismo, las barras de cereales son productos que se pueden obtener a través de diversos procesos, se consideran uno de los alimentos más populares y de alto consumo, en ese sentido, el presente trabajo de investigación consiste en el análisis de la factibilidad de la elaboración de cereales alimenticios a partir del aprovechamiento de un residuo agroindustrial de la actividad vitivinícola, el orujo de uva, además de las pasas de uva que van a ser empleado en el desarrollo de cereales. Los cereales presentan características fisicoquímicas dentro de los estándares establecidos por la legislación nacional y favorecen a las personas que tienen problemas con el consumo de azúcares y para regímenes especiales (Antoniolli, 2018).

Las barras nutritivas o también llamadas barras energéticas, son consideradas un suplemento alimentario, ya que incrementan las energías de una persona, a través de nutrientes de una dieta. Son un producto obtenido de la mezcla de cereales, semillas, granos, frutas, etc. Tienen como característica importante su textura y sabor. Su valor nutricional se varía de acuerdo con los ingredientes utilizados y su forma de preparación (Zúñiga, 2005).

Tiene como beneficio es ser considerados suplementos dietéticos, ya que cuentan con un alto grado de fibra en su composición como a su vez de hidrato de carbono. Además, generan una ralentización de la glucosa, por lo que se tiene una sensación de saciedad mayor y duradera (Zúñiga, 2005).

Las barras nutritivas por su composición alta en fibra, previene la anemia, y beneficia en la salud cardiaca; es un buen producto nutricional debido a que puede consumir en cualquier momento del día, por ser un snack fácil de consumir y accesible para cualquier persona. (Zúñiga, 2005).

La evaluación sensorial es una ciencia que nace en la década de los años 40 del siglo XX, como respuesta a la falta de sistematización y objetividad que existía al evaluar los alimentos que se elaboraban en esa

época, con el objetivo de que se vendieran en el mercado. Antes de la revolución industrial, el criterio de selección de las características que debería tener un alimento se basaba principalmente en el gusto y preferencias del conocimiento que el dueño del taller o fábrica tenía del consumidor de su producto. Además, en esa época, el estudio de los alimentos estaba centrado principalmente en que fueran inocuos (no causarían daño a la salud) y que fueran físico-químicamente estables (que no se modificaran su aspecto ni otros atributos), por ejemplo, que una mayonesa se mantuviera igual que recién preparada durante el almacenamiento antes de su consumo (en lenguaje común, que no se "cortara" o sea, que no se separaran el agua y el aceite que la componen).

La evaluación sensorial se ha definido como la disciplina científica utilizada para evocar, medir, analizar e interpretar esas respuestas a los productos percibidos a través de los sentidos de la vista, el olfato, el tacto, el gusto y el oído (Stone y Sidel, 2004).

El diseño de pruebas sensoriales

Cuando se diseña una prueba sensorial se deben tener en cuenta aspectos como el propósito del estudio, el tipo de prueba, el objetivo de la prueba, el tipo de persona que participa en la evaluación, o sea, si son jueces entrenados o consumidores; si para realizar la prueba, los jueces deben tener algún tipo de entrenamiento, si es necesario contar con un consentimiento informado de los evaluadores para que puedan participar, entre otros (Severiano, 2018).

Por otro lado, se tiene que conocer qué tipo de muestra se va a evaluar para determinar el tamaño o forma de la muestra, el volumen, y, si es necesario, servirlo acompañado de otro alimento, la temperatura para ser evaluado, el tiempo en que se debe evaluar, el horario en que se realizará la evaluación, pues si se trabaja con jueces entrenados normalmente las evaluaciones se realizan a media mañana o media tarde entre las 10:00-13:00 y 15:00-17:00 horas que son horarios en el que el juez está saciado pero no

lleno y tampoco tiene hambre (Severiano, 2018).

En cuanto al tipo de prueba que se aplica, se debe establecer si es necesario el uso de escala y las características de la misma; si se quiere un perfil sensorial (conocer todos los atributos sensoriales que presenta un alimento), por lo tanto, es necesario definir cuidadosamente los atributos sensoriales y la manera de evaluarlos (Severiano, 2018).

Requieren especial atención la preparación del material: considerar si el alimento se servirá frío o caliente, se debe identificar el material con un código de tres dígitos aleatorios y se debe preparar la aleatorización de las muestras. Si son muestras con atributos muy intensos se debe establecer qué se dará a los participantes para limpiar el paladar entre muestra y muestra, por ejemplo, para evaluar un producto graso, se da agua tibia para limpiar el paladar, pero para un alimento picante se da leche o agua y un trozo de pan blanco. Del mismo modo, debe considerarse si el participante recibirá alguna compensación por su participación (Severiano, 2018).

2. MATERIALES Y MÉTODOS

Para cumplir con los objetivos del estudio de investigación, se aplicaron el método inductivo y deductivo o de análisis y síntesis de los datos a obtener como resultado de los análisis sensoriales realizados a las seis muestras de las barras alimenticias evaluadas.

Esta investigación, según lo planteado, fue de tipo experimental en donde se elaboraron formulaciones, de variaciones dentro de su composición, que en función de la evaluación sensorial realizada, se eligió la mejor, y de esta formulación seleccionada se procederá a evaluar sus características físico-químicas, y valor nutricional, de tal manera se va a poder conocer los atributos físico-químicos, nutricionales y microbiológicos de nuestra barra energética a base de harina de orujo de uva y pasas de uva.

En primer lugar, se elaboraron a escala de laboratorio las seis muestras de barras alimenticias a partir

de diferentes porcentajes de harina de orujo de uva negra, harina de quinua y de avena, glucosa, miel de abeja, pasas de uva, agua, esencia de vainilla, bicarbonato de sodio y propionato de calcio.

