



FACULTAD DE INGENIERÍA INDUSTRIAL Y DE SISTEMAS

DESARROLLO Y ANÁLISIS DE CALIDAD DE UNA BEBIDA NUTRACEÚTICA DE
NOPAL (*Opuntia ficus indica*) FLOR DE JAMAICA (*Hibiscus sabdariffa* L.) Y
STEVIA (*Stevia rebaudiana bertonii*)

Línea de investigación:
Competitividad industrial, diversificación productiva y prospectiva

Tesis para optar el Título Profesional de Ingeniero Agroindustrial

Autora

Huayra Tello, Deyanira

Asesor

Jara Bautista, Lucio

ORCID: 0009-0001-5959-6991

Jurado

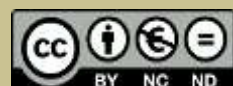
Sánchez Cáceres, Isaac

Arteaga Llacza, Pedro Pablo

Carlos Reyes, Gabriel Jorge

Lima - Perú

2025



DESARROLLO Y ANÁLISIS DE CALIDAD DE UNA BEBIDA NUTRACEÚTICA DE NOPAL (*Opuntia ficus indica*) FLOR DE JAMAICA (*Hibiscus sabdariffa* L.) Y STEVIA (*Stevia rebaudiana bertonii*)

INFORME DE ORIGINALIDAD

18%

INDICE DE SIMILITUD

16%

FUENTES DE INTERNET

7%

PUBLICACIONES

9%

TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1 Submitted to Universidad Nacional Federico Villarreal 3%
Trabajo del estudiante

2 repositorio.unfv.edu.pe 1%
Fuente de Internet

3 www.coursehero.com 1%
Fuente de Internet

4 hdl.handle.net <1%
Fuente de Internet

5 repositorio.utc.edu.ec <1%
Fuente de Internet

6 dspace.unica.cu <1%
Fuente de Internet

7 es.scribd.com <1%
Fuente de Internet

8 repositorio.uta.edu.ec <1%
Fuente de Internet

9 rraae.cedia.edu.ec <1%
Fuente de Internet

10 repositorio.uns.edu.pe <1%
Fuente de Internet

11 journalwjbphs.com <1%
Fuente de Internet

12 ciencia digital.org <1%
Fuente de Internet

13 docplayer.es <1%
Fuente de Internet



FACULTAD DE INGENIERÍA INDUSTRIAL Y DE SISTEMAS
DESARROLLO Y ANÁLISIS DE CALIDAD DE UNA BEBIDA NUTRACEÚTICA DE
NOPAL (*Opuntia ficus indica*) FLOR DE JAMAICA (*Hibiscus sabdariffa* L.) Y STEVIA

(*Stevia rebaudiana bertonii*)

Línea de investigación:

Competitividad industrial, diversificación productiva y prospectiva

Tesis para optar el Título Profesional de Ingeniero Agroindustrial

Autora:

Huayra Tello, Deyanira

Asesor:

Jara Bautista, Lucio

ORCID: 0009-0001-5959-6991

Jurado:

Sánchez Cáceres, Isaac

Arteaga Llacza, Pedro Pablo

Carlos Reyes, Gabriel Jorge

Lima - Perú

2025

Dedicatoria

A mis amados padres, Gladis Aurora y Seberino, por su amor incondicional, por ser mi ejemplo, de esfuerzo, humildad y perseverancia. Por cada palabra de aliento, y por enseñarme a nunca rendirme.

Agradecimiento

Quiero expresar mi profundo agradecimiento a todas las personas que hicieron posible la culminación de esta etapa tan importante en mi vida.

A Dios, por brindarme salud, fortaleza y sabiduría a lo largo de este camino.

A mi familia, por su apoyo, comprensión y palabras de aliento en cada momento difícil.

A mis docentes y asesores, por compartir sus conocimientos, orientación académica y por motivarme a dar lo mejor de mí.

A mis compañeros de estudio y amigos, por ser parte de esta experiencia y por cada aprendizaje compartido.

A todos los que de una u otra manera, contribuyeron en este proceso: gracias. Esta meta alcanzada es el reflejo del esfuerzo conjunto, y les estaré siempre agradecida.

ÍNDICE

Resumen.....	10
Abstract.....	11
I. INTRODUCCIÓN	12
1.1. Descripción y formulación del problema.....	12
1.2. Antecedentes	14
1.3. Objetivos	21
1.4. Justificación	21
1.5. Hipótesis	22
II. MARCO TEÓRICO.....	23
2.1. Bases Teóricas sobre el tema de investigación	23
III. MÉTODO.....	33
3.1. Tipo de investigación.....	33
3.2. Ámbito temporal y espacial.....	33
3.3. Variables.....	33
3.4. Población y Muestra	34
3.5. Instrumentos	35
3.6. Procedimiento	42
3.7. Análisis de datos	48
3.8. Consideraciones éticas	49
IV. RESULTADOS.....	50

V. DISCUSIÓN DE RESULTADOS	84
VI. CONCLUSIONES	89
VII. RECOMENDACIONES.....	91
VIII. REFERENCIAS	92
IX. ANEXOS.....	97

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Clasificación taxonómica de opuntia ficus indica	26
Tabla 2. Características Morfológicas de opuntia ficus indica	26
Tabla 3. Operacionalización de variables	34
Tabla 4. Análisis microbiológico de la bebida nutraceútica	41
Tabla 5 . Componentes y restricciones para el diseño experimental	43
Tabla 6. Diseño de Simplex Lattice con Centroide Ampliado	43
Tabla 7. Parámetros de composición y sus niveles.....	48
Tabla 8. Diseño experimental Taguchi	48
Tabla 9. Contenido proximal del extracto de Jamaica	50
Tabla 10. Contenido proximal del cladodio fresco del nopal	51
Tabla 11. Contenido proximal de Stevia en polvo.....	52
Tabla 12. ANOVA del ajuste del modelo cuadrático para la variable sensorial color	54
Tabla 13. Coeficientes de los factores codificados para la variable color.	55
Tabla 14. Coeficientes de los factores codificados para la variable olor.....	59
Tabla 15. ANOVA del ajuste del modelo cuadrático para la variable sensorial Sabor	62
Tabla 16. Coeficientes de los factores codificados para la variable Sabor.....	63
Tabla 17. ANOVA del ajuste del modelo cuadrático para la variable sensorial Textura	66
Tabla 18. Coeficientes de los factores codificados para la variable Textura.....	67
Tabla 19. ANOVA del ajuste del modelo cuadrático para variable sensorial Aceptabilidad..	70
Tabla 20. Coeficientes de los factores codificados para la variable aceptabilidad	71
Tabla 21. Límites superior e inferior para la optimización de la bebida nutraceútica.....	73
Tabla 22. Valores optimizados para la formulación de la bebida nutraceútica	74
Tabla 23. Resultados del efecto de los factores tiempo T° y tipo de envase en la bebida.....	75

Tabla 24. Coeficientes de modelos estimados para Relaciones SN.....	76
Tabla 25 . Resumen del modelo.....	77
Tabla 26. Análisis de Varianza de Relaciones SN.....	77
Tabla 27 . Respuestas para relaciones de señal a ruido más grande es mejor	78
Tabla 28. Contenido proximal de la bebida nutraceútica en una muestra de 100ml	79
Tabla 29. Análisis microbiológico de la bebida nutraceútica optimizada	79
Tabla 30 . Prueba de normalidad shapiro_ wilks para los tratamientos.....	81
Tabla 31. Resultados de la prueba de Friedman	82

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Esquema experimental en tres etapas en la elaboración de la bebida nutraceútica..	42
Figura 2. Diagrama de flujo de la elaboración de del extracto de nopal	44
Figura 3. Diagrama de flujo de la elaboración del extracto de flor de Jamaica.....	46
Figura 4. Diagrama de flujo experimental del desarrollo de la bebida nutraceútica	47
Figura 5. Contenido porcentual del extracto de Jamaica	50
Figura 6. Contenido porcentual del cladodio fresco del nopal	51
Figura 7. Contenido porcentual de Stevia en polvo	52
Figura 8 . Porcentaje de análisis sensorial de la variable color	53
Figura 9. Comportamiento de los componentes con respecto a la variable color.....	56
Figura 10. Contornos de la variable color.....	56
Figura 11. Resultados del análisis sensorial del olor	57
Figura 12. ANOVA del ajuste del modelo cuadrático para la variable sensorial olor.....	58
Figura 13. Comportamiento de los componentes con respecto a la variable olor	60
Figura 14 . Contorno para la variable olor.....	61
Figura 15. Resultados del análisis sensorial del Sabor	61
Figura 16. Comportamiento de los componentes con respecto a la variable Sabor	64
Figura 17. Contorno para la variable Sabor	65
Figura 18. Resultados del análisis sensorial del Textura	65
Figura 19. Comportamiento de los componentes con respecto a la variable Textura	68
Figura 20. Contorno para la variable Textura.....	68
Figura 21. Resultados del análisis sensorial de la variable aceptabilidad.....	69
Figura 22. Comportamiento de los componentes con respecto a la variable Aceptabilidad ...	72
Figura 23. Contorno para la variable Aceptabilidad.....	73

Figura 24. Componentes optimizados de la bebida nutraceútica.....	74
Figura 25. Efectos principales para las relaciones SN.....	78

Resumen

Objetivo: Desarrollar y analizar la calidad de una bebida nutracéutica elaborada a base de nopal, flor de Jamaica y Stevia. **Método:** mediante un diseño de mezclas simplex lattice y un diseño de Taguchi para optimizar la formulación y los procesos de elaboración. **Resultados:** permitieron identificar la formulación óptima de la bebida, compuesta por 12.204% de extracto de nopal, 10.296% de extracto de flor de Jamaica y 2.5% de Stevia, obteniendo una aceptabilidad sensorial 6.26 sobre 7 en escala hedónica. Se determinó que la degradación de los compuestos fenólicos es más rápida a temperaturas elevadas y en envases de plástico o transparentes, siendo los envases color ámbar más eficaces para conservarlos debido a su protección frente a la luz. El análisis fisicoquímico demostró que la bebida tiene bajo contenido calórico, está compuesta principalmente de agua, contiene una cantidad moderada de fibra, bajo pero relevante aporte de proteínas, carbohidratos y polifenoles, así como una alta capacidad antioxidante; características que la hacen apropiada como bebida funcional o nutracéutica de origen vegetal. El análisis microbiológico, realizado según la NTP 203.110, mostró que la bebida cumple con los estándares internacionales de seguridad, al no encontrarse coliformes, presentar bajos recuentos de aerobios mesófilos (10 UFC/mL), así como de mohos y levaduras (10 UFC/mL), reflejando un adecuado control sanitario y bajo riesgo de contaminación microbiana. **Conclusión:** La bebida nutracéutica posee buenas propiedades sensoriales, estabilidad de bioactivos en almacenamiento óptimo, composición nutricional favorable y cumple requisitos microbiológicos, siendo una alternativa saludable en el mercado de bebidas funcionales.

Palabras claves: Bebida nutracéutica, nopal, flor de Jamaica, Stevia, polifenoles, antioxidantes, análisis sensorial, diseño de mezclas.

Abstract

Objective: to develop and analyze the quality of a nutraceutical beverage made from nopal, Jamaica flower and Stevia. **Method:** by means of a simplex lattice mixture design and a Taguchi design to optimize the formulation and elaboration processes. **Results:** allowed the identification of the optimal formulation of the beverage, composed of 12.204% of nopal extract, 10.296% of Jamaica flower extract and 2.5% of Stevia, obtaining a sensory acceptability of 6.26 out of 7 on the hedonic scale. It was determined that the degradation of phenolic compounds is faster at elevated temperatures and in plastic or transparent containers, with amber containers being the most effective for preservation due to their protection against light. The physicochemical analysis showed that the beverage has a low caloric content, is composed mainly of water, contains a moderate amount of fiber, low but relevant contribution of proteins, carbohydrates and polyphenols, as well as a high antioxidant capacity; characteristics that make it appropriate as a functional or nutraceutical beverage of vegetable origin. The microbiological analysis, carried out according to NTP 203.110, showed that the beverage complies with international safety standards, as no coliforms were found, with low mesophilic aerobic counts (10 CFU/mL), as well as molds and yeasts (10 CFU/mL), reflecting an adequate sanitary control and low risk of microbial contamination. **Conclusion:** The nutraceutical beverage has good sensory properties, bioactive stability in optimal storage, favorable nutritional composition and meets microbiological requirements, being a healthy alternative in the functional beverage market.

Keywords: Nutraceutical beverage, nopal, Jamaica flower, Stevia, polyphenols, antioxidants, sensory analysis, mixture design.

I. INTRODUCCIÓN

Hasta ahora, el aumento en la demanda de productos naturales y saludables ha llevado a un mayor énfasis en las bebidas nutracéuticas, que no solo hidratan, sino que también mejoran la salud. (Núñez, 2025). El nopal (*Opuntia ficus indica*) y la flor de hibisco (*Hibiscus sabdariffa L.*) son dos sustancias que se han vuelto famosas en esta industria ya que son beneficiosas y funcionan bien. A la gente le gusta el nopal, un tipo de cactus, porque tiene mucha fibra, vitaminas y antioxidantes. A la gente le gusta la flor de hibisco porque puede ayudar a disminuir la presión arterial y es una fuente de sustancias antiinflamatorias. (Avila-Cid et al., 2023).

El uso de stevia (*Stevia rebaudiana Bertoni*) como edulcorante natural también la convierte en una alternativa más saludable a los azúcares procesados, lo que la hace una buena opción para preparar bebidas funcionales (Ahmad et al., 2020). El objetivo principal de esta investigación es crear y evaluar la calidad de una bebida nutracéutica que integre las características del nopal, la flor de hibisco y la Stevia, con el fin de determinar su viabilidad como un producto novedoso en el sector de bebidas saludables. La bebida se formulará utilizando una metodología científica y rigurosa, seguida de investigaciones fisicoquímicas y microbiológicas para evaluar su calidad y seguridad. Este estudio busca aumentar las ventajas de estas sustancias mientras enriquece la comprensión del uso sostenible de los recursos en el sector alimentario, de acuerdo con las tendencias modernas que abogan por una alimentación saludable y el bienestar general.

1.1. Descripción y formulación del problema

1.1.1. Descripción del problema

La creciente preocupación por la salud y el bienestar ha llevado a un aumento en la demanda de alimentos funcionales y nutracéuticos en Perú. (Ministerio de Salud [MINSAL], 2023). Las personas están prestando más atención a las bebidas que incluyen ingredientes

naturales como el nopal (*Opuntia ficus indica*), la flor de hibisco (*Hibiscus sabdariffa L.*) y la Stevia (*Stevia rebaudiana Bertoni*) ya que son beneficiosos para la salud. La ubicación de este estudio se centra en las regiones urbanas y rurales de Perú, donde hay un aumento en el consumo de alimentos saludables. El grupo demográfico afectado incluye jóvenes y adultos de mediana edad, particularmente aquellos preocupados por la creciente prevalencia de trastornos metabólicos como la diabetes, la obesidad y problemas digestivos como la gastritis. Datos recientes muestran que casi el 40% de los adultos en Perú tienen sobrepeso u obesidad y problemas digestivos, lo que aumenta el riesgo de enfermedades crónicas. (MINSA, 2023). Estos problemas de salud ocurren con mucha más frecuencia en las ciudades y afectan más a quienes tienen menos dinero. Además, la promoción y la conveniencia de obtener estas bebidas han llevado a un aumento en el consumo de bebidas azucaradas durante los últimos diez años. La falta de educación nutricional y el hecho de que las personas no puedan conseguir fácilmente bebidas más saludables son probablemente las principales razones del problema. La gente no conoce mucho sobre las ventajas de componentes como el nopal, la flor de Jamaica y la Stevia, lo que podría dificultar su adopción. Una cultura alimentaria que fomenta el uso de edulcorantes artificiales y azúcares añadidos también puede afectar cómo las personas actúan como consumidores. El estudio sugiere una serie de posibles remedios. Primero, crear y probar una bebida nutracéutica que combine nopal, flor de hibisco y Stevia podría ofrecer a los clientes peruanos una opción sabrosa y saludable. Esta bebida no solo podría mejorar la dieta de la población, sino que también podría ayudar a las personas a conocer estos nutrientes y cómo pueden beneficiar su salud. Para que la bebida tenga éxito en el mercado, es importante observar cómo la aceptan las personas y cómo sabe. En resumen, esta investigación busca abordar preguntas fundamentales sobre la viabilidad, la aceptación del consumidor y las características nutricionales de la bebida que amalgama estos ingredientes, con el objetivo de mejorar la salud pública y proporcionar alternativas viables en el creciente mercado de

productos saludables en Perú.

1.1.2. Formulación del problema general

¿Será posible desarrollar y analizar la calidad de una bebida nutracéutica a base de nopal, flor de Jamaica y Stevia?

1.1.3. Formulación de Problemas específicos

¿Cuál es la formulación óptima de la bebida nutracéutica a base de nopal, flor de Jamaica y Stevia mediante análisis sensorial?

¿Cuáles es el efecto del tiempo, la temperatura de almacenamiento y el tipo de envase sobre la estabilidad de los polifenoles de la formulación óptima de la bebida nutracéutica?

