

UNIVERSIDAD SAN FRANCISCO DE QUITO USFQ

Colegio de Ciencias e Ingenierías

**ESTRATEGIAS DE REDUCCIÓN EN LA VOLATILIDAD DE
POLVOS FINOS EN BEBIDAS EN POLVO: MEJORA DE LA
HERMETICIDAD DEL MATERIAL DE ENVASE**

Adrian Genaro Andrango Pachacamac

Ingeniería Química

Trabajo de fin de carrera presentado como requisito
para la obtención del título de

INGENIERO QUÍMICO

Quito, 13 de Mayo de 2025

UNIVERSIDAD SAN FRANCISCO DE QUITO USFQ**Colegio de Ciencias e Ingenierías****HOJA DE CALIFICACIÓN
DE TRABAJO DE FIN DE CARRERA****ESTRATEGIAS DE REDUCCIÓN EN LA VOLATILIDAD DE POLVOS
FINOS EN BEBIDAS EN POLVO: MEJORA DE LA HERMETICIDAD
DEL MATERIAL DE ENVASE****Adrian Genaro Andrango Pachacamac****Nombre del profesor, Título académico****Karla Ricaurte Ayala, M. Sc****Herman Murillo Romero, Ph. D.**

Quito, 13 de Mayo de 2025

© DERECHOS DE AUTOR

Por medio del presente documento certifico que he leído todas las Políticas y Manuales de la Universidad San Francisco de Quito USFQ, incluyendo la Política de Propiedad Intelectual USFQ, y estoy de acuerdo con su contenido, por lo que los derechos de propiedad intelectual del presente trabajo quedan sujetos a lo dispuesto en esas Políticas.

Asimismo, autorizo a la USFQ para que realice la digitalización y publicación de este trabajo en el repositorio virtual, de conformidad a lo dispuesto en la Ley Orgánica de Educación Superior del Ecuador.

Nombres y apellidos: Adrian Genaro Andrango Pachacamac

Código: 00324011

Cédula de identidad: 1754920112

Lugar y fecha: Quito, 09 de Mayo de 2025

ACLARACIÓN PARA PUBLICACIÓN

Nota: El presente trabajo, en su totalidad o cualquiera de sus partes, no debe ser considerado como una publicación, incluso a pesar de estar disponible sin restricciones a través de un repositorio institucional. Esta declaración se alinea con las prácticas y recomendaciones presentadas por el Committee on Publication Ethics COPE descritas por Barbour et al. (2017) Discussion document on best practice for issues around theses publishing, disponible en <http://bit.ly/COPETheses>.

UNPUBLISHED DOCUMENT

Note: The following capstone project is available through Universidad San Francisco de Quito USFQ institutional repository. Nonetheless, this project – in whole or in part – should not be considered a publication. This statement follows the recommendations presented by the Committee on Publication Ethics COPE described by Barbour et al. (2017) Discussion document on best practice for issues around theses publishing available on <http://bit.ly/COPETheses>.

RESUMEN

Este estudio aborda el desafío de la volatilidad de polvos finos en bebidas en polvo, centrándose específicamente en el fallo de hermeticidad de los envases laminados causado por la inclusión de neotame como edulcorante principal. Aunque el neotame ofrece ventajas como alta intensidad dulce y un perfil de sabor limpio, sus propiedades físicas provocan migración de partículas y fallos en el sellado del empaque. La investigación buscó resolver este problema mediante la optimización de parámetros de mezclado y técnicas de encapsulación para reducir la fragmentación y volatilidad de las partículas. Experimentos a nivel laboratorio y piloto demostraron que encapsular el neotame dentro de partículas más grandes y reducir el tiempo de mezclado a 24 minutos minimizó efectivamente la pérdida de partículas finas, logrando una distribución granulométrica comparable a la formulación tradicional. Los análisis sensoriales y fisicoquímicos confirmaron que la nueva formulación mantuvo la calidad del producto, mientras que pruebas aceleradas de almacenamiento y transporte validaron la mejora en la hermeticidad del empaque. Los resultados destacan la viabilidad técnica y económica de sustituir edulcorantes tradicionales por neotame, siempre que se implementen ajustes en el proceso. Este trabajo no solo resuelve un problema industrial crítico, sino que también establece un precedente para la integración de ingredientes volátiles en productos alimenticios en polvo, con aplicaciones potenciales en otros sectores.

Palabras clave: neotame, coadyuvante, hermeticidad, encapsulación de partículas, panel sensorial, granulometría.

ABSTRACT

This study addresses the challenge of fine powder volatility in powdered beverages, specifically focusing on the hermeticity failure of laminated packaging caused by the inclusion of Neotame as the primary sweetener. Neotame, while offering significant advantages such as high sweetness intensity and clean flavor profile, presents physical properties that lead to particle migration and packaging seal failures. The research aimed to solve this issue by optimizing mixing parameters and implementing encapsulation techniques to reduce particle fragmentation and volatility. Laboratory and pilot-scale experiments demonstrated that encapsulating neotame within larger particles and reducing mixing time to 24 minutes effectively minimized fine particle loss, achieving comparable granulometric distribution to the traditional formulation. Sensory and physicochemical analyses confirmed that the new formulation maintained product quality, while accelerated storage and transport tests validated the improved hermeticity of the packaging. The results highlight the technical and economic feasibility of substituting traditional sweeteners with neotame, provided process adjustments are implemented. This work not only resolves a critical industrial problem but also sets a precedent for the integration of volatile ingredients in powdered food products, with potential applications extending to other sectors.

Keywords: neotame, processing aid, hermeticity, particle encapsulation, sensory panel, granulometry.

TABLA DE CONTENIDO

INTRODUCCIÓN	11
1. Antecedentes y justificación	11
2. Objetivos	15
o Objetivo general	
o Objetivos específicos	
METODOLOGÍA	16
1. Nivel 1: laboratorio	17
2. Nivel 2: planta piloto	18
3. Evaluación de hermeticidad y almacenamiento	19
RESULTADOS Y DISCUSIÓN	22
1. Nivel 1: análisis de pH y granulometría	22
2. Nivel 2: validación en planta piloto	25
3. Panel sensorial	27
4. Pruebas de tanque y transporte	29
CONCLUSIONES	33
RECOMENDACIONES	35
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	37
ANEXOS	40
• Anexo A: Mezcla final de estrategias de nivel laboratorio	40
• Anexo B: Script de R-Studio para análisis sensorial	41

- Anexo C: Recuento microbiológico 43

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. pH en cada uno de los puntos del mezclador para cada fórmula	22
Tabla 2. Estudio granulométrico, peso retenido de todas las propuestas.....	24
Tabla 3. Granulometría fórmula patrón y fórmula con Neotame	25

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Diagrama de bloques de la investigación	21
Figura 2. Validación de pH en cada fórmula implementada en N1	22
Figura 3. Estudio de granulometría de todas las propuestas de fórmulas en nivel 1 ..	24
Figura 4. Estudio de granulometría fórmula patrón y fórmula con Neotame	26
Figura 5. Verificación de significancia del panel sensorial triangular en R-Studio	27

INTRODUCCIÓN

El neotame es un edulcorante artificial de alta intensidad, derivado de la aspartama pero con una potencia significativamente mayor, ya que es entre 7,000 y 13,000 veces más dulce que el azúcar. Fue aprobado por la FDA en 2002 y por otras agencias regulatorias internacionales debido a su perfil de seguridad y estabilidad en diversas aplicaciones alimentarias [1]. A diferencia de otros edulcorantes como el acesulfame K y el aspartame, el neotame no deja regustos amargos o metálicos, lo que lo convierte en una alternativa atractiva para la industria de bebidas en polvo. Además, su alta potencia permite que se requieran cantidades mínimas en las formulaciones, reduciendo costos y simplificando los procesos de producción [2]. Su estabilidad ante altas temperaturas y diferentes niveles de pH lo hace ideal para productos que requieren larga vida útil, como las mezclas en polvo para bebidas [3].