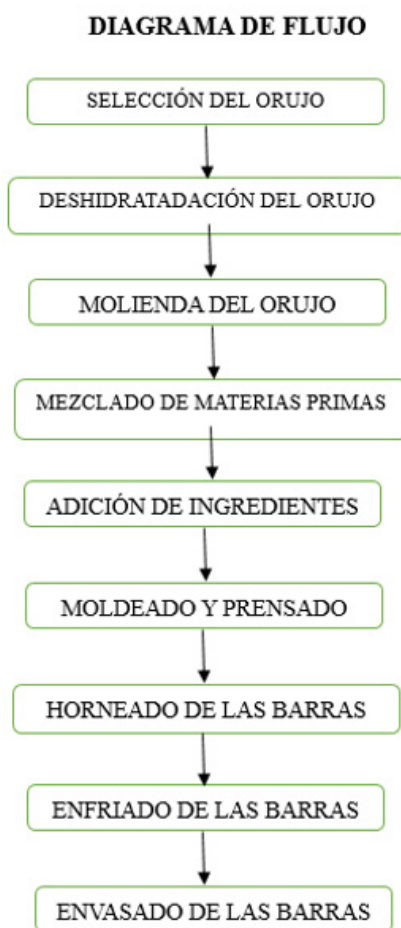
Descripción del proceso productivo

1. **RECOLECCIÓN DEL ORUJO:** Se procedió a recolectar el orujo de las diferentes bodegas cercanas a nuestra ciudad (Milcast Corp.), con el objeto de poder secarlo. Se utilizó orujo de uva de cepas negras, ya que contienen mayor cantidad de taninos, resveratrol y otros compuestos antioxidantes. En el laboratorio se procedió a realizar la selección del orujo que se va a deshidratar.
2. **DESHIDRATACIÓN O SECADO DEL ORUJO:** Una vez recolectado todo el orujo necesario para realizar las pruebas de laboratorio se procedió a secar el mismo en un horno (eléctrico o a gas) a una temperatura que no sobrepase los 55°C como máximo.
3. **MOLIENDA DEL ORUJO:** El orujo seco se pulverizó en un molino de martillos para obtener partículas finas de igual granulometría.
4. **MEZCLADO DE LA MATERIA PRIMA:** Al orujo deshidratado se le adicionó agua y otros ingredientes en diferentes porcentajes para preparar mezclas compactas y homogéneas.
5. **ADICIÓN DE LOS INGREDIENTES:** Se adicionaron los ingredientes (glucosa, pasas de uva, potenciadores de sabor, acidulantes, agentes de glaseado y conservantes) a las masas homogéneas hasta que se formaron masas elásticas y compactas.
6. **MOLDEADO Y PRENSADO:** Las masas se colocaron en la prensa de moldes de acero inoxidable construida y diseñada y se procedió a su prensado con el objeto de tener formas rígidas, resistentes y duras y que no se vayan a desmoronar.

7. **HORNEADO:** Las barras se hornearon a una temperatura que no sobrepasó los 120-140 °C y por un tiempo de 20 a 30 minutos en un horno, hasta que llegaron a su grado de cocimiento adecuado.
8. **ENFRIADO:** Las barras cocidas se dejaron enfriar a temperatura ambiente por un tiempo aproximado de 15 minutos.
9. **ENVASADO:** Se envasaron las barras en envases de plástico para su degustación.

En la figura 1 se ilustra el diagrama de flujo del proceso de elaboración de las barras alimenticias elaboradas a partir de harina de orujo de uva:

Figura 1 Diagrama de flujo del proceso productivo de la barra alimenticia



Fuente: Elaboración propia

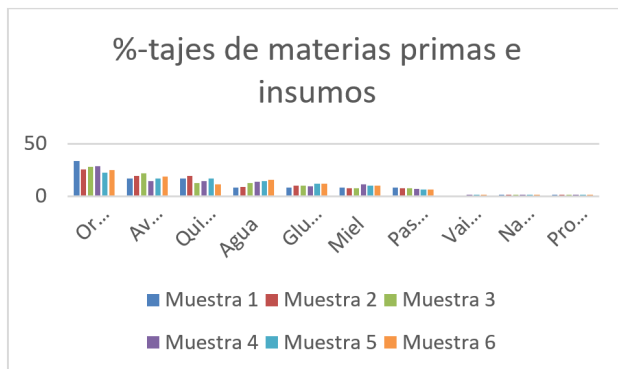
A continuación, se presentan los diferentes porcentajes de materias primas e insumos en las dosificaciones de las seis muestras de barras alimenticias elaboradas a partir de orujo de uva, que fueron elaboradas de acuerdo a los criterios técnicos de los investigadores y a cincuenta pruebas experimentales de dosificación durante 6 meses para formular los porcentajes de los ingredientes para las barras alimenticias:

Tabla 1: Porcentajes de materias primas e insumos utilizados para la elaboración de 6 muestras de barras alimenticias elaboradas a partir de orujo de uva

Nº de muestra	Orujo	Avena	Quinoa	Agua	Glucosa	Miel	Pasas	Vainilla	NaHCO ₃	Propionato
Muestra 1	33,57	16,79	16,79	8,05	8,05	8,05	8,05	0	0,54	0,11
Muestra 2	25,8	19,37	19,37	9,04	10,32	7,74	7,74	0	0,52	0,10
Muestra 3	27,97	21,74	12,43	12,43	9,9	7,47	7,46	0	0,50	0,10
Muestra 4	28,78	14,39	14,38	13,82	9,21	11,51	6,91	0,46	0,45	0,09
Muestra 5	22,3	16,73	16,73	14,49	12,27	10,04	6,69	0,23	0,45	0,07
Muestra 6	25,01	19,01	11,1	15,6	12,22	10,01	6,2	0,33	0,44	0,09

Fuente: Elaboración propia

Figura 2: Porcentajes de materias primas e insumos utilizados para la elaboración de las muestras de las barras alimenticias



Fuente: Elaboración propia.