¿Cuáles son las características fisicoquímicas y microbiológica de la bebida nutracéutica a base de nopal, flor de Jamaica y Stevia de la formulación óptima?

1.2. Antecedentes

La tuna (*Opuntia ficus indica*) ofrece beneficios para la salud, por lo que se está estudiando. Comer tuna fresca es la mejor manera de aprovechar al máximo estas ventajas. Pero eso no siempre es sencillo ya que se echa a perder pronto (Lagua et al., 2020). Para solucionar esto, hicieron una bebida usando pulpa de nopal y maracuyá (*Passiflora edulis*). Mezclaron pequeños trozos de hoja de nopal (0.55 g) con jugo de maracuyá (250 ml) y azúcar refinada para hacer la mejor combinación. La investigación de aceptación se realizó utilizando un análisis sensorial, y a los catadores les gustó más el tratamiento T6. Este tratamiento incluía 15% nopal, 85% maracuyá y 12% de azúcar para endulzarlo. Además, las pruebas de laboratorio mostraron que tenía un nivel de proteína muy alto (1.29%) para una bebida. Los estudios microbiológicos también mostraron que es seguro para el consumo, ya que tiene un bajo número de bacterias mesófilas (1 ufc/ml) y no contiene E. coli ni coliformes totales (0 ufc/ml cada uno). Las pruebas de pH, °Brix y densidad también mostraron que el producto es

estable durante al menos 72 horas.

Sangucho (2016) creó una bebida novedosa y refrescante al mezclar nopal y maracuyá, que son ambos excelentes alimentos. Para encontrar la fórmula ideal, se realizaron doce experimentos con diferentes cantidades de nopal y maracuyá. También añadieron estabilizadores para mantener la bebida estable, como CMC y goma xantana, y edulcorantes naturales, como miel y Stevia. Utilizamos CMC y goma xantana para evitar que la bebida se separe y darle una buena textura. Esto también ayuda a que se vea hermoso por más tiempo. Elegimos miel y Stevia en lugar de azúcar común para poder probar varios sabores dulces y observar cómo cambiaban el sabor de la bebida. Se realizó una prueba de sabor exhaustiva con profesionales para ayudar a elegir la mejor alternativa. Esta prueba evaluó cómo sabía, olía, se sentía y se veía cada bebida. Los jueces lo apreciaron más porque sabía bien, se sentía bien y olía maravilloso. Miraron atentamente los componentes del que más les gustó. Contiene un 1.986% de ácido cítrico, lo que le daba un sabor ácido y lo preservaba de que se echara a perder. Tenía un pH de 3.19, lo que significaba que era ácido y estaba protegido contra microorganismos. Contenía mucho azúcar ya que tenía 7.3°Brix. Era necesario asegurarse de que era excelente que tuviera una densidad de 1.037 g/ml. También actuaba como un líquido que se diluía al agitarlo, lo que lo hacía más fácil de consumir. Lo más esencial al crearlo era mantenerlo seguro y excelente. Lo revisaron en busca de gérmenes para determinar cuánto tiempo duraría, y calcularon que sobreviviría durante 5 meses si se mantenía correctamente. Un análisis nutricional completo indicó que era nutritivo, con 0.272% de proteína, 0.484% de fibra, 27 calorías por porción, y mucho hierro (1.739 mg/100g) y calcio (186... Contiene vitaminas A, C, D y E. Esta información respalda la idea de que esta bebida podría ser una opción maravillosa y refrescante para la salud, ya que contiene muchos nutrientes clave.

Salinas et al. (2024) desarrollaron una bebida nutritiva utilizando extractos de varias variedades de flores de hibisco, distinguidas por su color y compuestos naturales, que los

consumidores encontrarían sabrosa y rica en antioxidantes. Se utilizaron flores de tres tipos distintos (rojo oscuro, rojo claro y sin color) para fabricar extractos acuosos. La mezcla en diferentes proporciones para hacer bebidas con la misma cantidad de antocianinas. Se hicieron cuatro bebidas (B1, B2, B3 y B4) y se examinó qué tan bien les gustaron a las personas haciéndolas probarlas, olerlas, etc. Se examinó el color de las bebidas, su acidez, la cantidad de fenoles y antocianinas, y qué tan bien funcionaban como antioxidantes. Había entre 23 y 24.9 mg de antocianinas en cada vaso de 240 ml de las bebidas. Los datos mostraron que el color y la acidez se alteraron, pero los clientes no lo notaron. Las bebidas B1 y B4, que se produjeron con los tres tipos de flores, tenían más fenoles y el mayor poder antioxidante. También olían y sabían mejor.

Roger (2024) realizó un estudio con cantidades variadas de flor de hibisco (0.625 g, 1.25g y 2.5 g por litro de agua). Se descubrió que más flores indicaban más antioxidantes. Los investigadores también analizaron cómo la fermentación con Scoby cambiaba el contenido de la bebida, los antioxidantes, los microorganismos, el color, el sabor y las cualidades físicas y químicas. La fermentación persistió durante 60 horas, y se determinaron el pH (entre 2.7 y 3.8), la acidez (0.0035–0.2187% de ácido acético), los sólidos solubles (5–8 °Brix) y la capacidad antioxidante (69.363–175.00 µg Trolox/100 ml). Después de la fermentación, la bebida se secó utilizando maltodextrina. El mejor resultado, basado en los niveles de polifenoles, flavonoides y antioxidantes, fue con 0.625g de flor de hibisco y 8% de panela. Esta prueba indicó que había 4.2×10^3 bacterias lácticas por gramo, 1.13 EAG/100 ml de polifenoles, 7.29 mg de quercetina/100 ml de flavonoides, 93.63 µg Trolox/100 ml de antioxidantes, y la siguiente composición: 0.219% de proteína, 0.8% de cenizas, 6%.

Carrasco (2023) quería hacer una bebida nutritiva que supiera bien y fuera buena para ti. Se creó utilizando hibisco y verbena de limón y endulzado con stevia en lugar de azúcar. Esta mezcla podría ser excelente para tu salud ya que tiene propiedades terapéuticas. Probamos

seis recetas y elegimos la mejor basándonos en su olor, sabor, apariencia y cuánto le gustó a la gente. La mezcla ganadora fue probada para detectar químicos, propiedades físicas y microbios a 20 y 38 grados. El pH, los sólidos totales disueltos, la acidez y los recuentos de bacterias coliformes y moho cumplieron con las normas para bebidas no carbonatadas (NTE INEN 2304). Pero después de dos semanas de almacenamiento, se identificaron levaduras, lo que significa que esta es la vida útil de la bebida. Debes darte cuenta de que esta bebida no tiene conservantes, lo que la convierte en un producto natural. El objetivo es que el producto sea barato ya que los componentes son baratos, y que sea una alternativa más saludable a las bebidas azucaradas.

Pérez (2021) hizo una bebida de aloe vera y flor de hibisco, y encontró la mejor manera de conservar sus características. La gente quería una bebida rica en fenoles, antocianinas y antioxidantes. Probamos diferentes cantidades de aloe vera (2, 5 y 7%) y Jamaica (0.5, 0.7 y 0.9%). Se confirmó que la bebida ideal estaba libre de bacterias patógenas. Utilizamos la prueba de Duncan y el análisis de varianza para examinar los datos químicos. Se utilizó la prueba de Friedman para los datos de sabor. Utilizamos la aplicación SPSS Statistics 22 para analizar los datos. Usando un enfoque normal, se elaboró la bebida, y T6 (5% de aloe, 0.9% de Jamaica) fue la mejor opción. Tenía una dulzura de 7.5 °Brix, un pH de 3.8, una acidez de 0.38%, muchos fenoles (714.86 mg AGE /100ml), mucha actividad antioxidante (1858.56 mg Trolox/100ml) y muchos antocianos (5587.99 mg C-3GE / 100ml).

Kuriyan et al. (2010) realizaron una evaluación exhaustiva de las propiedades hipolipemiantes de un extracto derivado de las hojas de *Hibiscus sabdariffa*, una planta utilizada en la medicina tradicional para el tratamiento de numerosas dolencias. *Hibiscus sabdariffa*, o flor de hibisco, es apreciada por sus beneficios culinarios y terapéuticos. Un experimento clínico controlado mostró que el extracto reduce significativamente los niveles de colesterol en sangre en personas con hiperlipidemia, lo que respalda el uso tradicional de la

planta. La investigación se concentra solo en las hojas y en una cierta demografía, limitando la aplicabilidad de los hallazgos.

Poornima (2012) proporciona un análisis exhaustivo de la composición química y las características antibacterianas de las flores de tres especies de *Hibiscus*, pertinente para elucidar el origen y la clasificación de *Hibiscus sabdariffa* dentro de la medicina tradicional. El examen de los componentes compartidos de *Hibiscus rosa sinensis* y *Hibiscus syriacus*, incluyendo el ácido 3-deoxi-d-mánnico y el 2,3-dihidro benzo furan, indica la presencia de características terapéuticas similares que justifican la investigación en la medicina tradicional. Además, la existencia de químicos distintivos en *Hibiscus rosa sinensis*, incluyendo pirrolidina y mono(2-etilhexilo) ftalato, puede sugerir usos medicinales prospectivos que necesitan ser investigados más a fondo. El artículo demuestra que los extractos de las flores de *Hibiscus syriacus* y *Hibiscus arnottianus* tenían propiedades antibacterianas y antifúngicas mejoradas, respectivamente. Esto se debe a que contienen muchos flavonoides y fenoles, que se sabe que son buenos para la salud y combaten los gérmenes. Estos resultados son importantes porque muestran que las flores de hibisco, que tienen muchas sustancias bioactivas, podrían usarse en la medicina tradicional para tratar enfermedades.

Naranjo (2013) ofrece una mirada exhaustiva a las flores de hibisco, hablando de aspectos importantes como su composición química, su uso en la medicina tradicional y sus beneficios para la salud. En primer lugar, el artículo habla sobre cómo la flor de hibisco está llena de compuestos bioactivos, incluyendo polifenoles, flavonoides y ácidos orgánicos como el ácido hibisco, que le proporcionan muchos beneficios para la salud. Los antocianos le dan a la planta su color rojo, y estas partes también tienen cualidades antioxidantes y antiinflamatorias. La gente sabe que los cálices de hibisco se utilizan para hacer bebidas agradables y para curar problemas estomacales y respiratorios. Se dice que beber infusión caliente de cálices puede ayudar con la debilidad y las dificultades renales. Las raíces también

se utilizan para tratar el estreñimiento, lo que demuestra lo útil que es esta planta en la medicina tradicional. El artículo también dice que puedes usar las hojas como cataplasma para tratar abscesos y trastornos exantemáticos. Esto indica una amplia gama de usos que van más allá de la alimentación, subrayando la importancia del hibisco en la medicina tradicional. Los estudios en ratas muestran que tiene efectos diuréticos, lo que significa que ayuda al cuerpo a deshacerse de más sodio, potasio y ácido úrico. Esto podría ser útil para aquellos que tienen problemas de retención de líquidos. El hibisco es útil para más que solo la medicina; también se puede usar para hacer gelatinas, dulces y jarabes. Esto demuestra lo útil que es en ambos campos. La capacidad de los extractos de cáliz para matar tanto bacterias grampositivas como gramnegativas es bastante útil, y sugiere que podrían ser útiles para conservar alimentos y mejorar la salud digestiva.

Povolo (2018) ofrece una visión completa de la planta *Hibiscus sabdariffa L.*, que también se conoce como flor de hibisco o "Roselle." Este examen es esencial para comprender el origen, la taxonomía, la composición aproximada y las aplicaciones y ventajas de esta planta en la medicina tradicional. *Hibiscus sabdariffa L.* es una planta que crece de forma natural en el oeste de Sudán y se cultiva mucho en climas tropicales y subtropicales, como China, Tailandia, Egipto, India y México. La planta puede crecer hasta 4 metros de altura y tiene tallos rojos y hojas verdes con venas carmesí. Al principio, las flores de la planta son amarillas, pero a medida que se marchitan, se vuelven rosadas. Este cambio en el tono de las flores es algo importante que podría ayudarte a diferenciarlas y clasificarlas en el grupo correcto. *H. sabdariffa* se divide en dos tipos principales: var. *altissima*, que se cultiva principalmente por su fibra, y var. *sabdariffa*, que tiene cuatro razas distintas basadas en el color del cáliz. Esta variedad taxonómica es importante no solo para el cultivo y la cosecha, sino también para utilizar sus cualidades en diversas situaciones, como la medicina tradicional. Los investigadores han estudiado las ventajas para la salud de las sustancias bioactivas encontradas

en la composición proximal de las flores de hibisco. El cáliz de *H. sabdariffa* se utiliza en muchos platos, pero más a menudo en bebidas llamadas "karkadeh," que se dice que son refrescantes y buenas para la salud. La inclusión de antioxidantes, vitaminas y minerales respalda este uso antiguo y añade a su reputación como medicina natural. La flor de hibisco se utiliza en la medicina tradicional, pero también se emplea en los sectores nutracéutico y cosmético. El artículo enfatiza la evaluación de sus cualidades químicas y su potencial para la formulación de productos beneficiosos, indicando que *H. sabdariffa* no solo es relevante en contextos culturales, sino que también puede influir sustancialmente en la salud pública y la industria.

Hamrita et al. (2022) proporcionan un análisis exhaustivo de los constituyentes fitoquímicos en los extractos de cáliz de *Hibiscus sabdariffa*, a menudo reconocida como flor de hibisco. Esta investigación es vital para comprender el origen y la taxonomía de la planta, así como su composición aproximada y usos en la medicina tradicional. La flor de hibisco es miembro de la familia Malvaceae y es conocida por tener muchos compuestos fenólicos. Estos son metabolitos secundarios que se ven afectados tanto por la genética como por el medio ambiente. La investigación indica que el extracto metanólico tiene 19.58 ± 0.08 mg GAE/g de polifenoles, pero el extracto acuoso contiene una mayor cantidad, 22.71 ± 0.08 mg GAE/g. Esto muestra que la forma en que se extraen los componentes bioactivos puede tener un gran efecto en su concentración. Esto es importante para la medicina tradicional, donde las flores de hibisco son valoradas por sus capacidades antioxidantes y antibacterianas. Los flavonoides son los compuestos fenólicos más comunes en las flores de hibisco. En el extracto acuoso, constituyen 22.49 ± 1.04 mg EC/g. Este resultado es muy significativo ya que se sabe que los flavonoides tienen varios beneficios para la salud, como ser antiinflamatorios y antioxidantes. La investigación también menciona varios compuestos, como dos antocianinas (delphinidina 3-O-sambubiosido y cianidina 3-O-glucósido) y algunos

derivados de flavonoides (miricetina y quercetina). Estas sustancias no solo aumentan el valor nutricional de las flores de hibisco, sino que también las hacen útiles en la medicina tradicional como remedios naturales para una serie de dolencias.

1.3. Objetivos

1.3.1. *Objetivo general*

OG: Desarrollar y analizar la calidad de una bebida nutracéutica a base de nopal, flor de Jamaica y Stevia.

1.3.2. *Objetivos específicos*

OE1: Determinar la formulación óptima de la bebida nutracéutica a base de nopal, flor de Jamaica y Stevia mediante análisis sensorial.

OE2: Determinar el efecto del tiempo, la temperatura de almacenamiento y el tipo de envase sobre la estabilidad de los polifenoles de la formulación óptima de la bebida nutracéutica

OE3: Determinar las características fisicoquímicas y microbiológica de la bebida nutracéutica a base de nopal, flor de Jamaica y Stevia de la formulación óptima.

1.4. Justificación

El estudio sobre el "Desarrollo y Análisis de Calidad de una Bebida Nutracéutica de Nopal (*Opuntia ficus indica*), Flor de Jamaica (*Hibiscus sabdariffa* L.) y Stevia (*Stevia rebaudiana bertonii*)" es crucial en el contexto actual, donde la salud y el bienestar son primordiales para la población. La gente está mostrando un mayor interés en los productos nutracéuticos ya que ofrecen más que una nutrición básica. Esto se debe a que las personas están buscando mejores opciones dietéticas. El aumento de enfermedades crónicas relacionadas con la nutrición y la necesidad de vidas saludables requieren la creación de productos accesibles y nutritivos. El objetivo de este estudio es descubrir qué beneficios para

la salud tiene cada uno de los componentes recomendados. Esto ayudará a crear una bebida que no solo sea sabrosa, sino también beneficiosa para la salud. Hay muchas cosas buenas sobre hacer esta bebida nutracéutica. En primer lugar, el estudio de su calidad debe asegurar que el producto sea seguro y efectivo. Además, hay una opción de bebida baja en calorías y azúcar, lo cual es genial para las personas que quieren perder peso y volverse más saludables. Además, se enseñará a las personas a apreciar los alimentos locales, lo que ayudará a que ciertos sectores agrícolas prosperen. El público en general, particularmente aquellos con problemas de salud como diabetes, obesidad y enfermedades del corazón, se beneficiará más de este estudio. Los agricultores locales y productores de nopal, flor de Jamaica y stevia también se beneficiarán al tener un mercado para sus productos, lo que fomentará métodos de cultivo sostenibles. La bebida que surge de esta investigación atraerá a una amplia gama de personas interesadas en productos saludables. Esto incluye a personas que siguen dietas específicas, atletas, personas que quieren mejorar su nutrición y salud en general, y personas interesadas en productos naturales y orgánicos. Esta estrategia integral permite que el estudio aborde los requisitos nutricionales mientras fomenta simultáneamente el desarrollo sostenible y refuerza la economía local. Este estudio sobre la creación de una bebida nutracéutica satisface las necesidades actuales de salud pública y también brinda la oportunidad de promover alimentos que son sabrosos, fáciles de conseguir y buenos para la salud, lo que ayudará a que muchos grupos de personas y la economía local crezcan.