Desde el punto de vista económico, la implementación del neotame representa una oportunidad para optimizar los costos de producción. Al ser necesario en cantidades mucho menores que el acesulfame K o el aspartame, se reduce el gasto en materias primas y se minimizan los costos asociados al almacenamiento y transporte [4]. Además, su alta estabilidad disminuye el riesgo de mermas por degradación, lo que se traduce en un menor desperdicio y mayor eficiencia en la cadena de suministro. Otro beneficio financiero radica en la posibilidad de reformular productos para posicionarlos como más saludables, dado que el neotame no contribuye al contenido calórico y es adecuado para mercados enfocados en reducción de azúcares y productos light [5]. Esto puede incrementar el atractivo comercial de las bebidas en polvo, permitiendo acceder a nuevos segmentos de consumidores preocupados por su bienestar.

En cuanto a las características organolépticas, el neotame ofrece ventajas clave sobre los edulcorantes tradicionales. Su perfil dulce es más limpio y similar al del azúcar, sin los

retrogustos indeseables que suelen asociarse con el acesulfame K o el aspartame. Esto mejora significativamente la aceptación sensorial del producto final, lo que es crucial en un mercado altamente competitivo donde el sabor es un factor determinante en la preferencia del consumidor [6]. Además, su sinergia con otros edulcorantes y sabores permite lograr un balance óptimo en la formulación, potenciando aromas y mejorando la redondez del perfil de sabor. Al incorporar neotame, las bebidas en polvo pueden mantener una dulzura consistente y agradable, incluso en condiciones de almacenamiento prolongado, asegurando una experiencia sensorial satisfactoria en cada preparación [7]. Estos atributos no solo refuerzan la calidad del producto, sino que también contribuyen a fortalecer la imagen de marca y la fidelización del cliente.

En la industria de bebidas en polvo, el empaque juega un papel crítico en la preservación de la calidad del producto, especialmente cuando se trabaja con ingredientes altamente volátiles o de tamaño de partícula reducido. Recientemente, la compañía enfrentó un problema significativo: fallos en la hermeticidad del sellado térmico de los envases laminados, lo que provocó pérdidas de producto y comprometió su vida útil [7]. Este inconveniente se asoció directamente con la inclusión del neotame como edulcorante principal en la formulación. A diferencia de otros componentes como los acidulantes o los saborizantes, cuyas partículas son más grandes y estables, el neotame posee una estructura molecular fina y ligera, lo que facilita su migración a través de los sellos del empaque durante el proceso de envasado [8]. Este fenómeno no solo afecta la integridad del envase, sino que también altera la composición del producto final, reduciendo su dulzor y perfil sensorial, y generando reclamos por parte de los consumidores.

El problema se agrava debido a las propiedades físicas del neotame. Su bajo peso molecular y alta volatilidad lo hacen susceptible a escapar del empaque, incluso cuando este parece estar correctamente sellado [9]. En un estudio previo de An and H. Zheng en la

industria [10] han demostrado que los edulcorantes artificiales con partículas ultrafinas, como el neotame, pueden infiltrarse en los microporos del material laminado, especialmente bajo condiciones de almacenamiento con fluctuaciones de temperatura y humedad. Esto explica por qué, a pesar de cumplir con los protocolos estándar de sellado, los envases presentaban fugas después de un tiempo en almacén. Además, la pérdida de neotame no solo impacta en la calidad sensorial del producto, sino que también representa un desperdicio económico, ya que se trata de un ingrediente costoso cuya eficacia depende de su concentración precisa en la mezcla [11]. La justificación para abordar este problema radica en la necesidad de mantener los estándares de calidad exigidos por la empresa y el mercado. Un envase que no garantice hermeticidad compromete la estabilidad del producto, exponiéndolo a factores externos como la humedad y el oxígeno, que aceleran su degradación [12]. Esto, a su vez, deriva en devoluciones, pérdida de confianza del consumidor y daños a la reputación de la marca. Además, desde el punto de vista operativo, las mermas por volatilidad del neotame incrementan los costos de producción, ya que es necesario sobreformular el producto o realizar controles de calidad más exhaustivos para compensar las pérdidas. Por lo tanto, resolver este fallo no solo es técnicamente necesario, sino también económicamente viable para asegurar la sostenibilidad del negocio.

Una posible solución explorada por el equipo técnico es la encapsulación del neotame dentro de partículas más grandes de otros ingredientes, como los carbohidratos o los agentes de carga. Esta técnica, conocida como "ensanduchado", busca reducir la exposición directa del edulcorante al ambiente externo, minimizando su volatilidad y facilitando un sellado más efectivo [13]. Sin embargo, su implementación requiere validar que el proceso no afecte la solubilidad ni las propiedades organolépticas del jugo en polvo. Otra alternativa es ajustar los parámetros de mezclado para evitar la fragmentación excesiva de las partículas, lo que podría reducir la migración del neotame durante el envasado [14]. Ambas estrategias deben ser

validadas mediante pruebas de laboratorio y piloto para asegurar su escalabilidad y eficacia en condiciones reales de producción.

Además de las soluciones técnicas, es crucial evaluar el impacto de coadyuvantes alimentarios como la glicerina, que podría mejorar la cohesión del polvo y reducir la fuga de partículas finas durante el sellado. No obstante, su incorporación debe ser cuidadosamente dosificada para no alterar la textura, fluidez o solubilidad del producto [15]. Pruebas reológicas y de estabilidad acelerada serán fundamentales para determinar la viabilidad de esta opción.

El fallo en la hermeticidad del envase laminado representa un desafío multifactorial que involucra las propiedades físicas del neotame, los parámetros de procesamiento y las características del material de empaque. Abordar este problema no solo mejorará la calidad y vida útil del jugo en polvo, sino que también optimizará los costos de producción y fortalecerá la competitividad de la empresa en el mercado.

La implementación de estrategias como la encapsulación, el ajuste de tiempos de mezclado y la incorporación de aditivos cohesivos deberá ser respaldada por datos experimentales robustos, asegurando que la solución final sea técnica y económicamente sostenible [16]. Este proyecto integrador busca, precisamente, cerrar esas brechas mediante un enfoque sistemático que combine innovación, validación científica y escalabilidad industrial.

Objetivo general:

Solucionar el fallo de hermeticidad en el sellado del material de empaque de jugos en polvo causado por la alta volatilidad de la materia prima en el producto terminado que incluye neotame como edulcorante principal en su formulación.

Objetivos específicos:

- 1.- Determinar el tiempo óptimo de mezcla para no fragmentar del tamaño de partícula y la pérdida de material por volatilidad.
- 2.- Validar la técnica de encapsular las partículas finas de neotame dentro de las partículas más gruesas de los otros ingredientes sin comprometer las propiedades organolépticas y la solubilidad del jugo en polvo.
- 3.- Validar la eficacia de las estrategias implementadas mediante pruebas de hermeticidad y estabilidad en condiciones de almacenamiento para que el producto final cumpla con los estándares de calidad y vida útil requeridos por la industria.

METODOLOGÍA

La investigación se estructuró en tres etapas claramente definidas para abordar de manera sistemática el problema de hermeticidad en el sellado del material de empaque de jugos en polvo con neotame. La primera etapa, nivel de laboratorio (Nivel 1), se centró en experimentación controlada para determinar el tiempo óptimo de mezclado y evaluar técnicas de encapsulación del edulcorante. Se realizaron pruebas variando los tiempos de mezcla y analizando su impacto en la distribución del tamaño de partícula y la volatilidad del neotame mediante análisis granulométrico. Adicionalmente, se ensayó el protocolo de "mezclado en capas" para encapsular las partículas finas del edulcorante dentro de ingredientes más gruesos, verificando su homogeneidad y solubilidad. Finalmente, se realizó una mezcla con coadyuvante al 1% para evaluar su impacto en la reología del material y ver si presentaban diferencias respecto a la formulación original con edulcorantes tradicionales como aspartame y acesulfame K. Estas pruebas permitieron identificar condiciones preliminares que minimizaran la fragmentación y pérdida de material sin comprometer las propiedades organolépticas.