Imagen 1: Dosificación y elaboración de las seis barras alimenticias a nivel de laboratorio.



Fuente: Elaboración propia

Luego de haber preparado las seis muestras se procedió a la elaboración del formulario de evaluación sensorial para que cinco jueces entrenados puedan realizar la evaluación sensorial a las seis muestras de barras alimenticias con diferentes dosificaciones de materias primas e insumos, el cual se puede apreciar en la imagen 2:

Imagen 2: Modelo de formulario de evaluación sensorial.

Proyecto: "Elaboración y comercialización de barras de cereales nutritivas a partir de harina de orujo de uva, dirigido a personas con regímenes especiales de alimentación"

FORMULARIO DE EVALUACIÓN POR EL COMITÉ TÉCNICO DE ANALISIS SENSORIAL DE LA BARRA ELABORADA A PARTIR DE ORUJO DE UVA

Nº	Detalle a evaluar	Nº de muestras						Observaciones
		1	2	3	4	5	6	
1	Color:							
2	Olor:							
3	Textura:							
4	Sabor:							
5	Firmeza:							
6	Forma:							
7	Aspecto:							
8	Consistencia:							

Fecha y nombre de evaluador:

Firma del experto evaluador:

Fuente: Elaboración propia

Tabla 2: Puntuación de acuerdo a escala hedónica

Valor	Escala hedónica de 5 puntos
5	Me gusta mucho
4	Me gusta moderadamente
3	No me gusta ni me disgusta
2	Me disgusta moderadamente
1	Me disgusta mucho

Fuente: Elaboración propia

Para cada atributo evaluación durante el análisis sensorial se le otorgó una calificación mínima de 1 y una máxima de 5 puntos

Finalmente se procedió a la elección de los cinco jueces entregados en la evaluación sensorial, de los cuales dos fueron de la ciudad de La Paz, dos del laboratorio CEANID (Centro de Análisis, Investigación y Desarrollo), perteneciente a la Universidad Juan Misael Saracho y un representante de la Universidad Católica Boliviana San Pablo Sede Tarija.

3. RESULTADOS

Imagen 3: Pruebas de evaluación sensorial realizadas.



Fuente: Elaboración propia

Las pruebas de evaluación sensorial se realizaron por los jueces expertos mencionados en la sala debidamente adecuada en las instalaciones de la Uni-

versidad Católica San Pablo Sede Tarija, como se puede apreciar en la imagen 3.

Se puede apreciar el trabajo de evaluación sensorial realizado por los cinco jueces entrenados cuatro mujeres y un varón para las seis muestras de las barras alimenticias elaboradas a partir de harina de orujo de uva como componente mayoritario.

Los atributos evaluados de las barras alimenticias elaborados fueron ocho: color, olor, textura, sabor, firmeza, forma, aspecto y consistencia.

Imagen 4: Formulario de evaluación sensorial llenado.

Proyecto: "Elaboración y comercialización de barras de cereales nutritivas a partir de harina de orujo de uva, dirigido a personas con regímenes especiales de alimentación"

FORMULARIO DE EVALUACIÓN POR EL COMITÉ TÉCNICO DE ANALISIS SENSORIAL DE LA BARRA ELABORADA A PARTIR DE ORUJO DE UVA

N°	Detalle a evaluar	N° de muestras						Observaciones
		1	2	3	4	5	6	
1	Color:	3	4	2	3	4	6	En alimentos el color oscuro no siempre es apto
2	Olor:	4	3	2	3	4	6	Agradable
3	Textura:	4	3	2	3	4	6	Se tiene que medir presión
4	Sabor:	4	3	2	3	4	6	Agradable
5	Firmeza:	4	3	2	3	4	6	Regular
6	Forma:	4	3	2	3	4	6	Regi: ra
7	Aspecto:	4	3	2	3	4	6	Regular
8	Consistencia:	4	3	2	3	4	6	Regular

31 25 16 24 32 36

Fecha y nombre de evaluador: 26/04/24 Gustavo Miranda A.

Firma del experto evaluador: [Firma]

Fuente: Elaboración propia

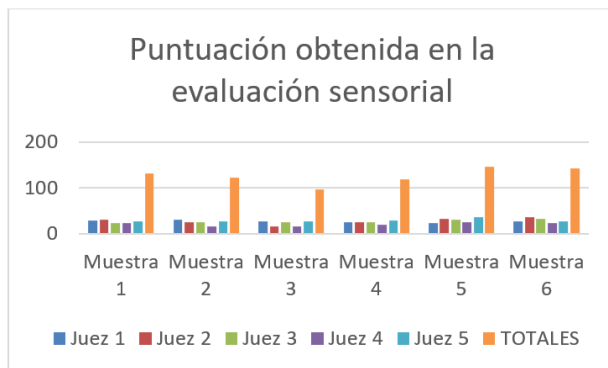
Las calificaciones de las evaluaciones sensoriales realizadas por los cinco jueces entrenados se tabulan en la tabla 3 que se presenta a continuación:

Tabla 3: Calificaciones de los jueces para las muestras seleccionadas

Calificaciones	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Muestra 4	Muestra 5	Muestra 6
Juez 1	28	30	26	24	23	26
Juez 2	31	25	16	24	32	36
Juez 3	23	25	24	24	31	32
Juez 4	23	15	15	19	25	23
Juez 5	27	27	26	28	35	26
TOTALES	132	122	97	119	146	143

Fuente: Elaboración propia en base a los formularios de evaluación sensorial llenados por los cinco jueces entrenados

Figura 3: Muestra ganadora de acuerdo al análisis sensorial realizado



Fuente: Elaboración propia.

Se puede apreciar de manera clara que la muestra cinco obtuvo la mayor calificación en promedio por los cinco jueces entrenados.

Imagen 5: Resultados composición nutricional de la muestra ganadora. CEANID, 2024.