1.5. Hipótesis

- Existen diferencias significativas en la aceptación sensorial entre las diferentes formulaciones de la bebida nutracéutica a base de nopal, flor de Jamaica y Stevia
- El tiempo y la temperatura de almacenamiento, así como el tipo de envase, tienen un efecto significativo en la estabilidad de los polifenoles presentes en la bebida nutracéutica de la formulación óptima.

II. MARCO TEÓRICO

2.1. Bases Teóricas sobre el tema de investigación

Bebidas nutraceuticas

La siguiente revisión de la literatura examina la expansión y categorización de las bebidas nutraceuticas, junto con sus efectos en la salud humana. Das y Das (2015) dicen que los nutraceuticos pueden dividirse en tres grupos principales: nutrientes, herbales y farmaceuticos. Este artículo enfatiza la importancia de los cereales como base de los nutraceuticos, indicando que su uso constante puede ayudar en la prevención de enfermedades como la diabetes y el cáncer, ilustrando así el valor de estas bebidas en la promoción de la salud. Williamson et al. (2020) luego hablan sobre el aumento de los nutraceuticos herbales como una forma de tratamiento, enfatizando cómo más personas están interesadas en productos de origen vegetal. Este artículo habla sobre la popularidad de ciertos nutraceuticos de origen vegetal, como el ginseng y el té verde, que están relacionados con una serie de beneficios para la salud. También señala que no hay suficientes datos sólidos para respaldar muchas de estas afirmaciones, lo que dificulta demostrar que funcionan. Durazzo et al. (2020) examinan los nutraceuticos desde una perspectiva más amplia, analizando nuevos estudios sobre cómo funcionan y qué tan bien funcionan. Este artículo aborda la caracterización de los componentes funcionales y su uso en los productos alimenticios, proporcionando un contexto vital para entender cómo se pueden elaborar bebidas nutraceuticas para optimizar sus beneficios para la salud. Sikalidis et al. (2020) amplían el discurso al examinar el impacto de las bebidas no alcohólicas en la salud humana, enfatizando la hidratación y la salud cardio metabólica. Este artículo habla sobre la importancia de beber bebidas bajas en calorías y ricas en nutrientes y cómo la industria de las bebidas está cambiando para ofrecer bebidas que son mejores para la salud. Esto muestra que necesitamos una guía estructurada sobre cómo consumir bebidas para cerrar las brechas nutricionales y reducir el riesgo de trastornos a largo plazo.

Puri et al. (2022) señalan un aumento sustancial en el reconocimiento y uso de nutracéuticos como suplementos medicinales, incluyéndolos en la medicina complementaria y alternativa. La creciente popularidad de los nutracéuticos muestra que podrían ser un aspecto importante de la salud pública y la medicina preventiva. Popova et al. (2023) examinan las bebidas vegetales y dicen que se debería investigar más sobre los fitoquímicos en estas bebidas y cómo podrían ser beneficiosos para la salud. El artículo también habla sobre cómo la tecnología ecológica puede ser utilizada para mejorar las bebidas a base de plantas, lo que podría hacerlas más nutritivas y útiles. La rigurosa evaluación de la disponibilidad de nutrientes en varias alternativas de bebidas a base de plantas subraya la necesidad de evaluar tanto las ventajas como los posibles factores anti nutricionales en estas formulaciones.

Nopal (*Opuntia ficus indica*)

El estudio de la literatura discute la relevancia del nopal (*Opuntia ficus indica*) al examinar su historia, taxonomía, composición química y diversas aplicaciones. El nopal ha sido una parte importante de la cocina mexicana desde antes de la llegada de los españoles, tanto como fruta (tuna) como vegetal (nopalito). Su uso y reconocimiento han cambiado a lo largo de los años.

Alfaro (2011) señaló que la tuna es un tipo de cactus que pertenece principalmente a los géneros *Opuntia* y *Nopalea*. La primera es la más utilizada para hacer nopalitos y tunas. Su adaptabilidad se muestra en su uso dietético, usos terapéuticos y función ecológica en la conservación del suelo. Mostafa et al. (2014) examinaron cómo el nopal fue traído a España y cómo es diferente en Marruecos, hablando sobre cómo puede ser utilizado para la salud y la nutrición. El estudio demostró que la tuna contiene compuestos bioactivos, incluyendo antioxidantes y polifenoles, que proporcionan varios beneficios para la salud, como efectos antiúlceras y antioxidantes.

Hernández (2017) continúa esta línea de estudio, enfocándose en cómo el nopal puede crecer en áreas secas y cómo se cultiva en grandes cantidades en México. Destacó lo importante que es no solo como alimento, sino también como planta medicinal que puede ayudar con muchos problemas de salud y recuperar suelos que han sido dañados. Santos et al. (2017) hablaron sobre los varios tipos de *Opuntia* y cuán importantes son para la economía agrícola. Enfatizaron que *O. ficus-indica* es un cultivo de larga data que ha sido fundamental para la nutrición humana y ha evolucionado en su sabor y características a través de la domesticación. Perucini et al. (2021) ofrecieron información sobre las características químicas y biológicas de los cladodios, enfatizando su importancia nutricional y su potencial como fuente de compuestos polifenólicos. Esta investigación corresponde con la creciente tendencia hacia la ingesta de alimentos nutritivos y el interés en las ventajas para la salud del nopal. Madrigal et al. (2022) ofrecieron una visión general extensa de los compuestos bioactivos en la tuna, enfatizando su importancia en la prevención de enfermedades crónicas y sus propiedades antioxidantes. Este estudio confirmó que el nopal es una fuente importante de alimento y medicina.

Maiuolo et al. (2024) realizaron una investigación sobre la actividad antioxidante y la fluctuación estacional en el contenido de fibra insoluble en los cladodios, subrayando la importancia del nopal para la salud y su potencial como fuente de compuestos bioactivos. Caminiti et al. (2024) procedieron a investigar los beneficios de los cladodios en diversas etapas de desarrollo, centrándose en cómo afectan los niveles de azúcar en la sangre y cómo funcionan como antioxidantes.

Tabla 1.*Clasificación taxonómica de opuntia ficus indica*

Rango Taxonómico	Clasificación
Dominio	Eukaryota
Reino	Plantae
División	Magnoliophyta (Angiospermae)
Clase	Magnoliopsida
Orden	Caryophyllales
Familia	Cactaceae
Subfamilia	Opuntioideae
Tribu	Opuntieae
Género	<i>Opuntia</i>
Especie	<i>Opuntia ficus-indica</i>

Nota. Clasificación tomada de Plants of the World Online (Royal Botanic Gardens, Kew, s. f.).

Tabla 2.*Características Morfológicas de opuntia ficus indica*

Característica	Descripción
Hábito	Arbusto o árbol suculento, perenne, de 1-5 m de altura.
Tallo	Cladodios (pencas/paletas), aplanados y carnosos, verdes.
Cladodios	Ovalados/oblongos, 15-60 cm largo, 10-30 cm ancho, 1.5-3 cm grosor. Superficie con areolas.
Areolas	Origen de espinas, gloquidios y flores.
Espinas	Presentes/ausentes (según variedad), variables en número, longitud y color.
Gloquidios	Pequeñas espinas finas, irritantes.
Hojas	Escamas cónicas, caducas, en areolas de cladodios jóvenes.

Característica	Descripción
Flores	Solitarias, grandes (5-10 cm), hermafroditas, amarillas/anaranjadas/rojas. En areolas de cladodios del año anterior.
Fruto	Baya carnosa, ovoide/globosa, 5-10 cm largo, 4-8 cm diámetro. Piel verde/amarilla/naranja/roja/púrpura. Pulpa jugosa, dulce, con semillas.
Semillas	Pequeñas, numerosas (300-500), discoideas, blancas/amarillentas.
Raíces	Superficiales y extendidas.

Nota. Clasificación tomada de Plants of the World Online (Royal Botanic Gardens, Kew, s. f.).

Flor de Jamaica *Hibiscus sabdariffa*,

La flor de hibisco, o *Hibiscus sabdariffa*, es una planta que ha sido estudiada muchas veces para conocer más sobre su origen, cómo se clasifica, de qué está compuesta y cómo se utiliza y es útil en la medicina tradicional. Las publicaciones que se revisaron proporcionan una imagen completa que muestra cuán importante es esta planta cultural y medicinalmente. *Hibiscus sabdariffa* ha sido utilizado en la medicina popular para tratar una serie de problemas de salud, demostrando que es importante para la salud pública. Poornima (2012) realizó una investigación fitoquímica que mostró cómo se encuentran diferentes químicos en las especies de *Hibiscus*. Esta heterogeneidad química puede ser lo que le da a la planta sus beneficios medicinales. Naranjo (2013) amplía este conocimiento al evaluar las propiedades diuréticas de *Hibiscus sabdariffa* y medir su contenido de polifenoles, subrayando así su uso en la formulación de bebidas y terapias gastrointestinales. Povolo, (2018) elucida los rasgos taxonómicos y morfológicos de la planta, que son cruciales para comprender su distribución y accesibilidad. Hamrita et al. (2022) realizaron una investigación fitoquímica completa que mostró que los compuestos fenólicos y los flavonoides están presentes en los extractos del cáliz de *Hibiscus sabdariffa*. Esto demuestra que tienen propiedades antioxidantes y antibacterianas. Esta colección de artículos enfatiza el redel cáliz cultural de la flor de hibisco y su intrincada

composición química, lo que la hace significativa en la medicina tradicional.

En resumen, el análisis de la literatura indica que *Hibiscus sabdariffa* es una planta utilizada extensamente en la medicina tradicional, respaldada por una composición química compleja que abarca componentes bioactivos con características antioxidantes y antibacterianas. Estos resultados destacan la importancia de las flores de hibisco tanto en contextos culturales como de salud, indicando un potencial considerable para futuros estudios y usos médicos.

Stevia (Stevia rebaudiana)

Stevia rebaudiana La agroindustria está interesada en Bertonni ya que tiene varios usos y ventajas. Francisco (2015) habló sobre cómo esta planta podría ser un edulcorante herbal del siglo XXI. Habló sobre cómo se podría cultivar mejor y cómo podría usarse para hacer esteviósido y rebaudiósido A. También habló sobre cómo podría sobrevivir a las malas condiciones climáticas, como las heladas y el acame. Este estudio estableció la importancia de la Stevia en la producción agroindustrial, enfatizando su adaptabilidad a diversos entornos y su papel en la mejora de la producción agrícola. Magangana (2017) realizó un exhaustivo examen del crecimiento y desarrollo in vitro de la Stevia, centrándose en sus propiedades bioquímicas, nutricionales y funcionales. Esta investigación ofrece un análisis más completo de las características que hacen de la Stevia un edulcorante natural de alta potencia, subrayando así su importancia en la agroindustria como fuente de componentes saludables. Khiraoui et al. (2017) examinaron la composición bioquímica y las cualidades terapéuticas de la Stevia, investigando las características químicas y funcionales de las variedades cultivadas en el sur de México. Esta página se suma a las anteriores al comparar varios cultivares. Esto ayuda a los investigadores y productores a elegir las mejores variantes para su uso en la industria alimentaria y a conocer más sobre las propiedades medicinales de la planta. Miladinova et al. (2022) y sus colegas examinaron cómo varios elicitores afectaron la micropropagación, la

producción de biomasa y los metabolitos secundarios de la Stevia. Esta página ofrece una visión completa de la planta, centrándose en sus altos niveles de glucósidos de steviol y sus ventajas para la salud. También se afirma que puede usarse de varias maneras, como hojas frescas, concentrados líquidos y como un suplemento nutricional aprobado por la FDA. Esta investigación muestra que la Stevia podría usarse como un reemplazo del azúcar regular y como un ingrediente en el sector alimentario, lo que confirma su valor como cultivo en la agricultura contemporánea. Estas investigaciones muestran cómo nuestra comprensión de Stevia rebaudiana ha cambiado con el tiempo, desde cómo se cultiva y se produce hasta su valor nutricional y sus usos en la agricultura. Esto muestra lo importante que es encontrar mejores opciones alimenticias.

Diseños de Mezclas

Los diseños experimentales de mezcla son un tipo de diseño experimental utilizado donde la respuesta de interés depende de las cantidades relativas de diferentes partes, no de las cantidades totales. Una característica clave de estos estudios es que el total de las proporciones de las partes en cada ensayo debe ser el mismo (generalmente 1 o 100%). Este tipo de diseño es común en sectores como la fabricación de productos químicos, alimentos, medicamentos, metales, combustibles y más, donde el objetivo es cambiar la composición para mejorar una característica.

El espacio experimental para un diseño de mezclas con q componentes

$$(x_1, x_2, \dots, x_q),$$

Donde:

x_i = Representa la proporción del i -ésimo componente, está definido por las restricciones: $x_i \geq 0$ para $i = 1, \dots, q$ $\sum x_i = 1$ (donde la suma es de $i=1$ a q)

Este espacio es geoméricamente un simplex regular (un segmento de línea para $q=2$, un triángulo equilátero para $q=3$, un tetraedro para $q=4$, etc.).

Hay maneras de elegir puntos experimentales dentro de la familia de diseños de mezclas. Estos incluyen diseños Simplex-Lattice, diseños Simplex-Centroid y diseños que limitan los componentes.

Diseño de Mezclas Simplex-Lattice

En el diseño de mezcla de simplex lattice el espacio experimental es un simplex, que es una forma geométrica con vértices que muestran las combinaciones puras de cada componente y puntos internos y de borde que muestran varias proporciones mezcladas. Lo más importante es que las proporciones de las partes siempre sumen uno.

$$\sum_{i=1}^q x_i = 1 \dots \dots \dots Ec. 1$$

Donde

q= número de componentes

X_i = fracción relativa de cada uno

Este marco permite modelar la respuesta (Y) del sistema como una función de las proporciones X_i , que se representa mediante modelos polinomiales específicos conocidos como modelos de Scheffé, desarrollados para responder a la estructura y naturaleza del espacio de mezclas

Modelos polinomiales clásicos en diseño de mezclas

Modelo lineal de mezclas

El modelo lineal describe la respuesta como una combinación ponderada de los valores asociados a las mezclas puras, asumiendo ausencia de interacción entre los componentes:

$$Y = \sum_{i=1}^q \beta_i x_i \dots \dots \dots Ec. 2$$

Donde:

β_i =Es el coeficiente que representa la contribución única de cada componente

Modelo cuadrático de Scheffé

En sistemas donde se sospecha o se observa interacción entre los componentes de la mezcla, el modelo cuadrático permite representar el efecto sinérgico o antagónico entre pares de componentes:

$$Y = \sum_{i=1}^q \beta_i x_i + \sum_{i < j} \beta_{ij} x_i x_j \dots \dots \dots Ec. 3$$

Donde:

β_{ij} = Cuantifica la interacción específica entre los componentes i , y , j de la mezcla

Modelo cúbico especial de Scheffé

En mezclas con interacciones complejas o alta no linealidad, el modelo cúbico especial incorpora términos de triple interacción, ideales para sistemas como matrices alimentarias, hormigones o productos multifásicos:

$$Y = \sum_{i=1}^q \beta_i x_i + \sum_{i < j} \beta_{ij} x_i x_j + \sum_{i < j < k} \beta_{ijk} x_i x_j x_k \dots \dots \dots Ec. 4$$

Donde el coeficiente

β_{ijk} = modela la sinergia (o antagonismo) a tres componentes

Diseño de Taguchi

Genichi Taguchi inventó el diseño experimental de Taguchi, que es una estrategia poderosa para mejorar la calidad de los productos o procesos con la menor cantidad de pruebas posible, al mismo tiempo que reduce la imprevisibilidad causada por elementos que no se pueden controlar. Los diseños de Taguchi fueron originalmente desarrollados desde un punto de vista empírico; sin embargo, su uso actual se basa fundamentalmente en modelos matemáticos, particularmente para la predicción y optimización de respuestas según lo requerido por el análisis industrial o de ingeniería contemporáneo.

El parámetro Razón Señal a Ruido (S/N)

Para cuantificar la calidad o robustez de cada configuración experimental, Taguchi introdujo la función S/N:

$$\frac{S}{N} = -10 \text{Log}_{10} \sum_{i=1}^n y_i^2 \dots \dots \dots \text{Ec. 5}$$

Para el caso "más bajo es mejor", donde

y_i^2 = es la respuesta medible y

n = El número de repeticiones por configuración. Existen funciones S/N para diferentes objetivos: "más alto es mejor", "más bajo es mejor" y "nominal es mejor"

Modelos matemáticos de predicción en Taguchi

Es típico hacer un modelo de regresión polinómica (generalmente lineal o cuadrática, dependiendo del tipo de componentes y niveles) basado en los hallazgos, incluso si calcular los efectos primarios es suficiente para tomar decisiones utilizando arreglos ortogonales.

$$Y = \beta_0 + \sum_{i=1}^k \beta_i x_i + \sum_{i < j} \beta_{ij} x_i x_j + \varepsilon \dots \dots \dots \text{Ec. 6}$$

Donde:

Y = es la respuesta,

X_i = los factores a cada nivel,

β_i = los coeficientes de regresión, y

ε = el término de error

En sistemas con muchas respuestas o que son muy complicados, la técnica de Taguchi puede ser utilizada con métodos de superficie de respuesta (RSM) o algoritmos de optimización evolutiva para crear modelos matemáticos multifactoriales que sean más precisos.