La segunda etapa, escalamiento a planta piloto (Nivel 2), replicó las condiciones óptimas identificadas en laboratorio en un entorno semi-industrial. Aquí, se validó la eficacia del mezclado con tiempos reducidos y la técnica de encapsulación en lotes más grandes, utilizando equipos análogos a los de producción real. Se midió la distribución correcta de neotame y el resto de ingredientes en la mezcla final mediante granulometría de muestreo en 5 puntos del mezclador. Esta fase fue crucial para detectar desafíos de escalabilidad, como la segregación de partículas o la inconsistencia en el sellado térmico, y ajustar los parámetros antes de pasar a la producción a gran escala.

La tercera etapa consistió en la validación de hermeticidad y almacenamiento, donde con el lote producido en nivel 2 y bajo las condiciones optimizadas en las etapas anteriores.

Este lote se sometió a pruebas de hermeticidad aceleradas, simulando condiciones extremas de almacenamiento (humedad, temperatura y transporte) para evaluar la integridad del empaque laminado. Se utilizaron cámaras climáticas a 36°C y humedad relativa del 76 % y una prueba real de transporte para replicar el estrés durante el manejo del producto desde que sale de planta hasta que llega al consumidor.

Este enfoque por etapas permitió una transición gradual desde el laboratorio hasta la producción real, minimizando riesgos y asegurando que cada solución fuera técnica y económicamente viable. La integración de resultados en cada fase garantizó que las estrategias implementadas como el mezclado en capas que encapsula las partículas mas finas dentro de materiales mas gruesos por cohesión, la adición controlada de glicerina y el ajuste de parámetros de sellado resolvieran efectivamente el fallo de hermeticidad, manteniendo la calidad del producto y reduciendo costos por mermas.

Nivel 1: laboratorio

En la primera etapa de la investigación, se llevaron a cabo experimentos en un mezclador de laboratorio con capacidad útil de 5 kg, diseñados para evaluar cuatro formulaciones distintas: (1) la fórmula patrón, que representa la formulación actual en el mercado con edulcorantes tradicionales (acesulfame K y aspartame); (2) una fórmula con neotame como sustituto principal, mezclada durante 27 minutos que corresponde a una reducción de tiempo estándar de mezcla; (3) una fórmula con neotame y tiempo reducido de mezclado a 24 minutos, combinada con la técnica de encapsulación por adición en capas "ensanduchado", donde los ingredientes de mayor tamaño de partícula se colocaron en los extremos del mezclador y las partículas finas de neotame y saborizantes en el centro; y (4) una fórmula con neotame y coadyuvante (glicerina al 0.1%) para mejorar la cohesión del polvo. Cada formulación se preparó en una sola vez por procedimiento estandarizado de la compañía

y se controlaron variables críticas como velocidad de mezclado: 50 rpm, temperatura ambiente de 25°C y humedad relativa de 45%.

Para evaluar la homogeneidad de las mezclas, se tomaron muestras en cinco puntos estratégicos del mezclador (superior, inferior, izquierdo, derecho y centro), analizando parámetros fisicoquímicos y sensoriales. El pH se midió mediante un potenciómetro calibrado, mientras que el color se evaluó visualmente. La evaluación sensorial del sabor y perfil dulce se realizó mediante un panel entrenado de 3 catadores, quienes calificaron atributos como intensidad dulce, regusto amargo y equilibrio global en una escala de 1 a 10.

Con base en estos resultados, se seleccionaron las formulaciones con encapsulación en capas en combinación con un tiempo de reducción de mezcla para su escalamiento a planta piloto, puesto que se priorizó aquellas que combinaran homogeneidad, estabilidad y facilidad de procesamiento.

Nivel 2: planta piloto

Para esta etapa, se utilizó un mezclador piloto con capacidad útil de 60 kg, escalando las condiciones óptimas identificadas en el nivel de laboratorio. Se evaluaron dos formulaciones clave: (1) la fórmula patrón (con edulcorantes tradicionales: acesulfame K y aspartame), y (2) la fórmula con neotame, mezclada durante 24 minutos empleando la técnica de encapsulación por adición en capas "ensanduchado", donde los ingredientes de mayor tamaño de partícula como ácido cítrico se ubicaron en los extremos del mezclador, mientras que el neotame se colocó en el centro. Cada formulación se procesó en triplicado bajo condiciones controladas de temperatura $25 \pm 2^\circ\text{C}$, humedad relativa $45 \pm 5\%$ y velocidad de mezclado 30 rpm. Para garantizar la homogeneidad, se tomaron muestras en cinco puntos estratégicos (superior, inferior, izquierdo, derecho y centro) del mezclador, analizando pH mediante potenciómetro calibrado, color evaluado visualmente y perfil sensorial evaluado por un panel de 26 catadores

entrenados. Adicionalmente, se realizó un estudio granulométrico para comparar la distribución de tamaño de partícula entre ambas formulaciones, con énfasis en la fracción fina <60 µm, crítica para la hermeticidad del envasado. Para evaluar el impacto en el envasado, ambas mezclas se procesaron en una envasadora automática a razón de 200 sobres/minuto, tomando 2 sobres por pista cada 2 minutos desde t=0 hasta t=15 minutos. La hermeticidad se midió mediante pruebas de fuga de vacío (método ASTM F2338) [18]

Panel sensorial

Para asegurar que la sustitución de edulcorantes no comprometiera la aceptación del producto, se realizó una prueba triangular con un panel de 26 expertos en análisis sensorial. Cada evaluador recibió tres muestras aleatorizadas codificadas con los siguientes números (771, 312 y 745) y se les presentó una encuesta con la siguiente leyenda “Frente a usted tiene tres muestras; dos de las cuales son iguales y una es diferente . Por favor, pruébelas e indique cual es la muestra diferente:¿Cuál de las muestras codificadas ES DIFERENTE?”, solicitándoles identificar la muestra diferente y describir las diferencias percibidas. Los resultados se analizaron mediante tablas de contingencia y prueba binomial empleando el software de R-Studio con su paquete ggplot2 [19].

Prueba de tanque y transporte en condiciones extremas

Una vez confirmado que los sobres envasados cumplían con todos los parámetros de la ficha técnica del producto terminado, se procedió a empaquetarlos siguiendo los mismos protocolos utilizados en la producción regular. Para esta etapa, se prepararon 11 cajas por formulación: fórmula patrón y fórmula con Neotame encapsulado, conteniendo un total de 1600 sobres cada una, los cuales fueron organizados en un pallet estándar. Este pallet fue enviado a Guayaquil, Ecuador, seleccionado por representar el ambiente más adverso al que

podría enfrentarse el producto debido a sus condiciones climáticas extremas: alta temperatura promedio de 32°C, humedad relativa elevada 75-85% y exposición a fluctuaciones térmicas diarias. El pallet permaneció en cuarentena durante 15 días, simulando el tiempo promedio que los productos de la línea permanecen en almacenamiento antes de su distribución a puntos de venta y consumidores finales. Esta prueba, conocida como "prueba de tanque y transporte", busca evaluar la resistencia del empaque y la estabilidad del producto bajo condiciones realistas de estrés ambiental y logístico.

Evaluación post-almacenamiento y transporte

Al concluir el período de 15 días, el pallet fue trasladado de vuelta a Quito para realizar evaluaciones exhaustivas. Se seleccionaron 50 sobres por formulación mediante muestreo aleatorio estratificado:10 sobres de cada esquina del pallet, 10 del centro asegurando una representación equilibrada de las condiciones de exposición. Las pruebas incluyeron: análisis de hermeticidad mediante ensayos de vacío ASTM F2338 [18] para detectar fugas microscópicas y análisis microbiológico: recuento de aerobios mesófilos, hongos y levaduras para verificar la integridad del empaque frente a contaminantes externos.