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA "JUAN MISAEL SARACHO"
FACULTAD DE "CIENCIAS Y TECNOLOGÍA"
CENTRO DE ANÁLISIS, INVESTIGACIÓN Y DESARROLLO "CEANID"
Laboratorio Oficial del Ministerio de Salud y Deportes
Red Nacional de Laboratorios Oficiales de Análisis de Alimentos
Red Nacional de Laboratorios de Micronutrientes
Laboratorio Oficial del "SENASA"

INFORME DE ENSAYO
I. INFORMACIÓN DEL SOLICITANTE

Cliente: Universidad Católica Boliviana
Solicitante: Universidad Católica Boliviana
Dirección: Calle Colón N° 585
Teléfono/Fax: 07370853 Correo-e: ***** Código: AL 0340/24

II. INFORMACIÓN DE LA MUESTRA

Descripción de la muestra: Barra Alimenticia elaborada a partir de orujo de uva #5
Código de muestreo: 02 Fecha de vencimiento: ***** Lote: *****
Fecha y hora de muestreo: 2024-06-17 Hr.: 11:00 am
Procedencia (Localidad/Prov./País): Tarija - Cercado - Tarija, Bolivia
Lugar de muestreo: Lugar de elaboración
Responsable de muestreo: Valentín Trigo
Código de la muestra: 0911 FQ 0650 Fecha de recepción de la muestra: 2024-06-18
Cantidad recibida: 400 g Fecha de ejecución de ensayo: De 2024-06-18 al 2024-07-01

III. RESULTADOS

PARÁMETRO	TÉCNICA y/o MÉTODO DE ENSAYO	UNIDAD	RESULTADO	LÍMITES PERMISIBLES DE LOS LÍMITES		REFERENCIA DE LOS LÍMITES
				Mín.	Max.	
Físico Químico						
Cenizas	NB 3004-10	g/100g	3,21	Sin referencia	Sin referencia	Sin referencia
Fibra	Digestión ácida	g/100g	6,74	Sin referencia	Sin referencia	Sin referencia
Grasa	NB 312019-08	g/100g	5,89	Sin referencia	Sin referencia	Sin referencia
Hidratos de carbono	NB 312011-08	g/100g	73,38	Sin referencia	Sin referencia	Sin referencia
Humedad	NB 312010-05	g/100g	7,50	Sin referencia	Sin referencia	Sin referencia
Proteína total (N x 6,25)	NB/ISO 8968-1-08	g/100g	10,02	Sin referencia	Sin referencia	Sin referencia
Valor energético	NB 312012-06	Kcal/100 g	387	Sin referencia	Sin referencia	Sin referencia

Nota: El presente informe solo puede ser reproducido en forma parcial y/o total, con la autorización del CEANID.
3) Los datos de la muestra y el muestreo, fueron suministrados por el cliente.

Tarija, 01 de julio del 2024

M.Sc. Ing. Freddy G. López Zamora
JEFE CEANID

Original: Cliente
Copia: CEANID

Dirección: Campus Universitario Facultad de Ciencias y Tecnología Zona "El Tejar" Tel: (591) 41 6645648
Fax: (591) 41 6643403 - Email: ceanid@upm.edu.bo - Casilla 51 - TARIJA - BOLIVIA

4. DISCUSIÓN

La evaluación sensorial comprende un conjunto de técnicas para una medición precisa de las respuestas humanas a los alimentos y minimiza los efectos potencialmente sesgados de la identidad de marca y otra información que pueda tener influencia en percepción del consumidor. Como tal, intenta aislar las propiedades sensoriales de los alimentos en sí mismos y proporciona información importante y útil sobre las características sensoriales de sus productos, a los desarrolladores, científicos de alimentos y gerentes (Lawless&Haymann, 2010).

Las metodologías sensoriales se dividen en dos grandes grupos: en metodologías analíticas y metodologías afectivas.

Las metodologías analíticas estudian los límites en que son percibidas las muestras, si existen diferencias sensorialmente perceptibles entre ellas, las características de las muestras y la intensidad en las que se presentan, entre otras. Para realizarlas se necesitan jueces entrenados y el nivel de entrenamiento dependerá del tipo de prueba a realizar y del alimento a evaluar, así, por ejemplo, si se utilizara una escala para cuantificar un atributo como la firmeza, el juez será seleccionado para poder utilizar escalas como la estructurada con descriptores y estándares (Severiano, 2018).

Por otro lado, si se va a realizar una metodología afectiva se trabajará con consumidores que serán seleccionados en función del objetivo de la prueba y estos pueden ser consumidores habituales (es decir, personas que consumen de manera regular el producto) o no habituales (que lo consumen de forma esporádica, tal vez una barra alimenticia en meses) o estarán definidos en función de sus características sociodemográficas, como ser edad, género, escolaridad, nivel socioeconómico, por mencionar algunas (Severiano, 2018).

El orujo de la uva remanente presenta elevados contenidos de compuestos fenólicos, retiene entre el 30 a 40 % del total de compuestos fenólicos en las pieles y entre 60 a 70 % en las semillas. El grado de extracción depende de la variedad de la uva, la madurez de la baya, factores ambientales y tecnológicos, así como los procedimientos realizados en la etapa de vinificación. Las características químicas de los extractos de orujo de uva se relacionan en gran parte con el contenido de compuestos fenólicos. Los compuestos fenólicos son metabolitos secundarios que se han asociados con diversas propiedades nutricionales y en beneficio de la salud. Estos compuestos se caracterizan por tener una gran capaci-

dad antioxidante, es decir, poseen el poder de captar radicales libres (Krammerer, 2024).