III. MÉTODO

3.1. Tipo de investigación

La investigación actual es aplicada, ya que tiene como objetivo abordar problemas prácticos o responder a preguntas particulares que surgen en situaciones del mundo real. Este tipo de estudio busca respuestas reales y útiles, mientras que la investigación básica se centra en generar nuevas ideas (Gregar, 2023).

3.1.1 Nivel de investigación

Es un estudio cuantitativo ya que examina números utilizando técnicas estadísticas. Se trata principalmente de averiguar cómo se relacionan entre sí diferentes formulaciones.

3.1.2 Diseño de investigación.

Se llevó a cabo utilizando un diseño experimental que implica la manipulación de variables independientes para examinar su impacto en variables dependientes en entornos controlados. Permite la deducción de vínculos causales.

3.2. Ámbito temporal y espacial

El estudio se llevó a cabo de agosto a diciembre de 2024 en los laboratorios de procesos agroindustriales y bioquímica de la Escuela Profesional de Ingeniería Agroindustrial de la Universidad Nacional Federico Villarreal.

3.3. Variables

3.3.1 Variable Independiente

Desarrollo de una bebida nutracéutica a base de nopal, flor de Jamaica y Stevia

3.3.2 Variable dependiente

Análisis de la calidad de una bebida nutracéutica

3.3.3 Operacionalización de variables

Tabla 3.*Operacionalización de variables*

Variab les	Indicadores	Tipos de medición	Técnicas de recolección de datos
VI. Desarrollo de una bebida nutraceutica a base de nopal, flor de Jamaica y Stevia	formulación óptima de la bebida nutraceutica	Ordinal que mide nivel de satisfacción	Escala hedónica de 7 puntos
VD. Análisis de la calidad de la bebida nutraceutica	Efecto de la temperatura, tiempo y tipo de envase en la estabilidad de los polifenoles.	Intervalo Continuo	Método Taguchi
	Características fisicoquímicas de la bebida nutraceutica optimizado	Intervalo Continuo	Técnicas AOAC
	Características microbiológicas la bebida nutraceutica	Intervalo Continuo	NTP 207.002

3.4. Población y muestra**3.4.1. Población de estudio**

Este presente estudio se centró en la población de séptimo, noveno y décimo ciclo de estudiantes de Ingeniería Agroindustrial de la Universidad Nacional Federico Villarreal durante el ciclo académico 2024 II. los estudiantes tienen conocimientos técnicos en agroindustria, lo que les da una idea general de cómo se hacen los alimentos y de las propiedades organolépticas de las bebidas nutraceuticas

3.4.2. Muestra poblacional

Se reclutó en total 60 estudiantes que voluntariamente aceptaron participar en dicha investigación para realizar el análisis sensorial de la bebida nutraceutica de nopal, flor de Jamaica, Stevia.

3.4.3. *Muestreo*

La selección de muestra se realizó, usando un tipo de muestreo por conveniencia que es un método de muestreo no probabilístico donde se eligió a las personas más accesibles para el investigador, sin usar métodos aleatorios

3.5. Instrumentos

3.5.1. *Materia prima e insumos*

- Flor de Jamaica (*Hibiscus sabdariffa*)
- Nopal fresco, (*opuntia ficus indica*)
- Stevia (*Stevia rebaudiana Bertoni*)
- Agua tratada
- Ácido Cítrico
- CMC (Carboximetil celulosa)

3.5.2. *Materiales*

- Ollas de acero inoxidable
- Recipientes de vidrio o plástico (grado alimenticio)
- Coladores
- Papel filtro
- Jarra graduada o probetas
- Vasos o recipientes de vidrio para mezclar.
- Agitador o varilla de vidrio
- Embudo
- Botellas de vidrio o plástico PET (grado alimenticio)
- Refrigerador.
- Cajas o contenedores para almacenar las botellas envasadas

3.5.3. Equipos

- Estufa
- Licuadora o extractor de jugos
- Termómetro
- Cubitera con hielo (para mantener la temperatura de las muestras).
- Potenciómetro (pH-metro):
- Refractómetro:
- Titulador automático (o bureta, soporte y agitador magnético):
- Viscosímetro:
- Balanza analítica:
- Estufa de secado:
- Mufla:
- Autoclave:
- Incubadora:
- Agitador magnético con calentamiento
- Baño maría

3.5.4. Análisis sensorial de la bebida nutraceutica

Se utilizó un cuestionario de escala hedónica de 7 puntos para probar las cualidades sensoriales de la bebida nutraceutica. Los participantes evaluaron cuánto les gustaba la bebida eligiendo un punto en una escala que iba desde "me desagrada extremadamente" hasta "me gusta extremadamente", con una opción neutral en el medio. Este enfoque nos permitirá averiguar la mezcla de nopal, flor de Jamaica y Stevia.

3.5.5. Validación del cuestionario

El instrumento del cuestionario sensorial fue validado de acuerdo con las normas ISO 8586:2012, identificando las propiedades sensoriales clave de la bebida nutraceutica de nopal,

Stevia y jamaicana (color, olor, sabor y textura). Se seleccionaron sesenta panelistas según criterios específicos para asegurar su capacidad de percibir y articular los atributos sensoriales relevantes, garantizando así la representatividad y variabilidad del panel. Posteriormente, se implementó un programa de capacitación integral, que abarcó la familiarización con los productos de bebida nutracéutica, metodologías de detección de atributos, la aplicación de escalas de evaluación y sesiones de calibración con muestras de referencia para sincronizar la percepción y los criterios de evaluación de los jueces. También realizamos pruebas de discriminación para ver si los jueces podían distinguir las cualidades sensoriales de la bebida nutracéutica y encontrar su umbral de detección.

3.5.6. Fiabilidad mediante el Coeficiente de Correlación Intraclase (ICC)

Los evaluadores de la confiabilidad consistieron en 10 panelistas seleccionados al azar de un total de 60, utilizando el Modelo Aleatorio Bidireccional. Se utilizó el software IBM Statistics SPSS versión 29 para procesar los hallazgos de las propiedades sensoriales.

3.5.6.1. Interpretación del ICC.

El valor del ICC varía de 0 a 1. Generalmente, se interpretan de la siguiente manera:

- 0 - 0.40: Poca fiabilidad
- 0.41 - 0.60: Fiabilidad moderada
- 0.61 - 0.80: Fiabilidad sustancial
- 0.81 - 1.00: Fiabilidad casi perfecta

El coeficiente de correlación intraclase (ICC) obtenido en esta investigación fue de 0.76, lo que indica una considerable fiabilidad de la herramienta de evaluación. Por lo tanto, basándose en la interpretación de los datos, la encuesta utilizada se considera apropiada y confiable para evaluar los atributos sensoriales de la bebida nutracéutica que incluye Nopal, Jamaica y Stevia.

3.5.7. Análisis fisicoquímico de la bebida nutracéutica

Las pruebas fisicoquímicas subsiguientes se realizaron para describir la bebida nutracéutica que incluye nopal, hibisco y Stevia.

3.5.7.1. Determinación del pH:

Método Potenciometría (AOAC 981.12). El potenciómetro se configuró utilizando soluciones tampón con niveles de pH conocidos de 4.0, 7.0 y 10.0. El electrodo del potenciómetro se colocó en la muestra de bebida de manera que tocara la solución. Cuando la lectura en el medidor de pH dejó de cambiar, se anotó el valor del pH. Hicimos cada muestra tres veces y tomamos el promedio.

3.5.7.2. Determinación de la Acidez Titulable:

Método de titulación utilizando NaOH (AOAC 942.15), expresado como un porcentaje de ácido cítrico. Tomamos una muestra de la bebida (por ejemplo, 10 mL) y la mezclamos con agua destilada. Se añadió un indicador en forma de fenolftaleína. Se tituló con una solución típica de NaOH (por ejemplo, 0.1 N) hasta alcanzar un punto final de un rosa brillante que se mantuvo constante. Anotaron cuánto NaOH utilizaron. Usamos la siguiente fórmula para calcular la acidez titulable.

$$\text{Acidez (\%)} = \frac{(\text{VNaOH} * \text{NNaOH} * \text{PEácido cítrico} * 100)}{\text{Vm} * 1000} \dots \text{Ec. 7}$$

Donde:

VNaOH = Volumen de NaOH gastado en la titulación (mL)

NNaOH = Normalidad de la solución de NaOH

PEácido cítrico = Peso equivalente del ácido cítrico (64.04 g/mol)

3.5.7.3. Determinación de Sólidos Solubles Totales:

El Método de Reflectometría (AOAC 932.12) se muestra en °Brix., se usó agua destilada (0 °Brix) para calibrar el refractómetro. Se colocó una pequeña cantidad de la muestra de bebida en el prisma del refractómetro. La tapa se cerró y se anotó el valor de °Brix. Se realizaron tres repeticiones para cada muestra, y se dio el valor medio.

3.5.7.4. Determinación de Cenizas:

Método de Incineración en Horno de Mufla (AOAC 940.26) Pesando una cápsula de porcelana que ya ha sido tara (peso conocido). Se colocó una pequeña cantidad de la muestra de bebida (5–10 mL) dentro de la cápsula. Se secó en un horno a 105°C hasta que su peso se mantuvo constante. La cápsula que contenía la muestra seca se colocó en un horno de mufla que ya había sido calentado a 550°C y se quemó hasta que se convirtió en cenizas blancas o grises (alrededor de 4–6 horas). El deshidratador enfrió la cápsula, y luego se pesó. Utilizamos el siguiente cálculo para determinar la proporción de cenizas.

$$\text{Cenizas (\%)} = \frac{PC - PCB}{Pm * 100} \dots\dots Ec. 8$$

Donde:

PC = Peso de la cápsula con cenizas

PCB= Peso de la cápsula vacía

Pm= Peso de la muestra seca

3.5.7.5. Determinación de la Viscosidad

Usando un viscosímetro rotatorio (Brookfield,) (AOAC 962.36) para medir la viscosidad. Se eligió el husillo adecuado según la proyección de la densidad de la bebida. El husillo se colocó en la muestra de bebida de manera que quedara completamente cubierto. Encendimos el viscosímetro y lo dejamos estabilizarse antes de tomar una lectura. Se utilizaron centipoises (cP) para medir la viscosidad. Se realizaron tres repeticiones para cada muestra, y se proporcionó la media.

3.5.7.6. Determinación de Carbohidratos Totales.

Método Cálculo por diferencia (basado en análisis proximal) (AOAC 986.25)

- Se determinó el contenido de humedad, proteína, grasa y cenizas de la bebida (siguiendo los métodos AOAC correspondientes).
- Se calculó el porcentaje de carbohidratos totales por diferencia, utilizando la

siguiente fórmula:

$$\text{Carbohidratos \%} = 100 - \%H + \%P + \%G + \%C \dots Ec. 9$$

Donde:

%H = Porcentaje humedad

%P = Porcentaje de proteína

%G = Porcentaje de grasa

%C = Porcentaje de cenizas

Nota: Este método proporciona una estimación de los carbohidratos totales, incluyendo azúcares, almidones y fibra. Para determinar los tipos de carbohidratos específicos, se requerirían métodos analíticos adicionales

3.5.7.7. Determinación del Contenido de Polifenoles Totales.

Método Folin-Ciocalteu (AOAC 2005.02), expresado como mg de equivalentes de ácido gálico por litro (mg GAE/L).

- Se preparó una solución de Folin-Ciocalteu diluida (generalmente 1:10 con agua destilada).
- Se mezcló una alícuota de la muestra de la bebida (o un extracto diluido de la bebida) con la solución de Folin-Ciocalteu diluida.
- Se añadió una solución de carbonato de sodio (ej., 7.5% p/v) a la mezcla.
- Se incubó la mezcla en la oscuridad durante un tiempo determinado (ej., 60-90 minutos) a temperatura ambiente.
- Se midió la absorbancia de la mezcla a una longitud de onda específica (generalmente 765 nm) utilizando un espectrofotómetro.
- Se preparó una curva de calibración utilizando soluciones estándar de ácido gálico.
- Se determinó la concentración de polifenoles totales en la muestra, expresada

como mg GAE/L, utilizando la curva de calibración.

- Se realizaron tres repeticiones por muestra y se reportó el promedio.

3.5.7.8. Determinación de la Actividad Antioxidante:

Se pueden utilizar varios métodos para evaluar la actividad antioxidante. Aquí se presentó dos ejemplos comunes:

Método DPPH (2,2-difenil-1-picrilhidrazil).

Ensayo de decoloración del radical DPPH (Brand-Williams et al., 1995), expresado como % de inhibición o como Trolox equivalents (TE).

- Se preparó una solución de DPPH en un solvente adecuado metanol
- Se mezcló una alícuota de la muestra de la con la solución de DPPH.
- Se incubó la mezcla en la oscuridad durante un tiempo determinado 30 minutos a temperatura ambiente.
- Se midió la absorbancia de la mezcla a una longitud de onda específica 517 nm utilizando un espectrofotómetro.
- Se calculó el porcentaje de inhibición del radical DPPH utilizando la siguiente fórmula:

$$\text{Inhibición (\%)} = + \frac{AC - Am}{AC * 100} \dots\dots Ec. 10$$

Donde:

AC=Absorbancia control

Am= Absorbancia muestra

3.5.8. *Análisis microbiológico*

Tabla 4.

Análisis microbiológico de la bebida nutracéutica

Tipo de análisis	Unidad	Método de ensayo
Coliformes	NMP /ml	Iso 4831 ICMSF
Aerobios mesófilos	UFC/ml	Iso 4833-1 ICMSF
Recuento de Mohos	UFC/ml	Iso 21527-1 ICMSF
Recuento de levaduras	UFC/ml	Iso 21527-1 ICMSF

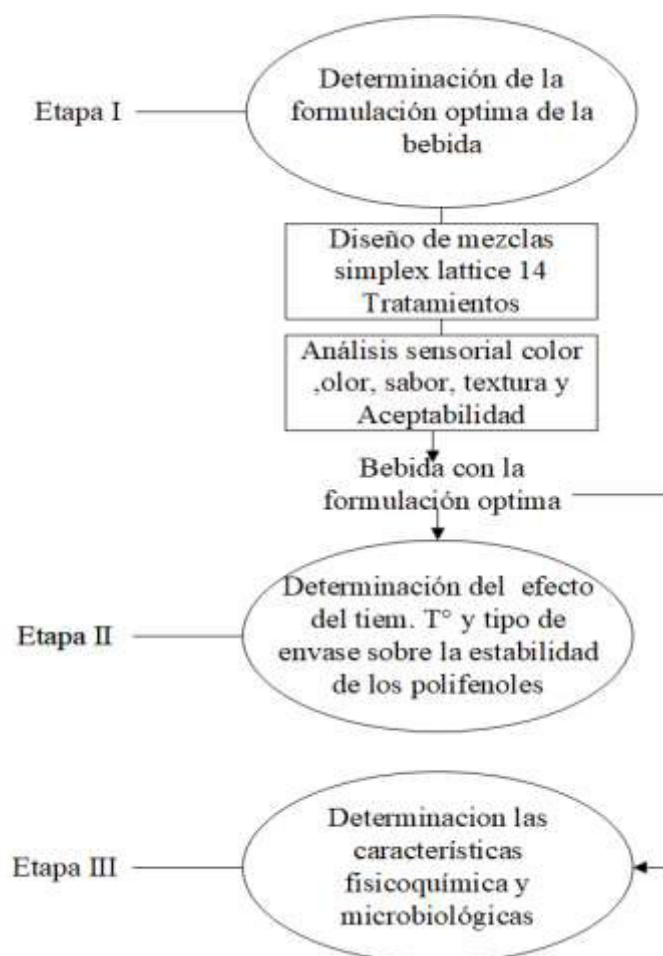
Nota: NTP 203.110 para bebidas nutracéuticas

3.6. Procedimiento

Se realizó mediante el siguiente esquema experimental en tres etapas como se ve en la figura.

Figura 1.

Esquema experimental en tres etapas en la elaboración de la bebida nutracéutica



3.6.1. Diseño estadístico etapa I

La determinación de la formulación óptima de la bebida nutracéutica se llevó a cabo mediante un diseño de mezclas simplex lattice con 3 componentes y 2 niveles, resultando en 14 tratamientos a través del software Design Expert 13.

Tabla 5 .