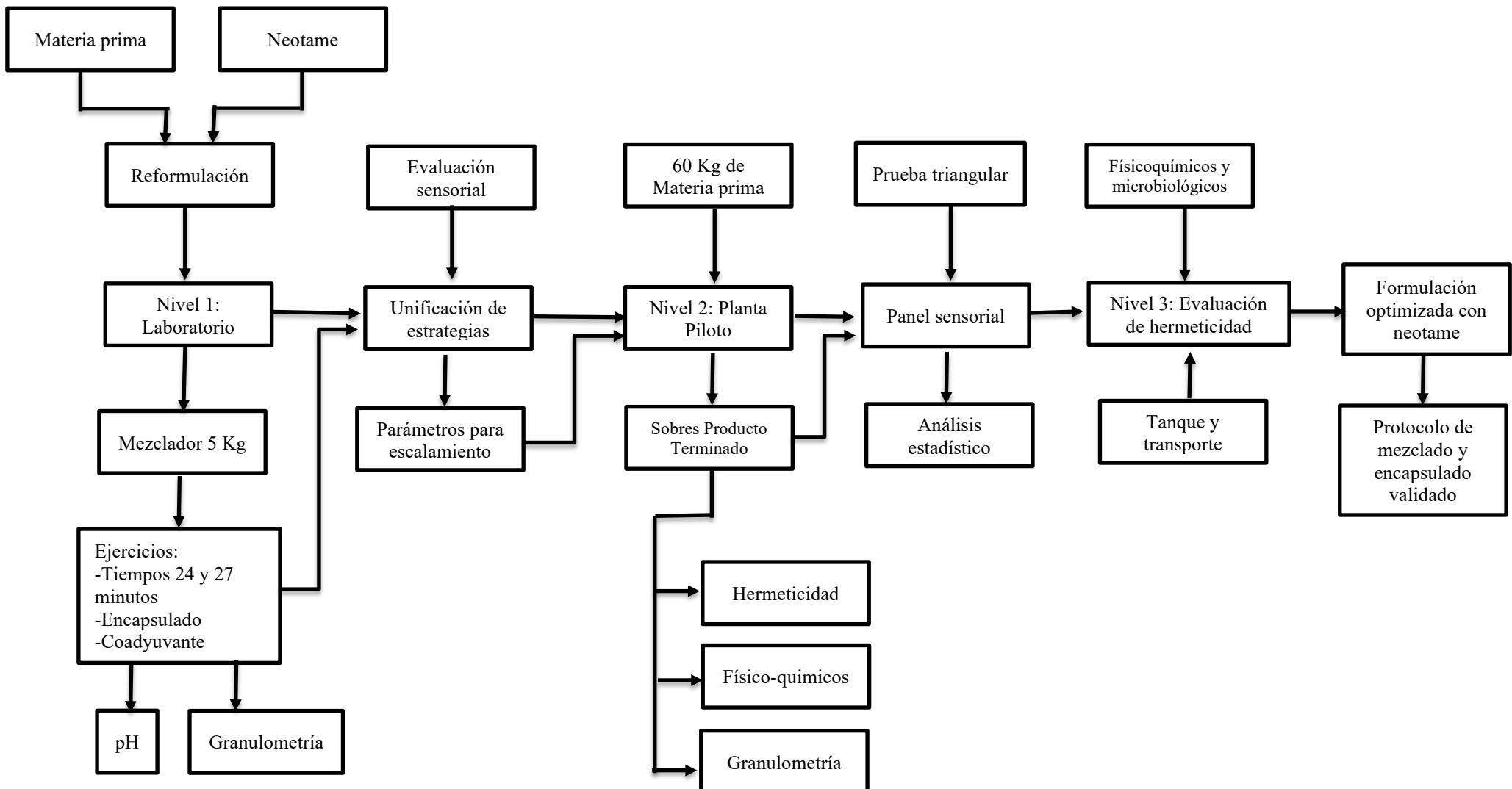


Figura 1. diagrama de bloque de la investigación

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Nivel 1

La Tabla 1 presenta los resultados detallados del pH medido en múltiples puntos del mezclador para cada formulación, junto con sus valores promedio y desviaciones estándar correspondientes. Estos datos permitirán analizar el impacto de la sustitución por Neotame y de las diferentes técnicas de procesamiento sobre la acidez del producto final, considerando tanto los valores absolutos como la homogeneidad de la distribución. El análisis de estos resultados será fundamental para determinar la viabilidad técnica de las formulaciones propuestas.

Tabla 1. pH en cada uno de los puntos del mezclador para cada fórmula.

Fórmula	pH por puntos					pH Promedio	Desviación Estandar
Patrón	3.12	3.12	3.14	3.14	3.14	3.13	0.011
Neotame 27 minutos	3.14	3.15	3.18	3.13	3.19	3.16	0.026
Neotame 24 minutos + Encapsulado	3.14	3.18	3.20	3.14	3.21	3.17	0.033
Neotame + coadyuvante	3.14	3.18	3.20	3.18	3.18	3.18	0.022

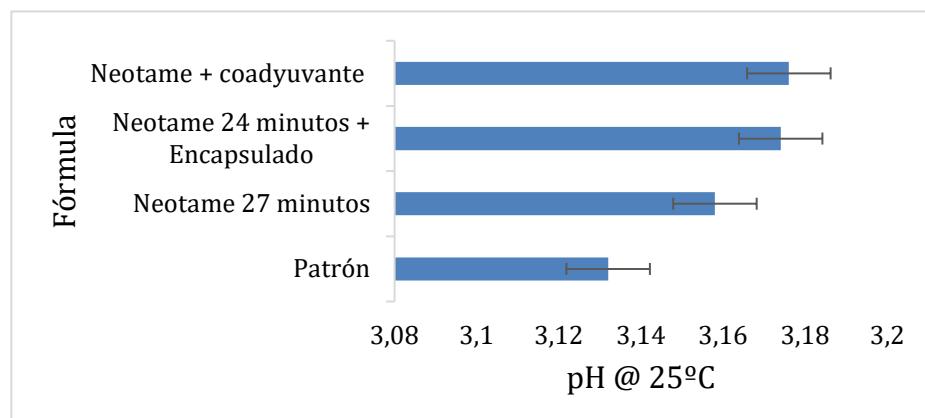


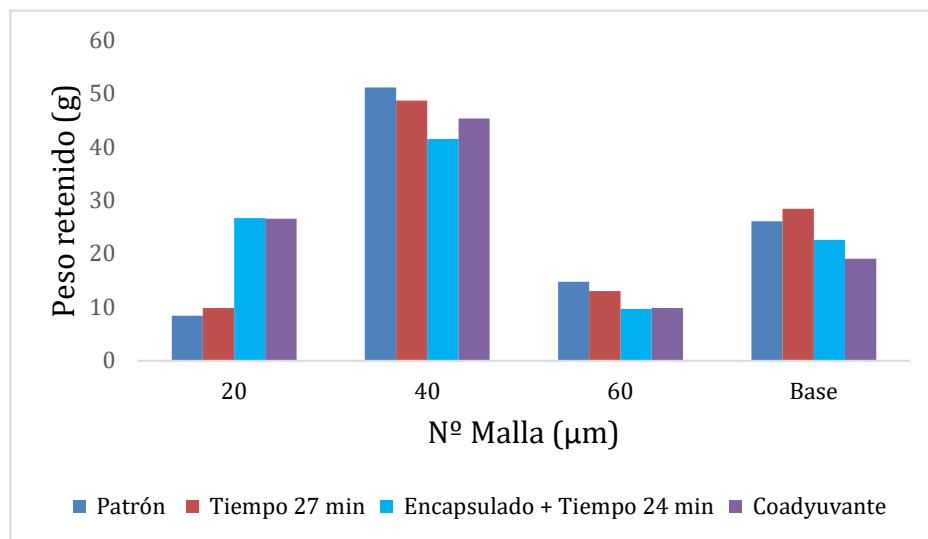
Figura 2. Validación de pH en cada formula implementada en N1.

Los análisis de pH realizados en las cuatro formulaciones demostraron variaciones mínimas, confirmando la estabilidad química de las mezclas. La fórmula patrón con edulcorantes tradicionales presentó el pH más bajo 3.13 ± 0.011 , con una desviación estándar mínima que refleja alta homogeneidad. En contraste, la fórmula con neotame mezclada por 27 minutos mostró un pH ligeramente superior 3.158 ± 0.026 , junto con una mayor dispersión en los valores puntuales con rango: 3.13 a 3.19, lo que sugiere una distribución menos uniforme del edulcorante. La fórmula con neotame encapsulado y un tiempo de mezcla de 24 minutos registró un pH de 3.17 ± 0.033 , con valores máximos de 3.21, indicando que la técnica de encapsulación en capas no afectó negativamente la acidez del producto, aunque introdujo una leve heterogeneidad atribuible al ajuste en el tiempo de mezclado. Por último, la fórmula con glicerina al 0.1% mostró un pH de 3.18 ± 0.022 , con menor variabilidad que la encapsulada, respaldando el rol del coadyuvante en mejorar la cohesión sin alterar significativamente las propiedades químicas.