Otra característica que presentan los orujos de uvas son el alto contenido de fibra dietaria y proteína lo que le permite ser usado como aditivo logrando incrementar el valor nutricional de productos alimenticios elaborados a partir de ella. La fibra dietaria posee una serie de efectos beneficiosos en la salud, destacando el efecto laxante, prevención de cardiopatía, coronaria isquémica, su rol en la regulación del colesterol y glucosa plásmica, además, de la regulación de peso y la prevención de algunos tipos de cáncer. Según la American Dietetic se recomienda una ingesta de fibra dietaria entre 20 g a 35 g al día. Actualmente el orujo de uva es utilizado para la recuperación de ácido tartárico o etanol, sin embargo, se genera un residuo con alto contenido de compuestos fenólicos. Por otro lado, su incorporación reduce la digestibilidad debido a la presencia de polifenoles poliméricos (lignina) al inhibir las enzimas, celulíticas y proteolíticas, por su alto contenido de fibra puede ser usada como aditivo en la industria alimentaria, para la fabricación de pastas, galletas, barras, panes, entre otros (ANIA, 2015).

5. CONCLUSIONES

Se logró en primera instancia obtener harina de orujo a partir de las variedades de uvas tintas, Tannat provenientes de la producción de vinos en el Valle Central de Tarija, por medio de secado en horno a una temperatura de 50.-55 °C, las cuales son fuentes de compuestos bioactivos y fibra dietaria. En general los resultados obtenidos concuerdan con otros autores y permiten considerar a la harina de orujo de uvas de tintas como insumos en la formulación o elaboración de otros productos alimenticios y afines.

Se prepararon seis muestras con diferentes dosificaciones de materias primas en insumos (harinas de orujo, avena y quinua, miel de abeja, glucosa, agua, pasas de uva, vainilla, NaHCO₃ y propionato de cal-

cio), para que puedan ser evaluadas por los cinco jueces entrenados durante la evaluación sensorial realizada.

La muestra con mayor puntuación elegida por los cinco jueces entrenados resultó ser la número cinco, por lo tanto, en base a la evaluación sensorial se va a proceder estandarizar su elaboración con los porcentajes de materias primas e insumos previamente establecidos.

Las muestras cuatro, cinco y seis fueron llevadas al laboratorio de análisis de alimentos con el objeto de realizar las mediciones de los valores de sus composiciones nutricionales y verificar su valor energético, en donde se puede evidenciar que los porcentajes de fibra, carbohidratos y proteína son bastante elevados, lo cual indica que dichos productos alimenticios pueden ser consumidores por personas de regímenes especiales de alimentación, con el objeto de balancear su dieta y consumir productos de bajo valor en cuanto a grasas, pero altamente nutritivos.

6. BIBLIOGRAFÍA

- ANIA. (2015). Tres vidas para la uva. Fecha de consulta, 15 de febrero de 2024, de <https://www.ainia.es/ainia-news/tres-vidas-para-la-uva/>
- Antonioli A. (2018). Beneficios nutricionales del orujo Malbec, UNICUYO, Facultad de Ciencias Agrarias, Mendoza Argentina, Fecha de consulta, 05 de marzo del 2024, de <https://www.uncuyo.edu.ar/prensa/prueban-los-beneficios-nutricionales-del-orujo-del-malbec#:~:text=%E2%80%9CTienen%20funciones%20antioxidantes%2C%20entre%20otras,la%20diabetes%E2%80%9D%2C%20agrega%20Antonioli.>
- AOAC. (2019). Official Methods of Analysis of Association of Official Analytical Chemists International. Method 930.04 Method 930.09, Method 920.152, Method 940.26 (21st ed.). Gaithersburg, USA.
- AOAC. (1997). Official Methods of Analysis of Association of Official Analytical Chemists (AOAC) International, Method 960.52 (16th ed.). AOAC International.
- Arnao, M. B., Cano, A., & Acosta, M. (2001). The hydrophilic and lipophilic contribution to total antioxidant activity. Food chemistry, N° 73(vol. 2), pp. 239- 244.
- Baraybar A.L; Monje C.R. (2017). Obtención de células de trichoderma a partir de orujo de uva. Tesis de grado. Arequipa Peru.
- Barriga-Sánchez, M.; Hiparraguirre, H.; Rosales-hartshorn, M. (2022). Chemical composition and mineral content of Black Borgoña (Vitis labrusca L.) grapes, pomace and seeds, and effects of conventional and non-conventional extraction methods on their antioxidant properties. Food Science and Technology, vol. 42. Pp. 23-34. Octubre 2022.
- Córdova Mendoza, P., Yarasca Arcos, F. E., Barrios Mendoza, T. O., Córdova Barrios, I. C., & Zuzunaga Morales, R. (2020). Evaluación de tecnologías para el tratamiento de las vinazas provenientes de la destilación del Pisco en Ica. Lima. Perú
- D'Amario, M. (2018). Extracción y caracterización de compuestos bioactivos remanentes en orujo y su utilización en la industria alimentaria con fines tecnológicos. Tesis de grado. Universidad Nacional de Cuyo. Mendoza. Argentina.
- De la Cruz Azabache MR, Astocóndor DA. (2013). Elaboración y especificaciones técnicas del pisco peruano tercera etapa-planta prototipo. Revista TECNIA N° 23 (vol 1). pp. 1-5. Junio 2013.
- Escudero Álvarez, E. González Sánchez, P. (2006). La fibra dietética. Revista Nutrición hospitalaria, vol. 21, pp. 61-72. Mayo 2006.