Componentes y restricciones para el diseño experimental

Materias primas	Restricciones		Unidades
	Mínimo	Máximo	
X1= Extracto de nopal	12	12.5	%
X2= Flor de Jamaica	10	10.5	%
X3= Stevia	2.5	3	%

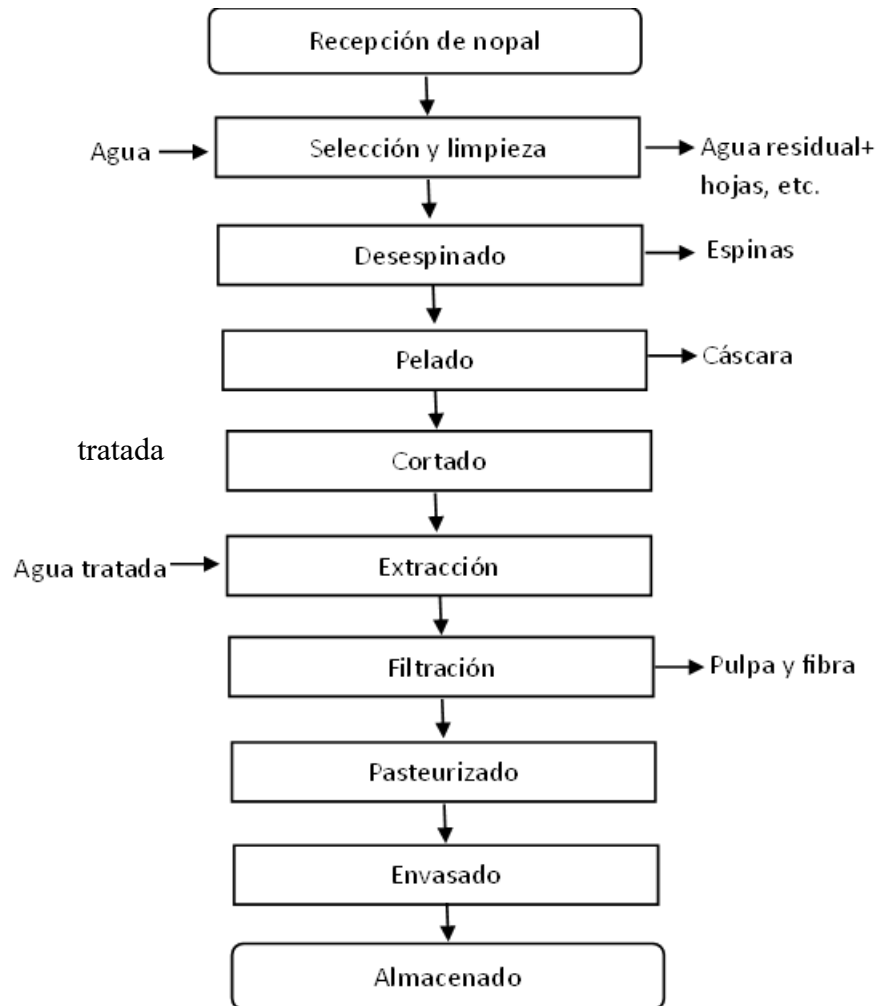
Tabla 6.

Diseño de Simplex Lattice con Centroide Ampliado

Tratamientos	Componen	Componen	Componen	Respons	Respons	Respons	Response
	te 1	te 2	te 3	e 1	e 2	e 3	4
	Extracto	Flor de	Stevia	Color	Olor	Sabor	Aceptabili
	de nopal	Jamaica	%	%	%	%	dad
	%	%					%
1	12.5	10	2.5				
2	12	10.5	2.5				
3	12	10	3				
4	12.25	10.25	2.5				
5	12.25	10	2.75				
6	12	10.25	2.75				
7	12.3333	10.0833	2.58333				
8	12.0833	10.3333	2.58333				
9	12.0833	10.0833	2.83333				
10	12.1667	10.1667	2.66667				
11	12.5	10	2.5				
12	12	10.5	2.5				
13	12	10	3				
14	12.25	10.25	2.5				

Figura 2.

Diagrama de flujo de la elaboración de del extracto de nopal



3.6.2. Descripción del proceso

3.6.2.1. Recepción de nopal. La materia prima nopal se recibió en jabs de plástico

3.6.2.2. Selección y Limpieza del Nopal. Se eligió nopales frescos y de alta calidad. Se ubicó los que eran de un verde brillante y tenían una textura firme. No se usó ninguno que era blando, dañado o que pareciera estar roto. Se fregó cuidadosamente los nopales con jabón y agua para eliminar la tierra y otras cosas.

3.6.2.3. Desespinado. Se utilizó un cuchillo afilado para cortar suavemente todas las espinas y areolas (los pequeños puntos donde brotan las espinas) del nopal. Este paso es muy importante para que el extracto cumpla con los estándares de calidad.

3.6.2.4. Pelado. Se pela la tuna para que el extracto sea menos espeso. Se usa un cuchillo para cortar la piel verde del nopal. Este proceso ayuda a eliminar parte del mucílago, que es la sustancia pegajosa, del nopal. Pero pelar el nopal también hace que el extracto sea menos fibroso.

3.6.2.5. Cortado. Se corta el nopal en trozos pequeños para facilitar el licuado o la extracción.

3.6.2.6. Extracción. Se pone los trozos de nopal en la licuadora. Si es necesario, se añade un poco de agua para ayudar a la mezcla (comienza con $\frac{1}{4}$ de taza por cada 2 nopales y añade más si es necesario). Se mezcla hasta obtener una mezcla suave.

3.6.2.7. Filtración. Se coloca un colador fino o una gasa sobre un tazón u otro recipiente. Para deshacerse de la pulpa y las fibras, se vierte la mezcla batida (o el jugo que se extrajo) a través del colador o la gasa. Se presiona las partículas para sacar de ellas la mayor cantidad de líquido posible.

3.6.2.8. Pasteurización

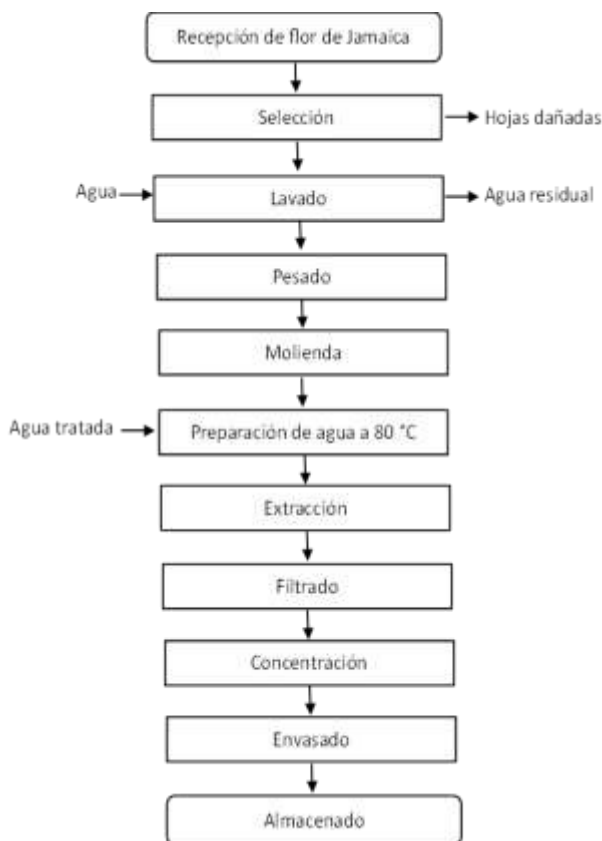
- Para prolongar la vida útil del extracto y eliminar microorganismos, se pasteuriza.
- Se vierte el extracto filtrado en una olla.
- Se calentó el extracto a fuego medio, revolviendo constantemente, hasta que alcance una temperatura de 72-75°. Utilizar un termómetro para controlar la temperatura.
- Se mantuvo la temperatura entre 72-75°C durante 15-20 segundos.
- Se retiró la olla del fuego y enfriar el extracto rápidamente (pueden colocar la olla en un baño de hielo).

3.6.2.9. Envasado y Almacenado:

- Se vertió extracto (pasteurizado o no) en recipientes de vidrio esterilizados.
- Se cerró bien los recipientes y se refrigeró el extracto inmediatamente.

Figura 3.

Diagrama de flujo de la elaboración del extracto de flor de Jamaica



3.6.3. Descripción del proceso

3.6.3.1. Recepción y selección. La materia prima flor de Jamaica se recibió en buenas condiciones en bolsas de polietileno de primer uso, asegurando la calidad paso al proceso de selección donde se eliminó las hojas dañadas.

3.6.3.2. Limpieza y desinfección. Se lavó con agua potable y desinfectó (con hipoclorito diluido), para pasar a escurrir.

3.6.3.3. Pesado. Se pesa la cantidad de hojas necesaria 150 g/litro de agua.

3.6.3.4. Trozado/molienda. Se trozó incrementando el área de contacto para mejor extracción.

3.6.3.5. Preparación de agua. Se midió el volumen requerido y calentó sin hervir bruscamente.

3.6.3.6. Extracción. Se mezcló hojas y agua caliente, manteniendo tiempo y temperatura, agitando suavemente.

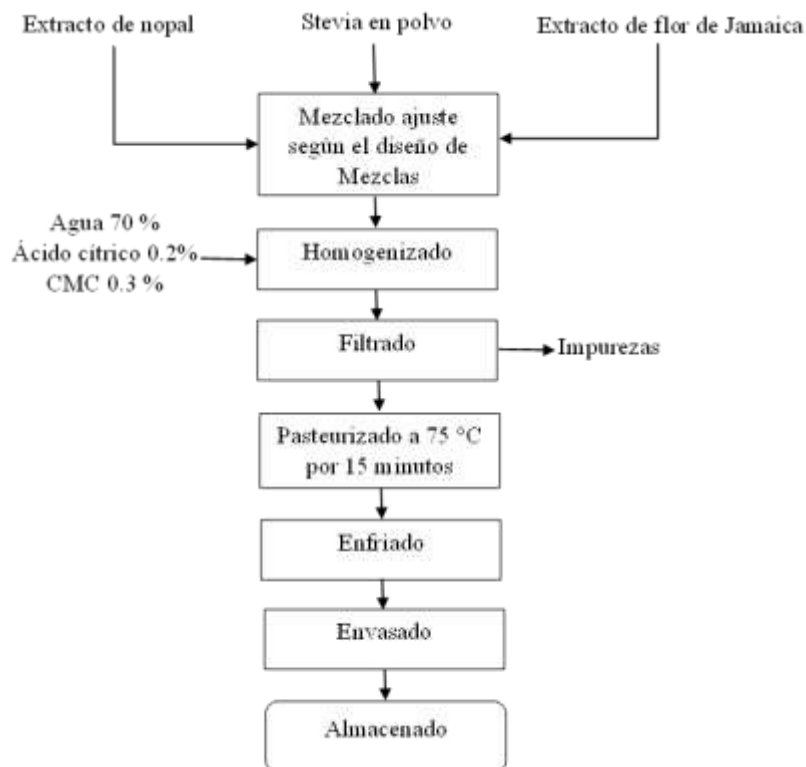
3.6.3.7. Filtrado. Se retiró restos de hojas (puede ser con colador fino o tela de manta).

3.6.3.8. Concentración. Se evaporó parte del agua a fuego lento o vacío, cuidando no caramelizar azúcares ni perder compuestos volátiles importantes.

3.6.3.9. Envasado y almacenado. Se vertió el concentrado en recipientes de vidrio esterilizado cerrando y refrigerando inmediatamente.

Figura 4.

Diagrama de flujo experimental del desarrollo de la bebida nutraceútica



3.6.4. Diseño estadístico etapa II

Se realizó aplicando el diseño de Taguchi L₄2³

Tabla 7.

Parámetros de composición y sus niveles

parámetro de proceso	Unidad	Nivel 1	Nivel 2	Nivel 3
Temperatura	°C	4	15	25
Tiempo	días	0	7	15
Tipo de envase (*)		1	2	3

(*)

1= Envase de vidrio color ámbar

2= Envase de vidrio color transparente

3= Envase de plástico polietileno de baja densidad (LDPE)

Tabla 8.

Diseño experimental Taguchi

Tratamientos	Temperatura °C	Tiempo días	Tipo de envase	Contenido polifenoles mg GAE/L
1	4	5	1	
2	4	10	2	
3	4	15	3	
4	15	5	2	
5	15	10	3	
6	15	15	1	
7	25	5	3	
8	25	10	1	
9	25	15	2	

3.7. Análisis de datos

Se eligió un diseño de mezcla de rejilla simplex con un centróide expandido para la primera etapa de la optimización de la formulación y se utilizó en el software Design-Expert versión 13. Esto se debió a que era bueno para estudiar cómo las proporciones de los ingredientes (Nopal, Jamaica y Stevia) afectaban las características sensoriales de la bebida.

En el segundo paso, se utilizó un diseño Taguchi L_93^3 para observar cómo el tiempo de almacenamiento, la temperatura y el tipo de envase afectan la estabilidad de los polifenoles. Esto se hizo para reducir el número de pruebas necesarias.

3.8. Consideraciones éticas

Al hacer y probar una bebida nutracéutica hecha de nopal, flor de hibisco y Stevia, hay cuestiones éticas a considerar. Estos incluyen asegurarse de que la bebida no cause daño a la salud humana, ser honesto sobre los ingredientes y beneficios, ser amable con el medio ambiente utilizando métodos sostenibles para obtener materias primas y hacer la bebida, y ser justo en la comercialización no usando publicidad falsa y asegurándose de que todos puedan acceder a la bebida.

IV. RESULTADOS

4.1. Resultados del análisis proximal de materia prima para la elaboración de la bebida nutraceútica

Análisis proximal del extracto de Jamaica

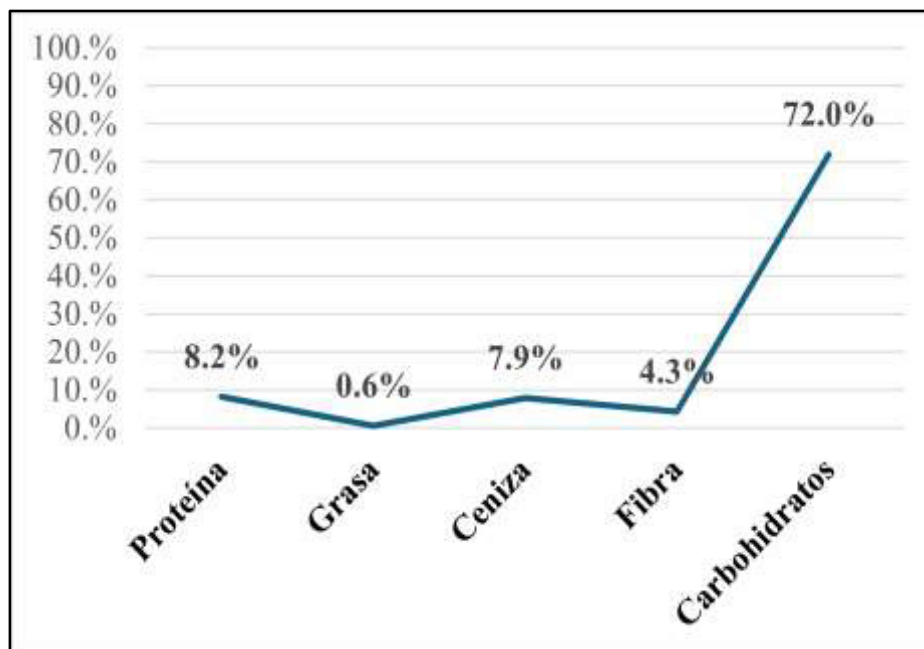
Tabla 9.

Contenido proximal del extracto de Jamaica

Contenido	Valor	Unidad
Proteína	8.2	%
Grasa	0.6	%
Ceniza	7.9	%
Fibra	4.3	%
Carbohidratos	72	%

Figura 5.

Contenido porcentual del extracto de Jamaica



La Tabla 9 y la Figura 5 muestran que este análisis proximal indica que el extracto de flor de hibisco es alto en carbohidratos y minerales, moderado en proteínas, bajo en grasa y tiene mucha fibra. Esto lo convierte en una buena opción para bebidas funcionales, infusiones

o alimentos que necesitan ser bajos en grasa y altos en energía y minerales. También tiene las ventajas de la fibra y la proteína vegetal.