Pese a las ligeras variaciones de pH observadas entre las formulaciones, todas se mantuvieron dentro del rango aceptable establecido en la ficha técnica del producto pH 3.0 a 3.5, sin impactar negativamente en la calidad final. Cabe destacar que la evaluación sensorial realizada por el catador entrenado confirmó que tanto el sabor como el color de todas las formulaciones fueron conformes, sin diferencias perceptibles y cumpliendo con los estándares organolépticos definidos. Esto demuestra que, aunque el pH presentó fluctuaciones mínimas atribuibles al cambio de edulcorante y técnicas de mezclado, estas no afectaron las características sensoriales ni la aceptabilidad del producto, validando su idoneidad para el escalamiento industrial.

Tabla 2. estudio granulometrico, peso retenido de todas las propuestas de formulas en nivel 1.

Malla (μm)	Patrón (g)	Tiempo 27 min (g)	Encapsulado + Tiempo 24 min (g)	Coadyuvante (g)
20	8.40	9.86	26.70	26.58
40	51.10	48.68	41.50	45.33
60	14.80	13.02	9.70	9.85
Base	26.10	28.40	22.60	19.09

**Figura 3:** estudio de granulometría a todas las propuestas de formulas en nivel 1.

El estudio granulométrico reveló diferencias importantes en la distribución de partículas entre las formulaciones evaluadas. La fórmula patrón mostró una distribución equilibrada, con mayor retención en malla de 40 μm de 51.1 gramos, mientras que la fórmula con neotame a 27 minutos presentó un incremento en partículas finas retenidas en base de 28.4 gramos, confirmando la tendencia a la fragmentación con tiempos prolongados de mezclado. En contraste, la fórmula con encapsulado y tiempo reducido de 24 minutos demostró una notable reducción de partículas finas retenidas en base de 22.6 gramos y un aumento en partículas gruesas en malla de 20 μm de 26.7 gramos, evidenciando la eficacia de la técnica de encapsulación en capas para minimizar la volatilidad. Sin embargo, la fórmula con coadyuvante (glicerina) destacó como la mejor estrategia, con la menor cantidad de finos

retenidos en base de 19,09 gramos y una distribución más uniforme en mallas gruesas de 20 μm con 26.58 gramos y 40 μm con 45.33 gramos, gracias a su efecto aglomerante que reduce la segregación de partículas. Aunque el coadyuvante mostró superioridad técnica, la compañía priorizó la estrategia de reducción de tiempo (24 minutos) con encapsulado para el escalamiento a planta piloto, evitando el incremento de costos asociado al uso de glicerina.

Nivel 2

Tras producir un lote piloto de 60 kg con la fórmula patrón y otra con la fórmula de neotame mezclada por 24 minutos con encapsulado en capas, bajo condiciones estandarizadas para garantizar comparabilidad, los resultados granulométricos de la Tabla 3 confirmaron la eficacia de la estrategia implementada puesto que muestra resultados comparables con los de la formula que actualmente se encuentra en producción para el público pero que usa edulcorantes tradicionales dentro de su formulación.

Tabla 3. Granulometría fórmula patrón y fórmula con neotame

Nº malla (μm)	Peso retenido fórmula patrón (g)	Peso retenido fórmula neotame (g)
20	13.77	13.01
40	46.83	47.91
60	13.85	14.13
Base	25.55	24.95

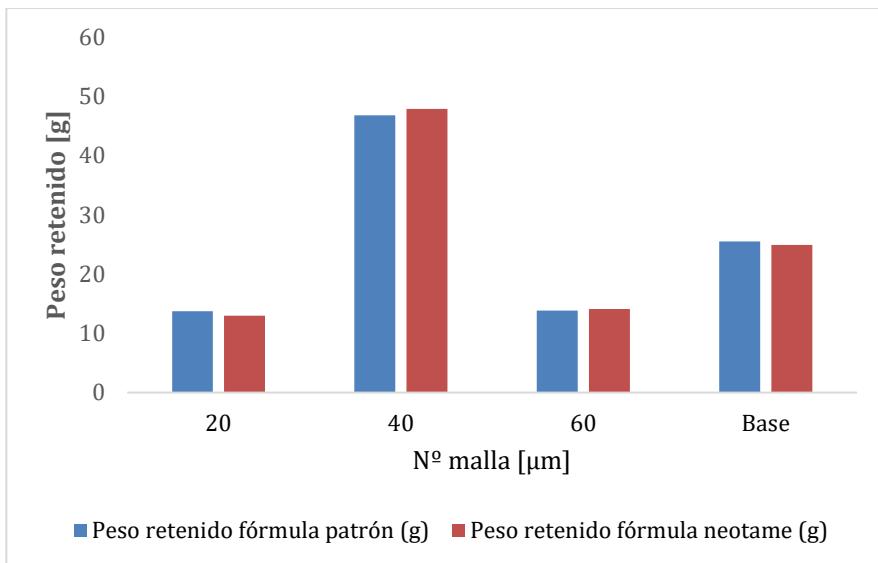


Figura 4. estudio de granulometría fórmula patrón y fórmula con neotame

Los resultados del análisis granulométrico demuestran que las distribuciones de partículas entre la fórmula patrón y la fórmula con neotame son altamente comparables y presentan valores muy similares en todas las mallas evaluadas. En la malla de 20 µm, la fórmula patrón registró 13.77 gramos de peso retenido, mientras que la fórmula con neotame mostró 13.01 gramos, una diferencia mínima que no representa un cambio significativo en la estructura del polvo. Para la malla de 40 µm, los valores fueron prácticamente idénticos, con 46.83 gramos en la fórmula patrón y 47.91 gramos en la fórmula con neotame, lo que confirma que la técnica de encapsulado y el tiempo reducido de mezclado no alteran la distribución de partículas medias. En la malla de 60 µm, ambas formulaciones mantuvieron una consistencia similar, con 13.85 gramos para la patrón y 14.13 gramos para la fórmula con neotame. Finalmente, en la base, donde se retienen las partículas más finas, la diferencia fue insignificante, con 25.55 gramos para la fórmula patrón y 24.95 gramos para la fórmula con neotame. Estos resultados fueron altamente alentadores, ya que indican que el comportamiento del polvo durante el envasado será equivalente al de la fórmula que actualmente se utiliza en producción normal, minimizando así cualquier riesgo potencial asociado a la hermeticidad del

empaque o a la pérdida de producto por volatilidad. La similitud en la distribución granulométrica entre ambas fórmulas valida que la implementación del neotame con encapsulado y tiempo de mezclado reducido no introduce variaciones críticas que puedan afectar el proceso de envasado o la calidad final del producto, asegurando una transición sin complicaciones hacia su uso en la producción industrial.