- Florez Parra L. (2016). Implementación de un método enzimático – Gravimétrico para la determinación de fibra dietaria soluble e insoluble en residuos cacao. Tesis de grado, Universidad Industrial de Santander. Bucaramanga. Colombia.
- Gaita, C., Alexa, E., Moigridean, D., & Poiana, M. A. (2020). Designing of high value-added pasta formulas by incorporation of grape pomace skins. *Romanian Biotechnological Letters*, vol. 10. pp. 15-32. Junio 2020
- García Pastor, M. E. (2016). Contenido de antocianos y compuestos fenólicos en diferentes frutos frescos y deshidratados. Tesis de grado. Universidad Miguel Hernández De Elche – Escuela Superior de Orihuela – España.
- Kammerer, D.; Claus, A.; Carle, R.; Schieber, A. (2004). Polyphenol Screening of Pomace from Red and White Grape Varieties (*Vitis vinífera* L.) by HPLC/DAD-MS/MS. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. Vol. 56, pp. 4360- 4367. Marzo 2004.
- Kuskoski, E. M.; Asuero A. G.; Troncoso A, T. Mancini-filho, J.; Fett, R. (2005). Aplicación de diversos métodos químicos para determinar actividad antioxidante en pulpa de frutas. *Cienc. Tecnol. Aliment.*, Campinas, N° 25(vol. 4), pp. 726-732. Abril 2005.
- Lawless y Haymann, H. (2010). *Sensory evaluation of food. principles and practices*. 2a ed. Springer, Food science texts series. Washington. USA.
- Londoño, J. A. (2012). Antioxidantes: importancia biológica y métodos para medir su actividad. *Desarrollo y transversalidad serie Lasallista Investigación y Ciencia*. Corporación Universitaria Lasallista, Lima Perú.
- Monteiro GC, Minatel IO, Junior AP, Gomez-Gomez HA, de Camargo JP, Diamante MS, Basílio LS, Tecchio MA, Lima GP. (2021). Bioactive compounds and antioxidant capacity of grape pomace flours. *LWT*. San Pablo Brazil.
- Muñoz E. C. (2019). Utilización de un pre tratamiento enzimático en la extracción de antocianinas a partir de orujo de uva. Tesis de grado. Universidad Nacional Agraria La Molina. Lima Perú.
- Nawirska, A. y Kwasniewska, M. (2005). Dietary fibre fractions from fruit and vegetable processing waste. *Food Chemistry* 91, pp. 221-225. Febrero 2005.
- Nunes, M. A.; Rodrigues, F.; Oliveira, M. B. (2017). Grape processing by-products as active ingredients for cosmetic proposes. En *Handbook of grape processing by-products*. Academic Press N° 67, pp. 267- 292. Julio 2017.
- Peñarrieta, J. M., Tejeda, L., Mollinedo, P., Vila, J. L., & Bravo, J. A. (2014). Phenolic compounds in food. *Revista boliviana de química*, N° 31, vol. 2, pp. 68- 81. Agosto 2014.
- Rangana, S. (1979). *Manual of analysis of fruit and vegetable products*. Tata: McGraw-Hill. New York, USA.
- Reyes M., Gómez-Sánchez I., Espinoza C. (2017). *Tablas peruanas de composición de alimentos*. Instituto Nacional de Salud. Lima Perú.
- Reyes, R. M.; Segura, E. P.; Ilina, A.; Ascacio, J. A.; Rodríguez, R.; Vargas, A.; Ruelas, X.; Flores, A. C. (2020). Determinación del contenido polifenólico en orujo de uva de diferentes variedades procedentes de la región de Coahuila. *Investigación y Desarrollo en Ciencia y Tecnología de Alimentos*. Vol 5, pp. 687-691. Junio 2020

- Selani, M. M.; Contreras-Castillo, C.J.; Shirahigue, L. D.; Gallo, C. R.; Plata-Oviedo, M.; Montes-Villanueva, N. D. (2011). Wine industry residues extracts as natural antioxidants in raw and cooked chicken meat during frozen storage. *Meat Sci.* 88, pp. 397-403. Marzo 2011
- Severiano-Pérez, P., Cadena, A. A. A., Vargas, Ch, D. y Guevara, G. R. Questionnaire on Mexican's familiarity with odor names. *Journal of Sensory Studies*, 277-285, 2012.
- Severiano-Pérez, P. (2018). Qué es y cómo se utiliza la evaluación sensorial. *Journal of Sensory Studies* N° 43, pp. 2-12, julio 2018.
- Solari, J.; Pérez, F.; Saura, A.J.; Borderías, H.M. (2017). Anchovy mince (*Engraulis ringens*) enriched with polyphenolrich grape pomace dietary fibre: In vitro polyphenols bioaccessibility, antioxidant and physico-chemical properties, *Food Research International* N° 78, pp. 6-32. abril 2017.
- Šporin, M.; Avbelj, M.; Kovač, B.; Možina, S.S. (2018) Quality characteristics of wheat flour dough and bread containing grape pomace flour. *Food Sci. Technol. Int.*, 24, pp. 251-263. Septiembre 2018.
- Stone, H. y Sidel, J. (2004). *Sensory evaluation practices*, 3a ed. Elsevier Academic Press. London England.
- Swain, T., & Hillis, W. (1959). The quantitative analysis of phenolic constituents. *J. Sci. Food Agric* N° 3, pp. 63-69. Mayo 1959
- Theagarajan, R.; Malur Narayanaswamy, L.; Dutta, S.; Moses, J.A.; Chinnaswamy, A. (2019). Valorisation of grape pomace (cv. Muscat) for development of functional cookies. *Int. J. Food Sci. Technol.*, 54, pp. 1299-1305. Abril 2019
- Vivanco, R. (2018). La industria vitivinícola en el Perú, problemática, alternativas. Tesis de grado. Universidad Nacional de Educación Enrique Guzmán y Valle. Lima Perú.
- Zúñiga M. C. (2025). Caracterización de fibra dietaria en orujo y capacidad antioxidante en vino, hollejo y semilla de uva. Tesis de grado. Universidad de Chile. Santiago Chile.