Análisis proximal del cladodio fresco del nopal

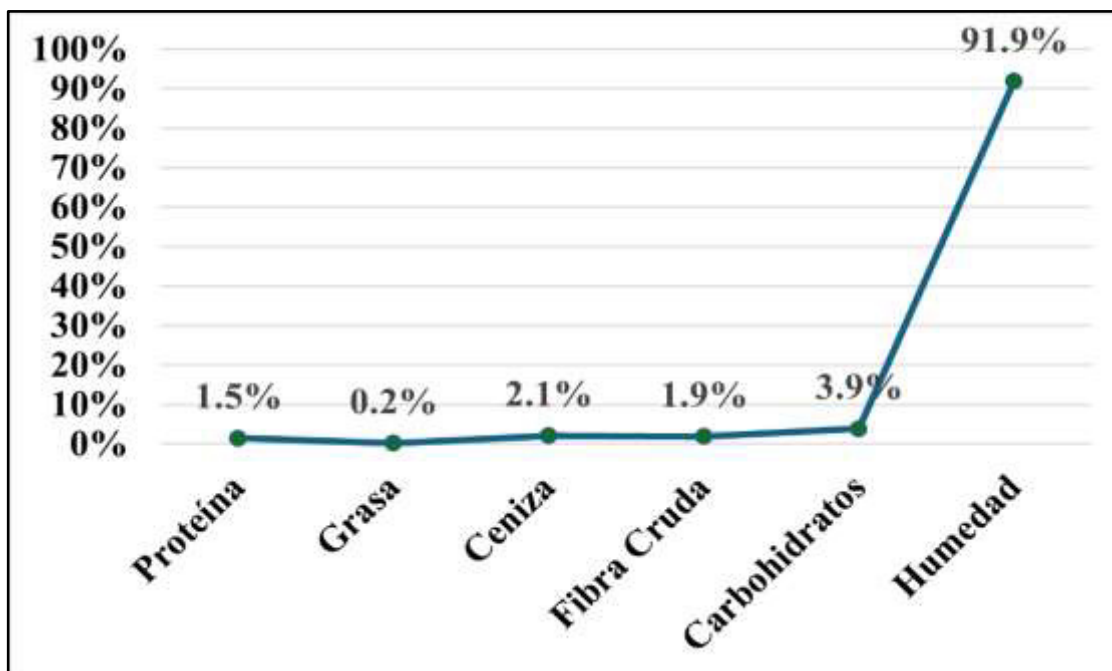
Tabla 10.

Contenido proximal del cladodio fresco del nopal

Contenido	Valor	Unidad
Proteína	1.5	%
Grasa	0.18	%
Ceniza	2.1	%
Fibra Cruda	1.9	%
Carbohidratos	3.9	%
Humedad	91.9	%

Figura 6.

Contenido porcentual del cladodio fresco del nopal



El análisis proximal del cladodio de cactus fresca en la tabla 10 y la figura 6 indica que está compuesta principalmente de agua (91.9%). Esto es lo que lo hace particularmente hidratante y bajo en calorías. Tiene una cantidad modesta de carbohidratos (3.9%), pero incluye

algo de fibra cruda (1.9%) que es buena para la digestión. Como otras verduras frescas, esta tiene cantidades mínimas de proteínas (1.5%) y grasa (0.18%). El contenido de ceniza del 2.1% muestra que el nopal tiene minerales, lo que demuestra lo nutritivo que es, ya que contiene fibra, minerales y mucha agua.

Análisis proximal de Stevia en polvo

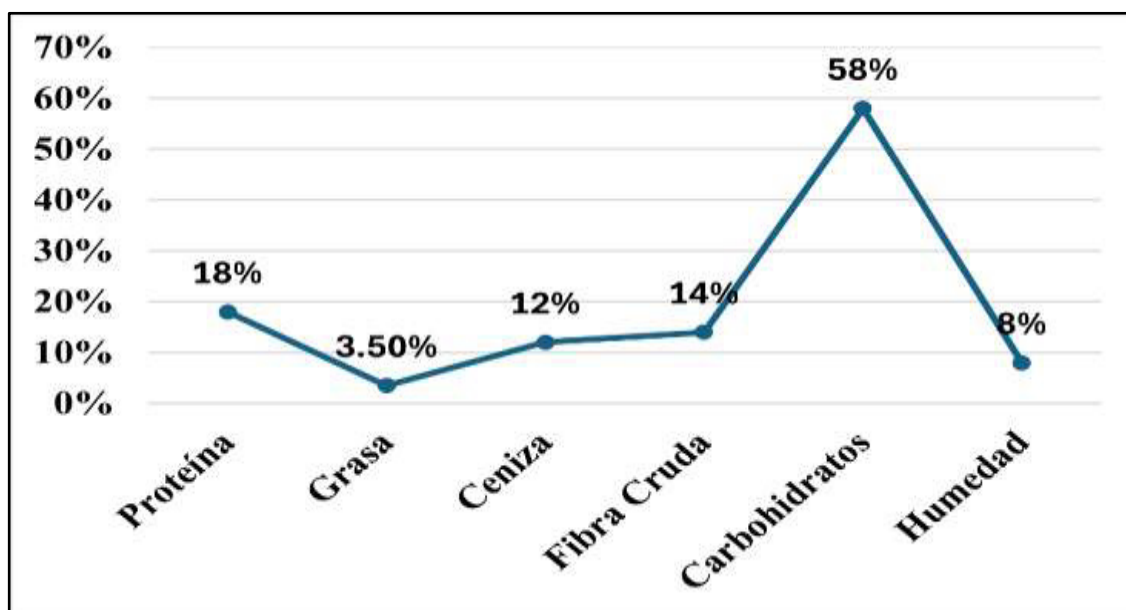
Tabla 11.

Contenido proximal de Stevia en polvo

Contenido	Valor	Unidad
Proteína	18	%
Grasa	3.5	%
Ceniza	12	%
Fibra Cruda	14	%
Carbohidratos	58	%
Humedad	8	%

Figura 7.

Contenido porcentual de Stevia en polvo



En la Tabla 11 y la Figura 7, se puede mostrar que la Stevia en polvo tiene un bajo contenido de humedad (8%), lo que ayuda a mantenerla fresca. Los carbohidratos (58%)

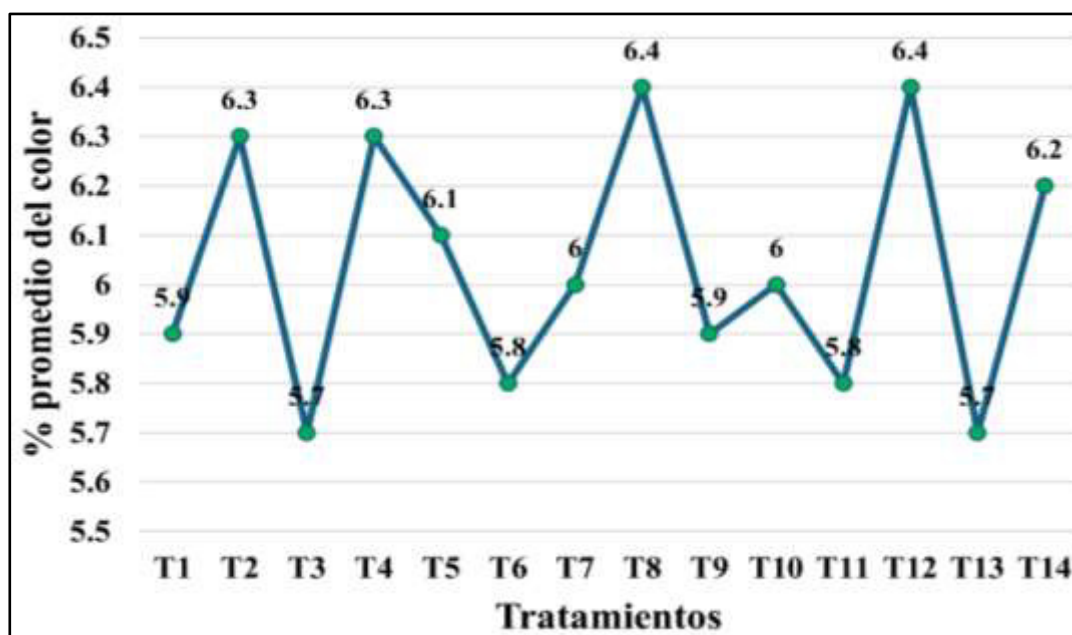
constituyen la mayor parte. Te proporcionan energía, pero la Stevia pura tiene casi ninguna caloría que las personas puedan usar debido a su composición de glucósidos. Tiene mucha fibra cruda (14%), lo cual es bueno para la salud digestiva, y mucha ceniza (12%), lo que demuestra que es rica en minerales. También tiene mucha proteína (18%) y una cantidad modesta de grasa (3.5%). Estos números pueden cambiar según de dónde provenga la Stevia y cómo se procese, pero muestran que la Stevia en polvo no solo es un edulcorante natural, sino que también está llena de minerales y componentes bioactivos.

4.2. Resultados de la formulación óptima de la bebida nutracéutica

Resultados del análisis sensorial del color

Figura 8 .

Porcentaje de análisis sensorial de la variable color



La Figura 8 ilustra las puntuaciones promedio que los panelistas dieron para la característica de color en 14 tratamientos diferentes de una bebida nutracéutica producida con hibisco, nopal y Stevia. Los números oscilan entre 5.7 y 6.4, lo que significa que todas las fórmulas son bien valoradas en términos de color, ya que las variaciones entre ellas son pequeñas. Los tratamientos T8 y T12 tuvieron las mejores calificaciones (6.4), lo que significa

que a los panelistas les gustó más la intensidad o el matiz de su color. Por otro lado, T3 y T13 obtuvieron los peores resultados (5.7), aunque aún estaban dentro del rango de aceptación favorable. En general, estos hallazgos muestran que a los evaluadores les gustó cómo se veían todas las muestras, y que la característica del color no representa una barrera sensorial importante para la creación de estas bebidas nutracéuticas.

Ajuste del modelo matemático para la variable sensorial color

Tabla 12.

ANOVA del ajuste del modelo cuadrático para la variable sensorial color

Modelo	Suma de cuadrados	de Grados de libertad	de Cuadrados medios	F	P_ valor	R ²
Cuadrático	0.6201	5	0.1240	5.17	0.0206	0.957

El ajuste del modelo cuadrático para la variable de color sensorial en la Tabla 12 permite capturar interacciones complejas y no lineales entre los factores examinados y la respuesta, mejorando así el potencial predictivo. La suma de cuadrados (0.6201) muestra cuánto explica el modelo la diferencia entre la media observada y la media de los datos. Los cinco grados de libertad muestran cuántos factores independientes se tuvieron en cuenta. El valor de los cuadrados medios (0.1240) muestra cuánto explica cada fuente de variación la varianza, y la estadística F (5.17) muestra que el modelo explica mucha más variación que el error. Esto está respaldado por un valor p de 0.0206, lo que muestra que el modelo es estadísticamente significativo. Finalmente, el coeficiente de determinación R² (0.957) muestra que este modelo puede explicar el 95.7% de la variabilidad del color, lo que indica que se ajusta bastante bien a los datos.

Representación de la ecuación del modelo ajustado para la variable color

Tabla 13.

Coefficientes de los factores codificados para la variable color.

Componentes	Estimación del Coeficiente	df	Error estándar	95%CI Bajo	95%CI Alto	VIF
A-Extracto de nopal	5.77	1	0.1075	5.53	6.02	1.62
B-Flor de Jamaica	6.33	1	0.1075	6.08	6.58	1.62
C-Stevia en Polvo	5.94	1	0.1074	5.70	6.19	1.50
AB	1.12	1	0.5088	-0.0555	2.29	1.76
AC	0.1251	1	0.6098	-1.28	1.53	1.55
BC	-1.33	1	0.6098	-2.74	0.0742	1.55

La Tabla 13 muestra una estimación de los coeficientes de un modelo, así como su error estándar, grados de libertad, intervalo de confianza del 95% y el factor de inflación de la varianza (VIF). Los coeficientes para el extracto de nopal, la flor de hibisco y la stevia en polvo son todos positivos, y sus intervalos de confianza no contienen cero. Esto significa que tienen una gran influencia en la variable de interés. El error estándar, que muestra cuán precisas son las estimaciones, es mínimo para estas sustancias, lo que hace que los hallazgos sean aún más confiables. Las interacciones entre los constituyentes (AB, AC y BC), por otro lado, tienen coeficientes con intervalos de confianza que incluyen cero. Esto significa que no tienen una gran influencia en el modelo. Además, los bajos valores de VIF indican que las variables no tienen un problema de multicolinealidad. El modelo muestra que cada parte tiene una gran influencia por sí sola, pero no cuando se combinan.

Ecuación general ajustado para la variable color

$$\text{variable color} = 5.77A + 6.33B + 5.94C + 1.12AB + 0.1251AC - 1.33BC$$

Donde:

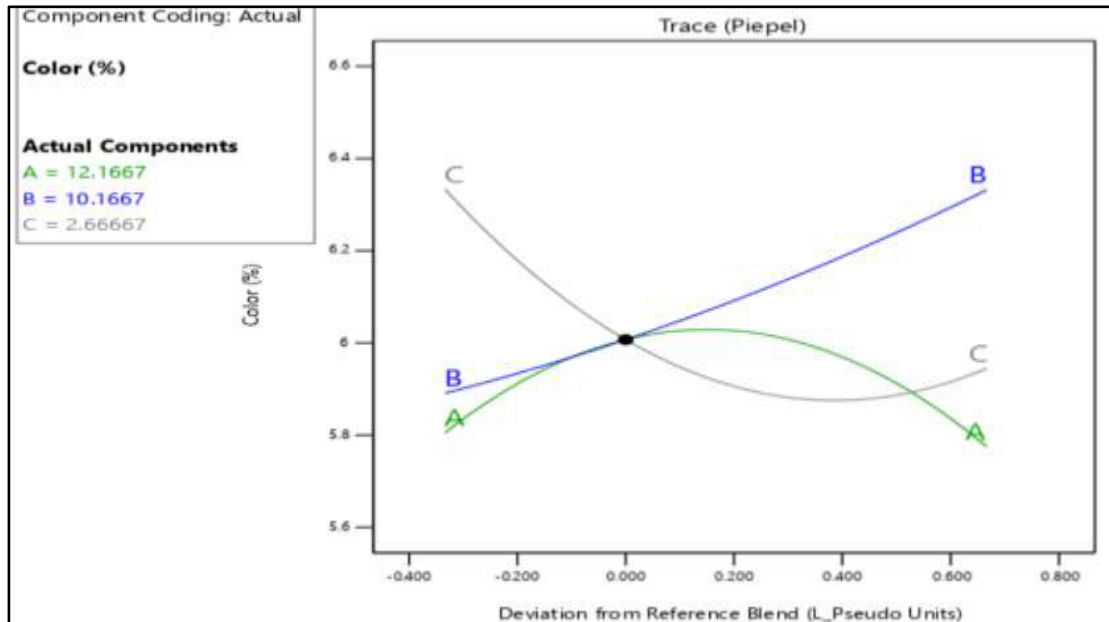
A: Extracto de nopal

B: Extracto de Jamaica

C: Stevia

Figura 9.

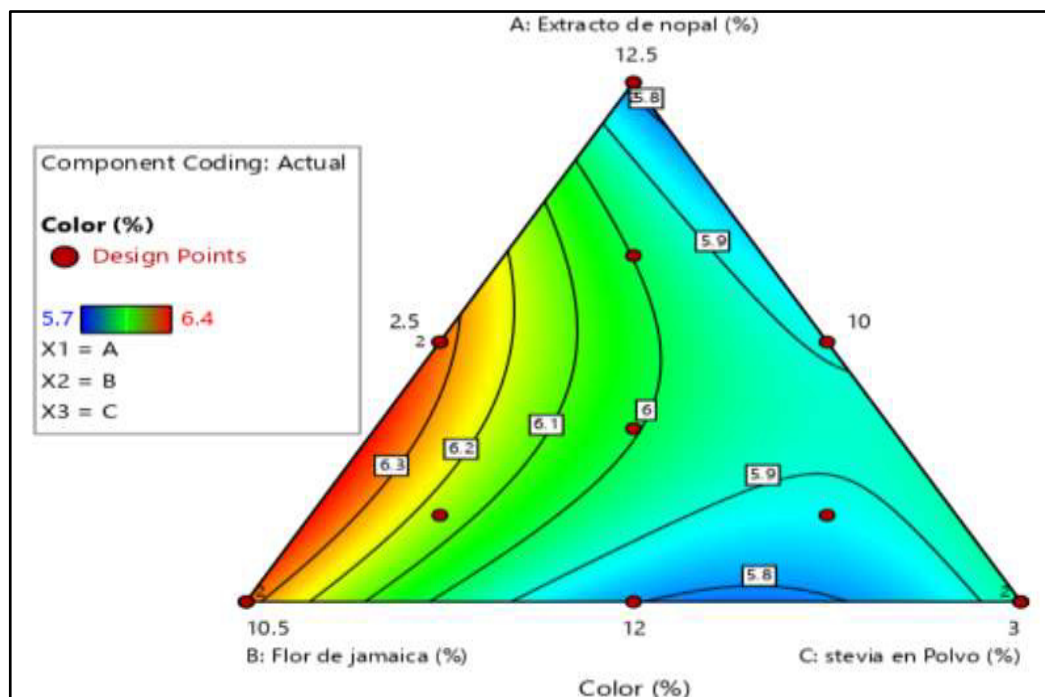
Comportamiento de nopal, Jamaica, Stevia con respecto a la variable color



La Figura 9 muestra que la parte de Jamaica tiene el mayor efecto en el color, seguida por la parte de nopal. La parte de Stevia no afecta el color de la bebida nutracéutica.

Figura 10.