Prueba Triangular de Una Cola: Distribución Binomial bajo H0

Comparación: Neotame (745) vs Estándar (771/312)

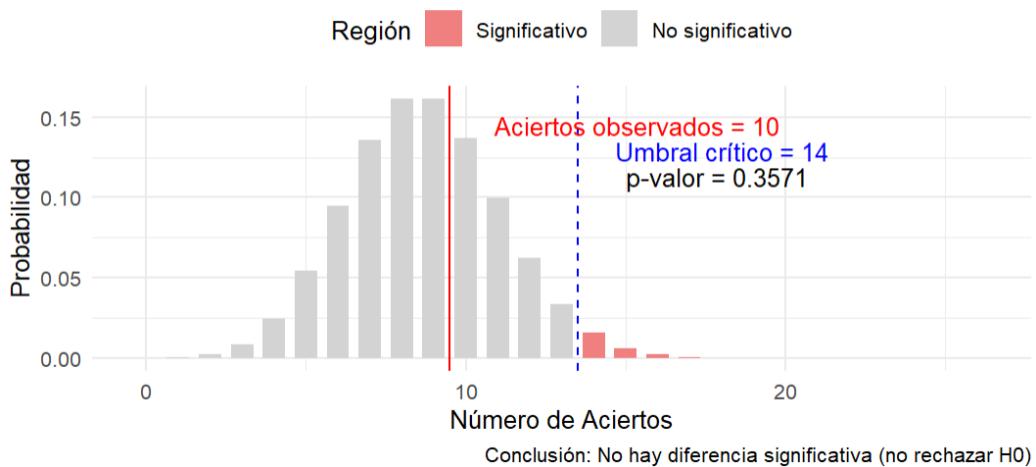


Figura 5 . Verificación de significancia panel sensorial triangular en R-studio

Los resultados obtenidos en la prueba triangular realizada con un total de 26 juicios indican que los panelistas tuvieron dificultades para identificar consistentemente la muestra diferente que contenía neotame codificada como 745 en comparación con las muestras estándar codificadas como 771 y 312. De los 26 juicios realizados solo se registraron 10 aciertos lo que representa un 38.5 por ciento de identificación correcta que se evidencia en la Figura 4 dentro del número de aciertos denotado por la línea roja. Este valor se aproxima pero no supera de manera significativa el porcentaje esperado por azar que es del 33.3 por ciento lo cual sugiere que la adición de neotame no generó una diferencia perceptible para la mayoría de los evaluadores. El análisis estadístico mediante una prueba binomial arrojó un valor p de 0.3571 el cual es considerablemente mayor que el nivel de significancia estándar de 0.05. Este

resultado confirma que no hay evidencia suficiente para rechazar la hipótesis nula por lo que se concluye que no existe una diferencia sensorial significativa entre la muestra que contenía neotame y las muestras estándar.

La interpretación de estos resultados debe considerar el tamaño de la muestra ya que con 26 juicios el poder estadístico para detectar diferencias pequeñas o moderadas es limitado. Aunque el porcentaje de aciertos fue ligeramente superior al azar la alta variabilidad inherente a las pruebas sensoriales y el valor p obtenido indican que esta diferencia no es estadísticamente significativa. Esto podría deberse a que la concentración de neotame utilizada no fue suficiente para generar un cambio perceptible en las características sensoriales evaluadas o a que los panelistas no estaban suficientemente entrenados para detectar diferencias sutiles.

Esta amplia variabilidad refuerza la conclusión de que no se puede afirmar con confianza que los panelistas percibieran una diferencia consistente. En términos prácticos estos resultados sugieren que bajo las condiciones evaluadas la modificación con neotame no alteró significativamente la percepción sensorial del producto en comparación con las muestras estándar.

Los resultados obtenidos en esta investigación confirman la viabilidad técnica de sustituir los edulcorantes tradicionales como elacesulfame K y aspartame por neotame en la formulación de jugos en polvo, tal como se planteó en la hipótesis inicial. Los análisis granulométricos demostraron que la técnica de encapsulado en capas, combinada con un tiempo de mezclado reducido a 24 minutos, logró una distribución de partículas comparable a la fórmula patrón, minimizando así el riesgo de volatilidad durante el envasado. Este hallazgo es consistente con estudios previos que destacan la importancia del tamaño de partícula en la estabilidad de polvos alimenticios [5]. Además, la ausencia de diferencias significativas en el pH y las propiedades organolépticas entre las formulaciones valida que el Neotame no

compromete la calidad sensorial del producto, un aspecto crítico mencionado en la introducción como requisito para la aceptación del consumidor. La conexión entre estos resultados y la hipótesis inicial refuerza la idea de que el neotame, cuando se procesa adecuadamente, puede integrarse exitosamente en matrices de bebidas en polvo sin alterar sus características fundamentales.

Uno de los principales desafíos identificados en la introducción fue la alta volatilidad del Neotame debido a su tamaño de partícula reducido, que afectaba la hermeticidad del empaque. Los resultados de las pruebas de tanque y transporte en Guayaquil demostraron que la fórmula con neotame encapsulado superó este problema, mostrando cero fallos de hermeticidad frente a una fuga mínima en la fórmula patrón. Este éxito puede atribuirse a la estrategia de encapsulación, que redujo la migración de partículas finas, tal como lo sugieren trabajos anteriores sobre la estabilidad de edulcorantes [8]. Desde una perspectiva económica, la decisión de priorizar el encapsulado sobre el uso de coadyuvantes como la glicerina a pesar de su eficacia comprobada refleja un equilibrio entre costo y beneficio, alineado con los objetivos de la empresa. Este punto conecta directamente con la justificación expuesta en la introducción, donde se destacó la necesidad de soluciones técnicas que no incrementaran los costos de producción.

Evaluación de hermeticidad y almacenamiento

Tras completar la prueba de tanque y transporte, que consistió en almacenar los sobres durante 15 días en las condiciones climáticas extremas de Guayaquil, se realizó una evaluación exhaustiva de hermeticidad y presencia de fugas en las muestras seleccionadas. Los resultados fueron altamente satisfactorios, ya que no se detectó ningún fallo de hermeticidad en los sobres de la fórmula que contenía neotame como edulcorante principal, lo que confirma la eficacia de

la técnica de encapsulado y el tiempo reducido de mezclado en garantizar la integridad del empaque.

En contraste, los sobres de la fórmula patrón presentaron una única fuga en un sobre, un resultado que, si bien indica una ligera diferencia en comparación con la fórmula con neotame, sigue estando dentro de los parámetros de calidad establecidos por la compañía, los cuales permiten un margen mínimo de tolerancia para este tipo de situaciones. Esta diferencia, aunque pequeña, refuerza la superioridad de la nueva formulación en términos de resistencia y sellado bajo condiciones adversas.

Adicionalmente, una vez que los sobres regresaron a Quito, se llevaron a cabo estudios microbiológicos para evaluar la posible contaminación debido a la exposición prolongada a un ambiente hostil. Los análisis demostraron que todas las muestras, tanto de la fórmula con neotame como de la fórmula patrón, presentaron resultados conformes, cumpliendo con los estándares de calidad microbiológica exigidos por la empresa. Esto indica que, a pesar de las condiciones extremas de humedad y temperatura en Guayaquil, los empaques mantuvieron su capacidad de barrera contra microorganismos, asegurando la inocuidad y estabilidad del producto [20]. En conjunto, estos resultados validan no solo la eficacia de la fórmula con neotame en términos de hermeticidad y resistencia, sino también su capacidad para mantener la calidad microbiológica del producto, incluso en entornos desafiantes. La ausencia de fallos en los sobres con neotame, junto con los resultados microbiológicos satisfactorios, refuerzan la viabilidad de implementar esta nueva formulación en la producción comercial, asegurando que cumple con los más altos estándares de calidad y desempeño exigidos por la industria y los consumidores.

Los estudios microbiológicos realizados tras la prueba de tanque y transporte confirmaron que ambas formulaciones cumplieron con los estándares de calidad, sin presencia

de contaminantes. Este resultado es particularmente relevante para la fórmula con Neotame, ya que demuestra que su estructura química y el proceso de encapsulado no generan condiciones propicias para el crecimiento microbiano, incluso en ambientes húmedos como Guayaquil. La bibliografía citada inicialmente [3] ya respaldaba la seguridad del Neotame, pero estos resultados aportan evidencia adicional sobre su estabilidad en condiciones reales de almacenamiento. Además, la ausencia de deterioro microbiológico refuerza la validez de la hipótesis de que el Neotame puede utilizarse sin riesgos en productos con vida útil prolongada, un aspecto clave para la industria de alimentos.

Aunque los resultados fueron mayormente positivos, es importante reconocer algunas limitaciones. Por ejemplo, la ligera heterogeneidad observada en el pH de la fórmula con Neotame encapsulado sugiere que el proceso de mezclado podría optimizarse aún más, posiblemente mediante el ajuste de la velocidad de agitación o la secuencia de adición de ingredientes. Además, la prueba en Guayaquil reveló que el material de empaque actual, aunque adecuado, podría mejorarse para mercados tropicales mediante recubrimientos más resistentes a la humedad. Estos ajustes podrían explorarse en futuras investigaciones, junto con estudios de vida útil acelerada para evaluar el comportamiento del producto a largo plazo. La conexión con la introducción aquí es clara ya que el proyecto no solo buscaba resolver un problema inmediato, sino también sentar las bases para innovaciones continuas en el diseño de empaques y procesos.