NORMAS DE PUBLICACIÓN DE LA REVISTA CIENCIA SUR

1. ENVIÓ Y PRESENTACIÓN

- La Revista "CIENCIA SUR", recibe trabajos originales en idioma español. Los mismos deberán ser remitidos en formato electrónico en un archivo de tipo Word compatible con el sistema Windows y también en forma impresa.
- Los textos deben ser enviados en formato de hoja tamaño carta (ancho 21,59 cm.; alto 27,94 cm.) en dos columnas. El tipo de letra debe ser Arial, 10 dpi interlineado simple. Los márgenes de la página deben ser, para el superior, interior e inferior 2 cm. y el exterior de 1 cm.
- La extensión total de los trabajos para los artículos de investigación, científica y tecnológica tendrán una extensión máxima de 15 páginas (incluyendo la bibliografía consultada) y no tener una antigüedad mayor a los 5 años, desde la finalización del trabajo de investigación.
- Para los artículos de reflexión y revisión se tiene una extensión de 10 páginas. En el caso de los textos para los artículos académicos se tiene un mínimo de 5 páginas.
- Los trabajos de investigación (artículos originales) deben incluir un resumen en idioma español y en inglés, de no más de 250 palabras.
- En los trabajos de investigación científica y tecnológica, y en los artículos de revisión y de temas académicos deben incluirse de 3 a 5 palabras clave en cada caso.
- En cuanto a los autores, deben figurar en el trabajo todas las personas que han contribuido sustancialmente en la investigación. El orden de aparición debe corresponderse con el orden de contribución al trabajo, reconocién-

dose al primero como autor principal. Los nombres y apellidos de todos los autores se deben identificar apropiadamente, así como las instituciones de adscripción (nombre completo, organismo, ciudad y país), dirección y correo electrónico.

- La Revista "CIENCIA SUR", solo recibe trabajos originales e inéditos, que no hayan sido publicados anteriormente y que no estén siendo simultáneamente considerados en otras publicaciones nacionales e internacionales. Por lo tanto, los artículos deberán estar acompañados de una Carta de Originalidad, firmada por todos los autores, donde certifiquen la originalidad del escrito presentado.

2. FORMATO DE PRESENTACIÓN

Para la presentación de los trabajos se debe tomar en cuenta el siguiente formato para los artículos científicos:

- Título del Artículo. El título del artículo debe ser claro, preciso y sintético, con un texto de 20 palabras como máximo.
- Autores. Un aspecto muy importante en la preparación de un artículo científico, es decidir, acerca de los nombres que deben ser incluidos como autores, y en qué orden. Generalmente, está claro que quien aparece en primer lugar es el autor principal, además es quien asume la responsabilidad intelectual del trabajo. Por este motivo, los artículos para ser publicados en la Revista INVESTIGACIÓN & DESARROLLO, adoptaron el siguiente formato para mencionar las autorías de los trabajos.

Se debe colocar en primer lugar el nombre del autor principal, investigador, e investigador junior,

posteriormente los asesores y colaboradores si los hubiera. La forma de indicar los nombres es la siguiente: en primer lugar, debe ir los apellidos y posteriormente los nombres, finalmente se escribirá la dirección del Centro o Instituto, Carrera a la que pertenece el autor principal. En el caso de que sean más de seis autores, incluir solamente el autor principal, seguido de la palabra latina "et al", que significa "y otros" y finalmente debe indicarse la dirección electrónica (correo electrónico).

- **Resumen y Palabras Clave.** El resumen debe dar una idea clara y precisa de la totalidad del trabajo, incluirá los resultados más destacados y las principales conclusiones, asimismo, debe ser lo más informativo posible, de manera que permita al lector identificar el contenido básico del artículo y la relevancia, pertinencia y calidad del trabajo realizado.
- Se recomienda elaborar el resumen con un máximo de 250 palabras, el mismo que debe expresar de manera clara los objetivos y el alcance del estudio, justificación, metodología y los principales resultados obtenidos.
- En el caso de los artículos originales, tanto el título, el resumen y las palabras clave deben también presentarse en idioma inglés.
- **Introducción.** La comunicación, además resume el fundamento lógico del estudio. Se debe mencionar las referencias estrictamente pertinentes, sin hacer una revisión extensa del tema investigado.
- **Materiales y Métodos.** Debe mostrar, en forma organizada y precisa, como fueron alcanzados cada uno de los objetivos propuestos.
- La metodología debe reflejar la estructura lógica y el rigor científico que ha seguido el proceso de investigación desde la elección de un enfoque metodológico específico (preguntas con hipótesis fundamentadas corres-

pondientes, diseños muestrales o experimentales, etc.), hasta la forma como se analizaron, interpretaron y se presentan los resultados. Deben detallarse, los procedimientos, técnicas, actividades y demás estrategias metodológicas utilizadas para la investigación. Deberá indicarse el proceso que se siguió en la recolección de la información, así como en la organización, sistematización y análisis de los datos. Una metodología vaga o imprecisa no brinda elementos necesarios para corroborar la pertinencia y el impacto de los resultados obtenidos.

- **Resultados.** Los resultados son la expresión precisa y concreta de lo que se ha obtenido efectivamente al finalizar el proyecto, y son coherentes con la metodología empleada. Debe mostrarse claramente los resultados alcanzados, pudiendo emplear para ello cuadros, figuras, etc.
- **Discusión.** El autor debe ofrecer sus propias opiniones sobre el tema, se dará énfasis en los aspectos novedosos e importantes del estudio y en las conclusiones que pueden extraerse del mismo. No se repetirán aspectos incluidos en las secciones de Introducción o de Resultados. En esta sección se abordarán las repercusiones de los resultados y sus limitaciones, además de las consecuencias para la investigación en el futuro. Se compararán las observaciones con otros estudios pertinentes. Se relacionarán las conclusiones con los objetivos del estudio, evitando afirmaciones poco fundamentadas y conclusiones avaladas insuficientemente por los datos.
- **Bibliografía Utilizada.** La bibliografía utilizada, es aquella a la que se hace referencia en el texto, debe ordenarse en orden alfabético y de acuerdo a las normas establecidas para las referencias bibliográficas (Punto 5).