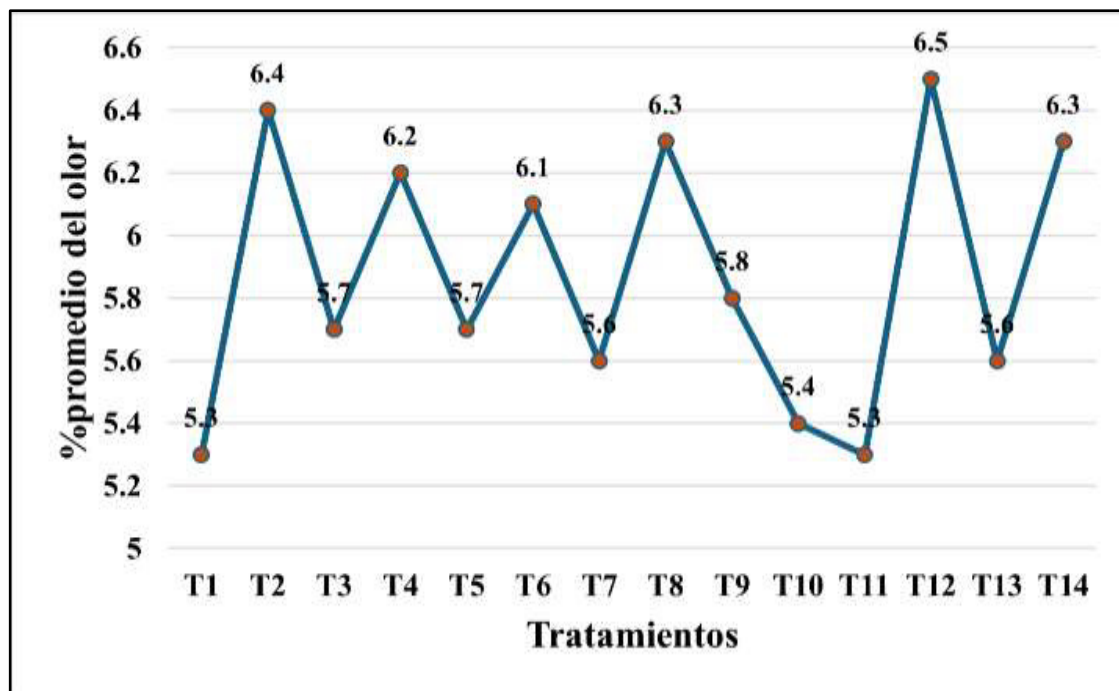
Contornos de la variable color



La Figura 10 muestra cómo la parte de Jamaica de la bebida nutracéutica afecta de manera positiva la variable de color.

Figura 11.

Resultados del análisis sensorial del olor



La Figura 11 muestra la evaluación sensorial de los panelistas del atributo olor en los 14 tratamientos de la bebida nutracéutica producida con Jamaica, nopal y Stevia. Los promedios oscilan entre 5.3 y 6.5. Los tratamientos T12 (6.5), T2 (6.4), T8 (6.3) y T14 (6.3) obtuvieron las calificaciones más altas, lo que significa que a los evaluadores les gustó más el olor y lo prefirieron más. Por otro lado, T1 y T11 (5.3) y T10 (5.4) exhiben los valores más bajos, aunque todos los tratamientos siguen siendo aceptables en términos de aceptación sensorial. Estos hallazgos indican que, en general, la característica aromática de la bebida fue bien aceptada, sin rechazos significativos, manteniendo así una impresión agradable y uniforme a lo largo de los tratamientos, consistente con investigaciones previas sobre bebidas que contienen hibisco y stevia en evaluaciones sensoriales.

Ajuste del modelo matemático para la variable sensorial olor

Figura 12.

ANOVA del ajuste del modelo cuadrático para la variable sensorial olor

Modelo	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrados medios	F	P_valor	R ²
Cuadrático	2.16	8	0.2705	10.84	0.0089	0.9455

La Tabla 12 muestra cómo se modificó el modelo matemático para la variable sensorial olor utilizando un modelo cuadrático. Este modelo puede capturar interacciones no lineales y complicadas entre los componentes y la percepción del olor, lo que hace que el análisis sensorial sea más preciso. La cantidad total de varianza descrita por el modelo es la suma de cuadrados (2.16). Los grados de libertad (8) son el número de parámetros que se estimaron en el modelo. Los cuadrados medios (0.2705) son la suma de cuadrados dividida por los grados de libertad, lo que muestra la varianza promedio que cada parámetro explica. La estadística F (10.84) compara la variación explicada por el modelo con la variación que no se explica (error). También tiene un valor p bajo (0.0089), lo que significa que el modelo cuadrático es estadísticamente significativo. Esto significa que las variables independientes realmente tienen un efecto en cómo las personas perciben el olor. El coeficiente de determinación R² (0.9455) sugiere que el modelo explica el 94.55% de las diferencias en cómo las personas calificaron el olor, lo que significa que el modelo se ajusta muy bien a los datos y puede explicar mucho.

Representación de la ecuación del modelo ajustado para la variable olor

Tabla 14.

Coefficientes de los factores codificados para la variable olor.

Componentes	Estimación del Coeficiente	df	Error estándar	95%CI Bajo	95%CI Alto	VIF
A-Extracto de nopal	5.70	1	0.1116	5.42	5.99	1.68
B-Flor de Jamaica	6.35	1	0.1116	6.07	6.64	1.68
C-Stevia en Polvo	5.45	1	0.1116	5.17	5.74	1.55
AB	1.31	1	0.5468	-0.0916	2.72	1.95
AC	2.14	1	0.7033	0.3340	3.95	1.99
BC	-0.7581	1	0.7033	-2.57	1.05	1.99
A ² BC	-76.31	1	15.61	-116.42	-36.19	3.16
AB ² C	-42.11	1	15.61	-82.22	-1.99	3.16
ABC ²	63.84	1	15.83	23.15	104.53	3.25

La Tabla 14 de los coeficientes de factores codificados para la variable olor muestra que los impactos principales del extracto de nopal, la flor de hibisco y la Stevia en polvo son positivos y significativos, ya que sus intervalos de confianza del 95% no contienen cero. Las interacciones AC (extracto de nopal y Stevia) y los términos cúbicos (A²BC, AB²C, ABC²) también son importantes porque sus intervalos de confianza no incluyen cero. Esto significa que la combinación o las interacciones de orden superior entre los ingredientes tienen un efecto significativo en el aroma de la bebida. Las otras interacciones (AB, BC) no son importantes ya que sus intervalos incluyen cero. Finalmente, los valores de VIF están por debajo de 5, lo que sugiere que no hay preocupaciones sustanciales de multicolinealidad entre los componentes.

Ecuación general ajustado para la variable olor

$$variable\ olor = 5.70A + 6.35B + 5.45C + 1.31AB + 2.14AC - 0.7581BC$$

Donde:

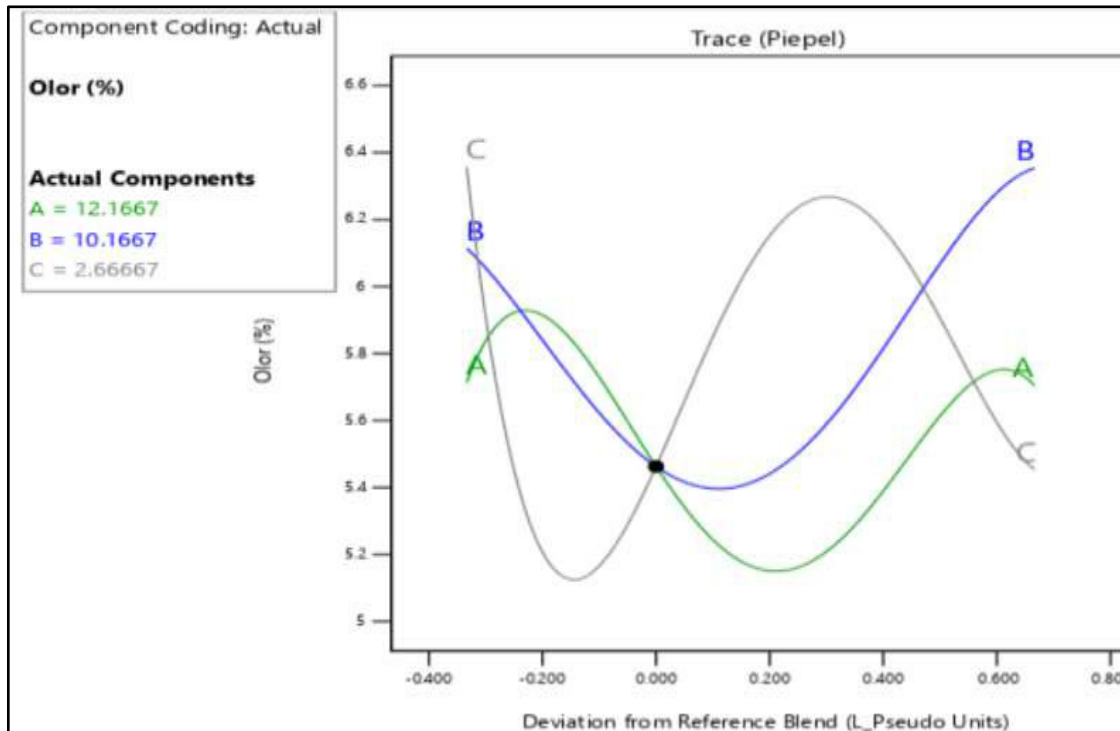
A: Extracto de nopal

B: Extracto de Jamaica

C: Stevia

Figura 13

Comportamiento de nopal, Jamaica, Stevia con respecto a la variable olor



La Figura 13 ofrece una mirada detallada sobre cómo tres partes importantes de una bebida nutracéutica trabajan juntas: nopal, Jamaica y Stevia. Cuando observas los hallazgos de manera visual, puedes ver que cada parte de la bebida tiene un papel distinto en el olor final. El extracto de Jamaica es el elemento más importante para definir el olor, ya que es el más común. El extracto de nopal también juega un gran papel en el olor y la intensidad aromática de la bebida, aunque no tanto como la Jamaica. La stevia, por otro lado, es una parte esencial del olor y otros beneficios para la salud, pero no parece tener mucho efecto en el olor final del producto.

Figura 14

Contorno para la variable olor

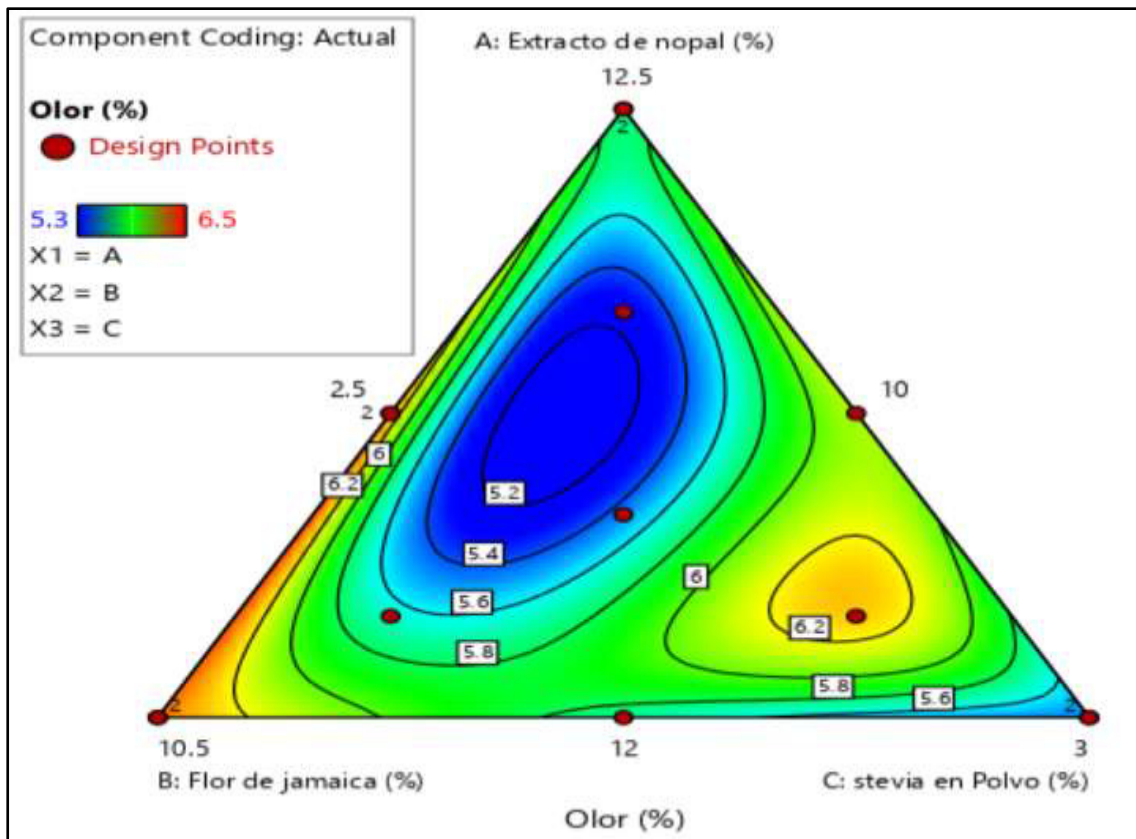
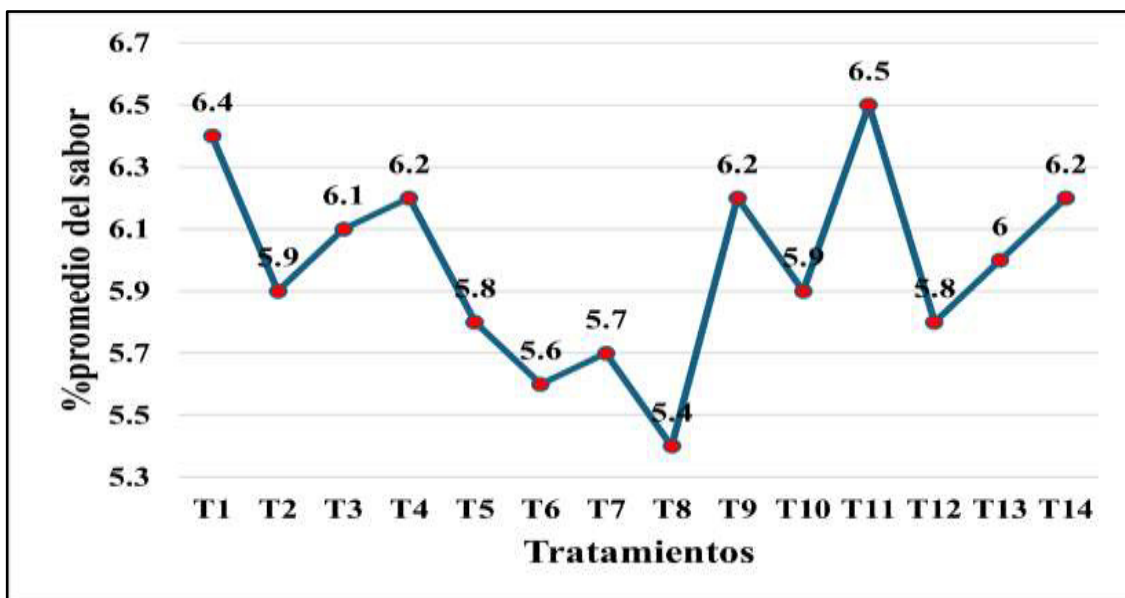


Figura 15

Resultados del análisis sensorial del Sabor



La Figura 15 muestra que los panelistas tenían gustos diversos para la bebida nutracéutica de Jamaica, nopal y Stevia. El tratamiento T11 tuvo la puntuación más alta (6.5), lo que significa que los panelistas pensaron que tenía el mejor sabor. El tratamiento T1 (6.4) estuvo bastante cerca detrás. A los jueces no les gustaron tanto los sabores de los tratamientos T6 y T8 como los de los otros (5.6 y 5.4, respectivamente). Los otros tratamientos tuvieron puntuaciones entre 5.7 y 6.2, lo que significa que su sabor es aceptable pero no tan bueno como los tratamientos T1 y T11. Las múltiples calificaciones de sabor muestran que el sabor de la bebida puede hacerse más o menos aceptable cambiando las cantidades de Jamaica, nopal y Stevia utilizadas de diferentes maneras.

Ajuste del modelo matemático para la variable sensorial sabor

Tabla 15

ANOVA del ajuste del modelo cuadrático para la variable sensorial Sabor

Modelo	Suma de cuadrados	de Grados de libertad	de Cuadrados medios	F	P_valor	R ²
Cuadrático	1.23	9	0.1365	36.40	0.0018	0.9879

En la Tabla 15, Se utilizó un modelo cuadrático para modificar el modelo matemático de la variable sensorial sabor. Esto nos permite describir interacciones no lineales y complicadas entre los componentes y cómo saben. La suma de cuadrados (1.23) muestra cuánto de la variabilidad puede explicar el modelo. Para obtener los cuadrados medios (0.1365), divides la suma de cuadrados por los grados de libertad (9). Los cuadrados medios muestran la varianza explicada promedio para cada parámetro que se incluyó. La estadística F (36.40) es fuerte, lo que significa que el modelo explica mucha más variabilidad que el azar o el error. El valor p (0.0018) también es bastante bajo, lo que significa que el modelo es estadísticamente significativo y que las características analizadas realmente afectan cómo las personas perciben el sabor. Por último, el coeficiente de determinación R² (0.9879) muestra que el modelo

cuadrático explica el 98.79% de las diferencias en cómo las personas valoran el sabor, lo que significa que se ajusta muy bien a los datos y puede hacer buenas predicciones.

Representación de la ecuación del modelo ajustado para la variable Sabor

Tabla 16.