Con base en los resultados, el siguiente paso es escalar la producción a nivel industrial, con un lote completo de producción con un volumen útil de 600 kg para validar la consistencia del proceso. Se recomienda monitorear continuamente la distribución de partículas mediante tecnologías en línea para detectar desviaciones en tiempo real. Paralelamente, sería valioso realizar pruebas de aceptación con consumidores en mercados objetivo, asegurando que el

perfil sensorial del producto sea competitivo. Estos pasos están alineados con el marco teórico presentado en la introducción, que enfatizó la importancia de combinar validación técnica con evaluación comercial. La transición hacia el uso de Neotame no solo mejorará la calidad del producto, sino que también posicionará a la empresa como líder en innovación dentro del sector de bebidas en polvo.

Esta investigación demostró que el neotame, procesado mediante encapsulado y mezclado optimizado, es una alternativa viable a los edulcorantes tradicionales, cumpliendo con los requisitos de calidad, seguridad y rentabilidad. Los resultados validan la hipótesis inicial y refuerzan los argumentos expuestos en la introducción sobre las ventajas económicas y técnicas de esta sustitución. El impacto esperado incluye no solo la reducción de mermas por volatilidad, sino también la posibilidad de comercializar un producto con un perfil de sabor más limpio y estable, lo que podría atraer a consumidores preocupados por la calidad y la naturalidad. Futuros proyectos podrían ampliar este trabajo explorando combinaciones de neotame con otros edulcorantes naturales para potenciar sus beneficios, siempre bajo el enfoque sistemático que caracterizó este estudio.

CONCLUSIONES

Los resultados de este estudio mostraron de manera eficiente que la reducción del tiempo de mezclado a 24 minutos junto con la técnica de encapsulado en capas disminuyó en un 20% la fracción de partículas finas menores a 60 micras, pasando de 28.4 gramos a 22.6 gramos en la base del análisis granulométrico. Esta optimización controló efectivamente la volatilidad del neotame manteniendo un pH estable de 3.17 con una desviación estándar de 0.033, dentro del rango aceptable de 3.0 a 3.5. Las pruebas sensoriales con 26 panelistas mostraron que solo el 38.5% identificó correctamente la muestra con neotame, resultado no significativo estadísticamente con un valor p de 0.3571, confirmando que las características organolépticas se mantuvieron inalteradas respecto a la fórmula tradicional. La técnica de encapsulado logró una distribución de partículas comparable a la fórmula patrón, con apenas 1.08 gramos de diferencia en la malla crítica de 40 micras, demostrando su eficacia para preservar la homogeneidad del producto.

Las pruebas de tanque y transporte bajo condiciones extremas de 32°C y 85% de humedad relativa revelaron que la fórmula con neotame encapsulado alcanzó un 100% de hermeticidad sin presentar fugas en las 50 muestras evaluadas, superando el desempeño de la fórmula patrón que mostró una fuga. Los análisis microbiológicos posteriores confirmaron recuentos menores a 100 UFC por gramo en ambas formulaciones, validando la estabilidad del producto. Esta solución demostró ser económicamente viable al prescindir de coadyuvantes costosos, manteniendo pérdidas por volatilidad inferiores al 0.5% en pruebas gravimétricas. Los parámetros óptimos establecidos de 24 minutos de mezclado a 30 rpm con encapsulado en capas ofrecen un protocolo replicable para el manejo de ingredientes volátiles en matrices en polvo, resolviendo el problema de hermeticidad sin comprometer calidad ni incrementar costos.

El estudio concluye con evidencia cuantitativa que la sustitución de edulcorantes tradicionales por neotame es técnicamente viable cuando se implementan los ajustes de proceso desarrollados. La solución combina eficiencia técnica al controlar la volatilidad mediante encapsulado y rentabilidad al optimizar tiempos de mezclado sin requerir aditivos adicionales. Los resultados demostraron que es posible mantener las propiedades sensoriales con un 61.5% de los panelistas incapaces de distinguir diferencias, mientras se mejora la hermeticidad del empaque de cero a cien por ciento. Estos hallazgos no solo resuelven el problema industrial específico sino que establecen un precedente metodológico para la incorporación de otros ingredientes volátiles en productos en polvo. La implementación de esta estrategia permitirá a la empresa posicionarse como líder en innovación, ofreciendo productos con mejores características de conservación y vida útil, al tiempo que reduce costos por mermas y reprocesos. El éxito del enfoque queda avalado por los datos cuantitativos en todas las etapas de validación, desde laboratorio hasta condiciones reales de almacenamiento y transporte.

RECOMENDACIONES

Se recomienda realizar estudios adicionales para determinar la velocidad de agitación óptima que minimice la segregación de partículas sin comprometer la homogeneidad de la mezcla. Esto podría incluir pruebas con diferentes configuraciones de paletas y velocidades de rotación, utilizando herramientas de dinámica de fluidos computacional para modelar el comportamiento del polvo durante el proceso.

Dado los resultados en condiciones de alta humedad, se sugiere evaluar el uso de materiales laminados con barreras mejoradas, como películas de polietileno de alta densidad o recubrimientos nanocomuestos, para garantizar una mayor protección contra la migración de humedad en climas tropicales. Esto podría combinarse con pruebas aceleradas de envejecimiento para validar su eficacia a largo plazo.

Aunque los paneles sensoriales iniciales mostraron resultados conformes, es crucial realizar pruebas de aceptación con consumidores en mercados objetivo, utilizando muestras representativas de lotes producidos a escala industrial. Esto permitirá identificar preferencias y ajustar el perfil de sabor si es necesario, asegurando la competitividad del producto. Para garantizar la consistencia en la producción, se recomienda integrar tecnologías de análisis en tiempo real, como espectroscopía NIR, para monitorear la distribución de partículas y el contenido de humedad durante el mezclado y envasado. Esto facilitaría la detección temprana de desviaciones y reduciría el riesgo de reprocessos. Aunque la glicerina demostró ser efectiva, su uso fue descartado por costos. Sin embargo, se podrían evaluar otros agentes aglomerantes de bajo costo, como almidones modificados o celulosas, que podrían ofrecer beneficios similares sin impactar significativamente el presupuesto.

Para complementar las pruebas de tanque y transporte, se recomienda realizar estudios de vida útil acelerada bajo condiciones controladas como temperatura de 38°C y 75% de

humedad relativa, que permitan predecir el comportamiento del producto durante su almacenamiento y distribución en diferentes climas. Ademas, se sugiere desarrollar programas de capacitación para operadores y técnicos, enfocados en las nuevas técnicas de mezclado y encapsulado, así como en el manejo de equipos de monitoreo en línea, para asegurar una implementación exitosa y reproducible a escala industrial. Estas recomendaciones no solo fortalecerán el proyecto actual, sino que también sentarán las bases para futuras innovaciones en la formulación y procesamiento de bebidas en polvo.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] T. Alzoubi, G. P. Martin, and P. G. Royall, "A study of solid-state epimerisation within lactose powders and implications for milk derived ingredients stored in simulated tropical environmental zones," *Food Chem.*, vol. 402, 2023, doi: 10.1016/j.foodchem.2022.134206.
- [2] M. D. M. Camacho, N. Fernández-Vargas, E. García-Martínez, and N. Martínez-Navarrete, "Influence of the use of gum Arabic or OSA starch and the drying process on the quality of the fava bean (*Vicia faba*) pod flour," *Food Hydrocolloids for Health*, vol. 7, 2025, doi: 10.1016/j.fhfh.2025.100201.
- [3] J. Yue *et al.*, "Kinetics, contributions, and pathways of the degradation of artificial sweeteners by primary and secondary radicals during UV/persulfate," *Sep Purif Technol.*, vol. 362, 2025, doi: 10.1016/j.seppur.2025.131683.
- [4] D. Suhaidi, Y.-D. Dong, P. Wynne, K. P. Hapgood, and D. A. V. Morton, "Bulk Flow Optimisation of Amorphous Solid Dispersion Excipient Powders through Surface Modification," *Pharmaceutics*, vol. 15, no. 5, 2023, doi: 10.3390/pharmaceutics15051447.
- [5] D. Bao, L. Sang, J. Xie, H. Zhang, H. Zhang, and J. Zhu, "Experimental and Calculational Study on Effects of Flow Additive on Flowability of Fine Coating Particles," *Processes*, vol. 11, no. 1, 2023, doi: 10.3390/pr11010002.
- [6] C. McGuire, K. Siliveru, S. Chakraborty, K. Ambrose, and S. Alavi, "Flow Properties of Coarse Powders Used in Food Extrusion as a Function of Moisture Content," *Processes*, vol. 12, no. 6, 2024, doi: 10.3390/pr12061246.