- Tablas y Figuras. Todas las tablas o figuras deben ser referidas en el texto y numeradas consecutivamente con números arábigos, por ejemplo: Figura 1, Figura 2, Tabla 1 y Tabla 2. No se debe utilizar la abreviatura (Tab. o Fig.) para las palabras tabla o figura y no las cite entre paréntesis. De ser posible, ubíquelas en el orden mencionado en el texto, lo más cercano posible a la referencia en el mismo y asegúrese que no repitan los datos que se proporcionen en algún otro lugar del artículo.
- El texto y los símbolos deben ser claros, legibles y de dimensiones razonables de acuerdo al tamaño de la tabla o figura. En caso de emplearse en el artículo fotografías y figuras de escala gris, estas deben ser preparadas con una resolución de 250 dpi. Las figuras a color deben ser diseñadas con una resolución de 450 dpi. Cuando se utilicen símbolos, flechas, números o letras para identificar partes de la figura, se debe identificar y explicar claramente el significado de todos ellos en la Leyenda.
- Referencias Bibliográficas. Las referencias bibliográficas que se utilicen en la redacción del trabajo; aparecerán al final del documento y se incluirán por orden alfabético. Debiendo adoptar las modalidades que se indican a continuación:
 - Referencia de Libro
 - Apellidos, luego las iniciales del autor en letras mayúsculas. Año de publicación (entre paréntesis). Título del libro en cursiva que, para el efecto, las palabras más relevantes las letras iniciales deben ir en mayúscula. Editorial y lugar de edición.
 - Tamayo y Tamayo, M. (1999). El Proceso de la Investigación Científica, incluye Glosario y Manual de Evaluación de Proyecto. Editorial Limusa. México.
 - Rodríguez, G., Gil, J. y García, E. (1999). Metodología de la Investigación Cualitativa. Ediciones Aljibe. España.
 - Referencia de Capítulos, Partes y Secciones de Li-bro.
 - Apellidos, luego las iniciales del autor en letras mayúsculas. Año de publicación (entre paréntesis). Título del capítulo de libro en cursiva que para el efecto, las palabras más relevantes las letras iniciales deben ir en mayúscula. Colocar la palabra, en, luego el nombre del editor (es), título del libro, paginas. Editorial y lugar de edición.
 - Reyes, C. (2009). Aspectos Epidemiológicos del Delirium. En M. Felipe. y O. José (eds). Delirium: un gigante de la geriatría (pp. 37-42). Manizales: Universidad de Caldas
 - Referencia de Revista.
 - Autor (es), año de publicación (entre paréntesis), título del artículo, en: Nombre de la revista, número, volumen, paginas, fecha y editorial.
 - López, J.H. (2002). Autoformación de Docentes a Tiempo Completo en Ejercicio. En Ventana científica, N° 2. Volumen 1. pp 26 — 35. Abril de 2002, Editorial Universitaria.
 - Referencia de Tesis. Autor (es). Año de publicación (entre paréntesis). Título de la tesis en cursiva y en mayúsculas las palabras más relevantes. Mención de la tesis (indicar el grado al que opta entre paréntesis). Nombre de la Universidad, Facultad o Instituto. Lugar.
 - Página Web (World Wide Web).
 - Autor (es) de la página. (Fecha de publicación o revisión de la página, si está disponible). Título de la página o lugar (en cursiva). Fecha de consulta (Fecha de acceso), de (URL — dirección).

- Puente, W. (2001, marzo 3). Técnicas de Investigación. Fecha de consulta, 15 de febrero de 2005, de <http://www.rrppnet.com.ar/tecnicas-deinvesti-gacion.htm>
- Duran, D. (2004). Educación Ambiental como Con-tenido Transversal. Fecha de consulta, 18 de febrero de 2005, de <http://www.ecoportal.net/content/view/ful1/37878>
- Libros Electrónicos. Autor (es) del artículo ya sea institución o persona. Fecha de publicación. Título (palabras más relevantes en cursiva). Tipo de medio [entre corchetes]. Edición. Nombre la institución patrocinante (si lo hubiera) Fecha de consulta. Disponibilidad y acceso. Ortiz, V. (2001). La Evaluación de la Investigación como Funciona Sustantiva. [Libro en lineal Serie Investigaciones (ANUIES). Fecha de consulta: 23 febrero 2005. Disponible en: <http://www.anuies.mx/index800.html>
- Referencias de Citas Bibliográficas en el Texto. Para todas las citas bibliográficas que se utilicen y que aparezcan en el texto se podrán asumir las siguientes formas:
- De acuerdo a Martínez, C. (2010), la capacitación de docentes en investigación es tarea prioritaria para la Universidad.
- En los cursos de capacitación realizados se pudo constatar que existe una actitud positiva de los docentes hacia la investigación (Fernández, R. 2012).
- En el año 2014, Salinas, M. indica que la de capacitación en investigación es fundamental para despertar en los docentes universitarios, la actitud por investigar.

3. DERECHOS DE AUTOR

Los conceptos y opiniones de los artículos publicados son de exclusiva responsabilidad de los autores. Dicha responsabilidad se asume con la sola publicación del artículo enviado por los autores. La concesión de Derechos de autor significa la autorización para que la Revista "CIENCIA SUR", pueda hacer use del artículo, o parte de él, con fines de divulgación y difusión de la actividad científica y tecnológica. En ningún caso, dichos derechos afectan la propiedad intelectual que es propia de los(as) autores(as). Los autores cuyos artículos se publiquen recibirán un certificado y 1 ejemplar de la revista donde se publica su trabajo.



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA
JUAN MISAEL SARACHO



DICYT
Departamento de Investigación,
Ciencias y Tecnología - UAJMS

Revista **CIENCIA SUR**

Tarija - Bolivia