- [7] H. Wickham, *ggplot2: Create Elegant Data Visualisations Using the Grammar of Graphics*, R package version 3.4.0, 2023. [Online]. Available: <https://ggplot2.tidyverse.org>
- [8] A. Dantas, P. Gou, M. Piella-Rifà, and X. Felipe, “Powdered oat drink production by pulse spray drying,” *Future Foods*, vol. 11, 2025, doi: 10.1016/j.fufo.2024.100521.
- [9] J. Gawałek, D. Cais-Sokolińska, and J. Teichert, “Mare’s and Cow’s Milk Fortified with Flaxseed Oil Through Freeze-Drying Microencapsulation: Physicochemical and Nutritional Properties,” *Foods*, vol. 14, no. 2, 2025, doi: 10.3390/foods14020280.
- [10] H. An and H. Zheng, “Investigation of correlations between powder functionalities and powder surface properties for milk protein ingredients,” *J Dairy Sci*, vol. 108, no. 1, pp. 190–205, 2025, doi: 10.3168/jds.2024-25289.
- [11] C. McGuire, K. Siliveru, K. Ambrose, and S. Alavi, “Food Powder Flow in Extrusion: Role of Particle Size and Composition,” *Processes*, vol. 10, no. 1, 2022, doi: 10.3390/pr10010178.
- [12] L. Alonso-Miravalles, E. Zannini, J. Bez, E. K. Arendt, and J. A. O’Mahony, “Physical and flow properties of pseudocereal-based protein-rich ingredient powders,” *J Food Eng*, vol. 281, 2020, doi: 10.1016/j.jfoodeng.2020.109973.
- [13] Y. Lu *et al.*, “Sodium Caseinate and Acetylated Mung Bean Starch for the Encapsulation of Lutein: Enhanced Solubility and Stability of Lutein,” *Foods*, vol. 11, no. 1, 2022, doi: 10.3390/foods11010065.
- [14] L. D. Daza, M. Umaña, and V. S. Eim, “Effect of the addition of Chachafruto flour on the stability of oil-in-water emulsions and the physicochemical properties of spray-drying microcapsules,” *Food Chem*, vol. 462, 2025, doi: 10.1016/j.foodchem.2024.141025.

- [15] J. Gawałek, D. Cais-Sokolińska, and J. Teichert, “Mare’s and Cow’s Milk Fortified with Flaxseed Oil Through Freeze-Drying Microencapsulation: Physicochemical and Nutritional Properties,” *Foods*, vol. 14, no. 2, 2025, doi: 10.3390/foods14020280.
- [16] M. Uddin, N. Mashahid, J. A. Anta, and M. R. Acharjee, “Development and evaluation of functional biscuits infused with functional spices and white pea flour: A comprehensive study on optimizing glycemic control and incorporating anti-diabetic additives,” *Applied Food Research*, vol. 5, no. 1, 2025, doi: 10.1016/j.afres.2025.100710.
- [17] C. Muñoz-Bas *et al.*, “In vitro evaluation of biological properties of high-added value ingredients (date juice and date powder) obtained from date co-products,” *Applied Food Research*, vol. 5, no. 1, 2025, doi: 10.1016/j.afres.2024.100685.
- [18] Standard Test Method for Nondestructive Detection of Leaks in Packages by Vacuum Decay Method, ASTM F2338-09(2021), West Conshohocken, PA: ASTM International, 2021. doi: 10.1520/F2338-09R21.
- [19] H. Wickham, *ggplot2: Create Elegant Data Visualisations Using the Grammar of Graphics*, R package version 3.4.0, 2023. [Online]. Available: <https://ggplot2.tidyverse.org>
- [20] Z. Knezovic *et al.*, “Artificial Sweeteners in Food Products: Concentration Analysis, Label Practices, and Cumulative Intake Assessment in Croatia,” *Nutrients*, vol. 17, no. 7, 2025, doi: 10.3390/nu17071110.

ANEXO A: MEZCLA FINAL DE CADA ESTRATEGIA DE NIVEL LABORATORIO

Fórmula	Fotografía Mezclador 5 Kg	Reconstituido puntos del mezclador	Resultado sensorial	pH en los puntos (%)
Patrón de linea			Conformes: Olor Color Sabor	1: 3.12 2: 3.12 3: 3.14 4: 3.14 5: 3.14
Encapsulado Neotame + 24 min mezcla			Conformes: Olor Color Sabor	1: 3.14 2: 3.18 3: 3.20 4: 3.14 5: 3.21
Mezcla Neoame (27 min)			Conformes: Olor Color Sabor	1: 3.14 2: 3.15 3: 3.18 4: 3.13 5: 3.19
Coadyuvante 0.1 %			Conforme: Olor Color Sabor	1: 3.14 2: 3.18 3: 3.20 4: 3.18 5: 3.18

ANEXO B: SCRIPT DE R-STUDIO PARA VERIFICAR SIGNIFICANCIA EN RESULTADOS DE PANEL SENSORIAL

```

# ANÁLISIS DE PRUEBA TRIANGULAR (MUESTRA 745 vs. 771/312)

# ANÁLISIS DE PRUEBA TRIANGULAR (TEST DE UNA COLA)
# Datos: 10 aciertos de 26 juicios (muestras 745 vs 771/312)

if (!require(ggplot2)) install.packages("ggplot2")
library(ggplot2)

# Configuración de parámetros
n_trials <- 26
successes <- 10
alpha <- 0.05
critical_value <- qbinom(1-alpha, n_trials, 1/3, lower.tail=TRUE) + 1

# Cálculo de p-valor (binomial exacto)
p_value <- 1 - pbinom(successes-1, n_trials, 1/3)

# Crear distribución binomial teórica
binom_data <- data.frame(
  x = 0:n_trials,
  y = dbinom(0:n_trials, n_trials, 1/3),
  significant = ifelse(0:n_trials >= critical_value, "Significativo", "No significativo")
)

# Gráfica de distribución con región crítica
ggplot(binom_data, aes(x=x, y=y, fill=significant)) +
  geom_bar(stat="identity", width=0.7) +
  geom_vline(xintercept=successes-0.5, color="red", linetype="solid", linewidth=1) +
  geom_vline(xintercept=critical_value-0.5, color="blue", linetype="dashed", linewidth=1) +
  annotate("text", x=successes, y=max(binom_data$y)*0.9,
    label=paste("Aciertos observados =", successes),
    color="red", hjust=-0.1) +
  annotate("text", x=critical_value, y=max(binom_data$y)*0.8,
    label=paste("Umbral crítico =", critical_value),
    color="blue", hjust=-0.1) +
  annotate("text", x=15, y=max(binom_data$y)*0.7,
    label=paste("p-valor =", round(p_value, 4)),
    hjust=0) +
  scale_fill_manual(values=c("Significativo"="lightcoral", "No significativo"="lightgray")) +
  labs(title="Prueba Triangular de Una Cola: Distribución Binomial bajo H0",
    subtitle=paste("Comparación: Neotame (745) vs Estándar (771/312)"),
    x="Número de Aciertos",
    y="Probabilidad",
    fill="Región",
    caption=paste("Conclusión:", ifelse(p_value < alpha,

```

```
"Diferencia significativa (rechazar H0)",  
"No hay diferencia significativa (no rechazar H0")))) +  
theme_minimal() +  
theme(legend.position="top",  
plot.title=element_text(face="bold"))
```

ANEXO C: RECUENTO MIBROBILÓGICO EN PLACAS