Coefficientes de los factores codificados para la variable Sabor.

Componentes	Estimación del Coeficiente	df	Error estándar	95%CI Bajo	95%CI Alto	VIF
A-Extracto de nopal	6.44	1	0.0744	6.25	6.63	1.68
B-Flor de Jamaica	5.84	1	0.0744	5.65	6.03	1.68
C-Stevia en Polvo	6.04	1	0.0744	5.85	6.23	1.55
AB	0.1716	1	0.3647	-0.7659	1.11	1.95
AC	-1.89	1	0.4691	-3.09	-0.6794	1.99
BC	-1.49	1	0.4691	-2.69	-0.2794	1.99
A ² BC	-28.49	1	10.41	-55.24	-1.73	3.16
AB ² C	-32.09	1	10.41	-58.84	-5.33	3.16
ABC ²	62.03	1	10.56	34.88	89.17	3.25

La Tabla 16 de coeficientes para la variable de sabor demuestra que el extracto de nopal, la flor de hibisco y la Stevia en polvo tienen todos efectos principales positivos y significativos. Esto significa que cada uno de estos aditivos mejora el sabor de la bebida. Las interacciones AC (nopal-Stevia) y BC (Jamaica-Stevia) tienen coeficientes negativos, y sus intervalos de confianza no contienen cero. Esto significa que cuando estos ingredientes se mezclan, podrían hacer que el sabor sea menos notable. Algunos términos de interacción cúbica (A²BC, AB²C, ABC²) también son importantes, lo que ilustra que la forma en que los componentes interactúan con el sabor es complicada e importante. Por último, los valores de VIF son bajos, lo que significa que el modelo no tiene problemas de multicolinealidad.

Ecuación general ajustado para la variable olor

$$\text{variable olor} = 6.44A + 5.84B + 6.04C + 0.1716AB - 1.89AC - 1.49BC$$

Donde:

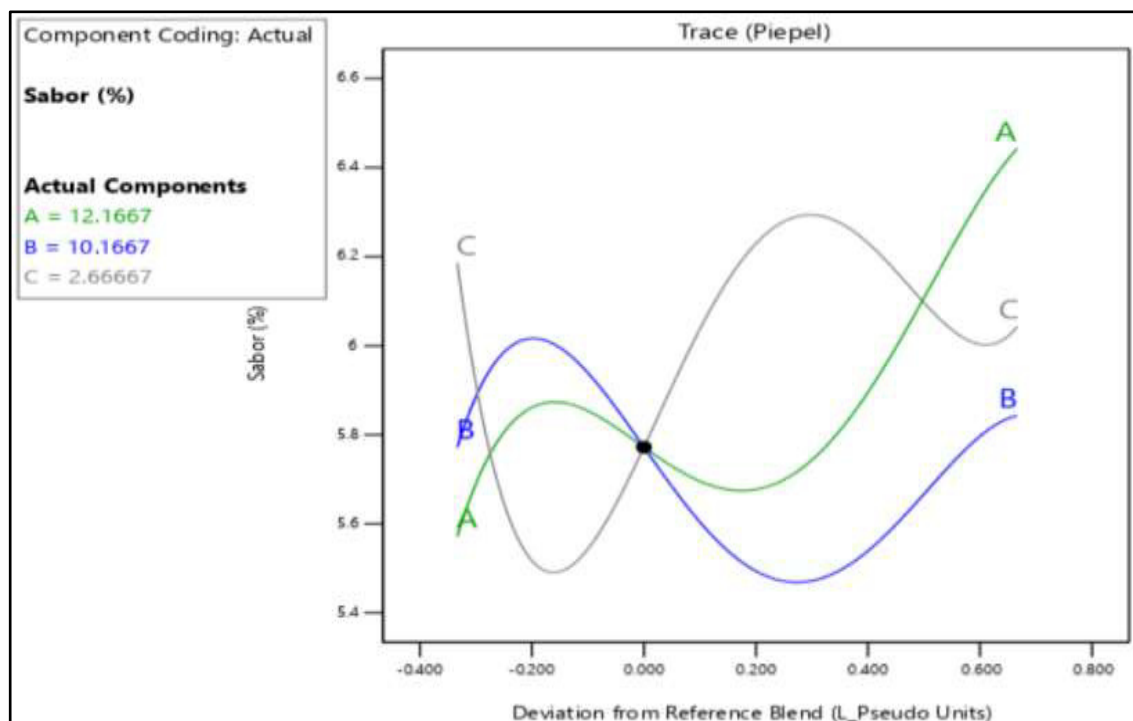
A: Extracto de nopal

B: Extracto de Jamaica

C: Stevia

Figura 16.

Comportamiento de nopal, Jamaica, Stevia con respecto a la variable Sabor



La Figura 16 muestra un análisis detallado de cómo tres partes importantes de la elaboración de una bebida nutracéutica nopal, Jamaica y Stevia trabajan juntas. Cuando miras los resultados que se muestran gráficamente, es fácil ver cómo cada parte de la bebida afecta el sabor final. El nopal destaca como el ingrediente más importante para establecer el sabor. La Stevia ocupa el segundo lugar, mientras que la Jamaica ocupa el tercer lugar.

Figura 17.

Contorno para la variable Sabor

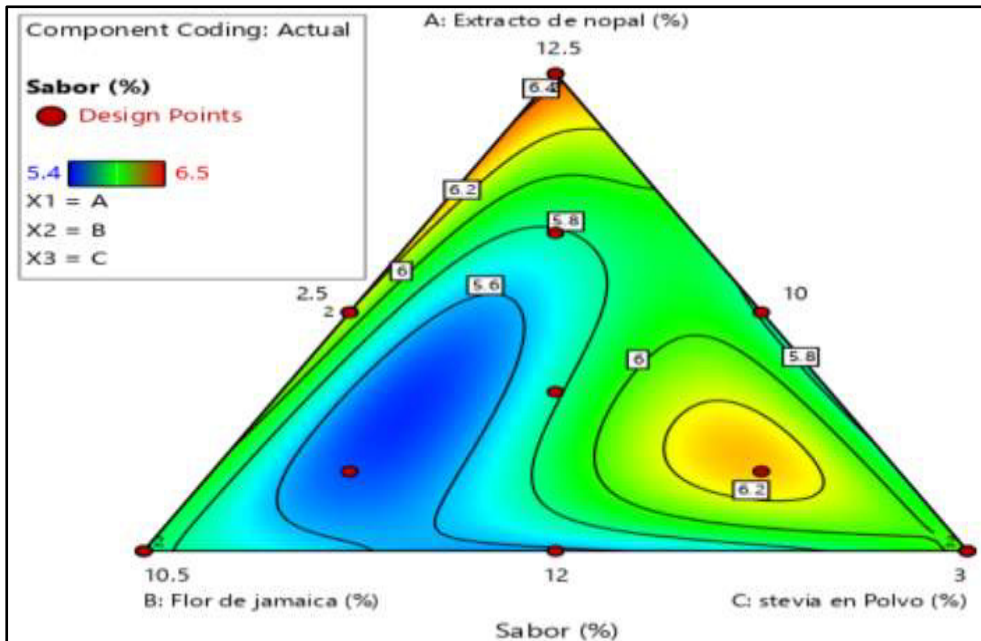
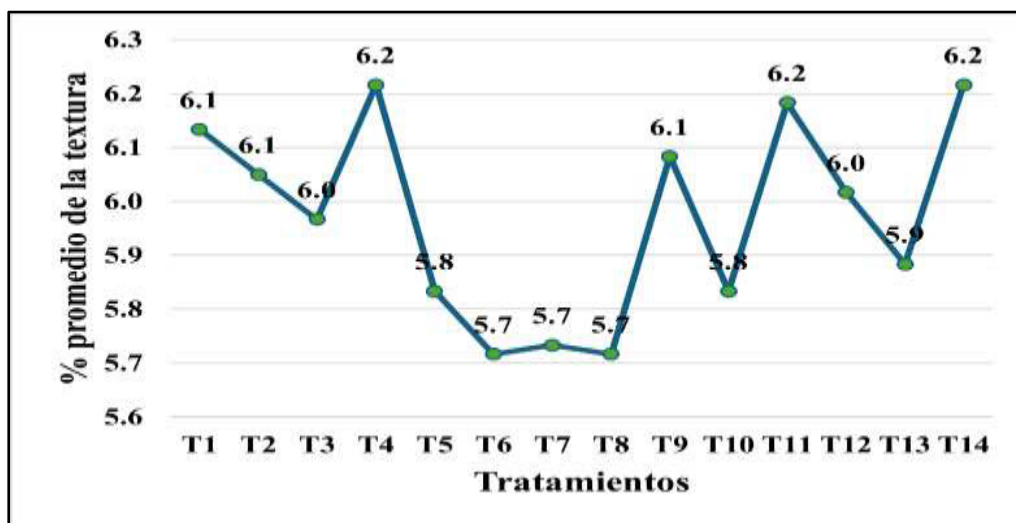


Figura 18.

Resultados del análisis sensorial del Textura



En la figura 18 se observa la evaluación sensorial de la textura en los 14 tratamientos de la bebida nutracéutica de Jamaica, Nopal y Stevia muestra que las calificaciones proporcionadas por los panelistas están todas entre 5.7 y 6.2. A los jueces les gustó más la textura de los tratamientos T4, T11 y T14, dándoles las calificaciones más altas (6.2). Los tratamientos T6, T7 y T8 tuvieron los valores más bajos (5.7), sin embargo, estos cambios son

bastante pequeños en comparación con las otras muestras. Casi todos los tratamientos muestran una aceptación favorable y consistente de la textura, ya que la mayoría de los promedios están por encima de 5.8. Esto indica que las combinaciones utilizadas en las bebidas proporcionan una textura agradable que es bien recibida por los clientes, sin rechazos significativos entre las diversas fórmulas.

Ajuste del modelo matemático para la variable sensorial textura

Tabla 17.

ANOVA del ajuste del modelo cuadrático para la variable sensorial Textura

Modelo	Suma de cuadrados	de Grados de libertad	de Cuadrados medios	F	P_ valor	R ²
Cuadrático	0.4348	8	0.0543	27.79	0.0010	0.9780

La Tabla 17 muestra cómo se modificó el modelo matemático para la variable de textura sensorial utilizando un modelo cuadrático. Esto nos permite ver correlaciones no lineales entre las partes y la forma en que se percibe la textura. La suma de cuadrados (0.4348) muestra cuánto puede explicar el modelo la diferencia en la textura. Los cuadrados medios (0.0543) demuestran cuánto cambia cada parámetro el resultado cuando hay 8 grados de libertad. La estadística F es 27.79, lo cual es un número alto. Esto significa que el modelo explica mucha más variabilidad en la textura de lo que lo haría el azar. El valor p (0.0010) es bastante bajo, lo que significa que el modelo es estadísticamente significativo. Por último, el coeficiente de determinación R² de 0.9780 muestra que el modelo explica el 97.8% del cambio en la textura sensorial. Esto muestra que el modelo se ajusta bien y puede hacer predicciones precisas.

Representación de la ecuación del modelo ajustado para la variable textura

Tabla 18.

Coefficientes de los factores codificados para la variable Textura.

Componentes	Estimación del Coeficiente	df	Error estándar	95%CI Bajo	95%CI Alto	VIF
A-Extracto de nopal	6.16	1	0.0312	6.08	6.24	1.68
B-Flor de Jamaica	6.03	1	0.0312	5.95	6.11	1.68
C-Stevia en Polvo	5.92	1	0.0312	5.84	6.00	1.55
AB	0.4739	1	0.1531	0.0804	0.8673	1.95
AC	-0.8618	1	0.1969	-1.37	-0.3556	1.99
BC	-1.08	1	0.1969	-1.58	-0.5723	1.99
A ² BC	-26.00	1	4.37	-37.23	-14.76	3.16
AB ² C	-19.10	1	4.37	-30.33	-7.86	3.16

Los coeficientes para la variable de textura en la Tabla 18 muestran que el extracto de Nopal, la flor de hibisco y la Stevia en polvo tienen todos efectos principales positivos y significativos en la textura de la bebida. Esto se debe a que sus coeficientes son altos y sus intervalos de confianza no contienen cero. Las interacciones AC (nopal-Stevia) y BC (Jamaica-Stevia) tienen efectos negativos y sustanciales, lo que significa que mezclar estos componentes puede hacer que la textura sea menos notable. Además, varias interacciones de orden superior (A²BC y AB²C) tienen impactos negativos y sustanciales, lo que significa que la combinación de las sustancias tiene resultados más complicados. No hay problema de multicolinealidad ya que los VIFs son modestos.

Ecuación general ajustado para la variable olor

$$\text{variable olor} = 6.16A + 6.03B + 5.92C + 0.47396AB - 0.8618AC - 1.08BC$$

Donde:

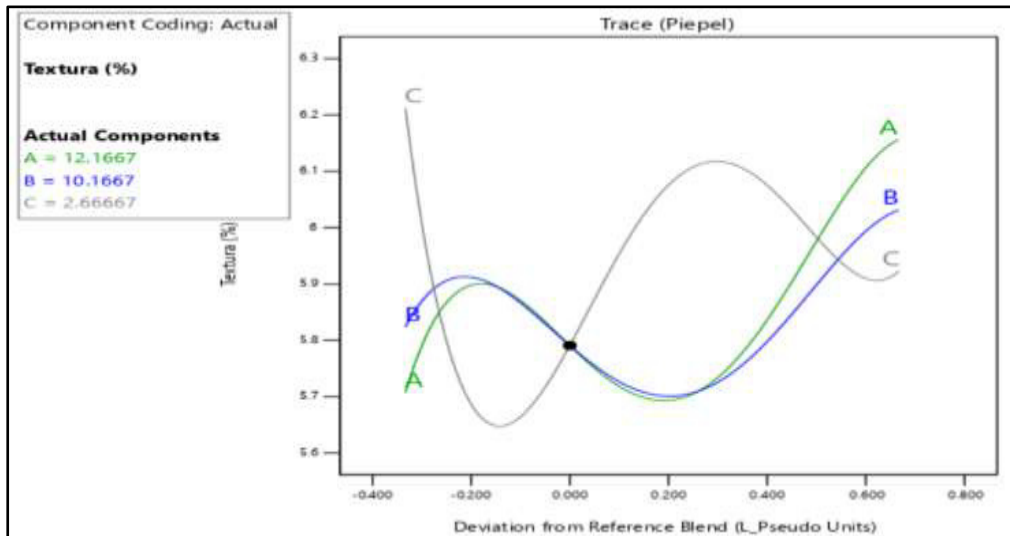
A: Extracto de nopal

B: Extracto de Jamaica

C: Stevia

Figura 19.

Comportamiento de nopal, Jamaica, Stevia con respecto a la variable. Textura



La Figura 19 muestra un estudio exhaustivo de cómo tres partes importantes de una bebida nutracéutica trabajan juntas: nopal, hibisco y Stevia. Al observar los datos de manera visual, es fácil ver qué partes de la bebida tuvieron el mayor efecto en la variable de textura final. El extracto de nopal es el ingrediente más importante para definir la textura.

Figura 20.

Contorno para la variable Textura

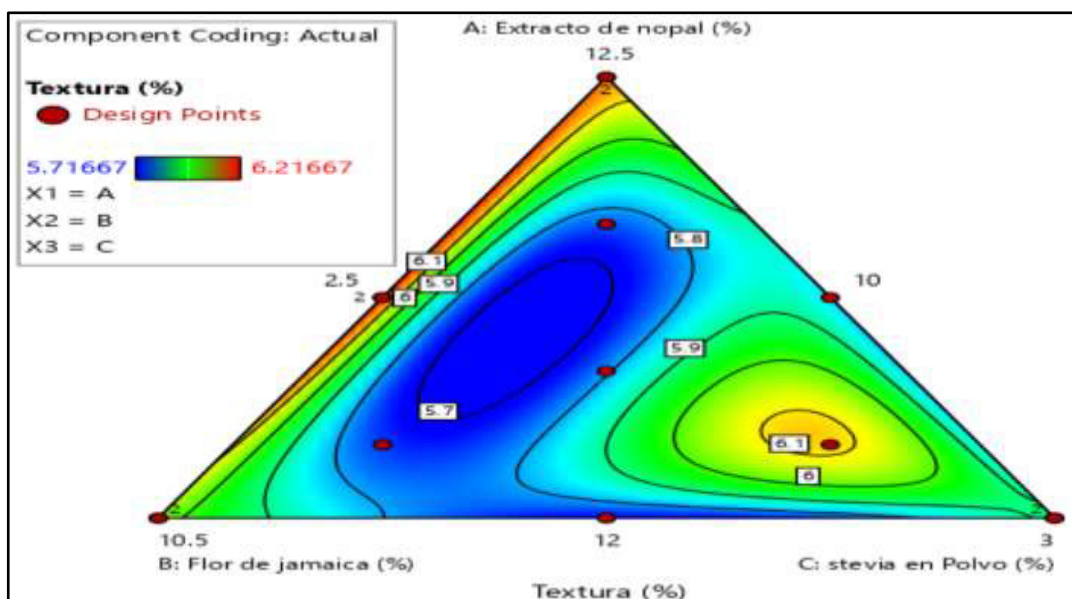
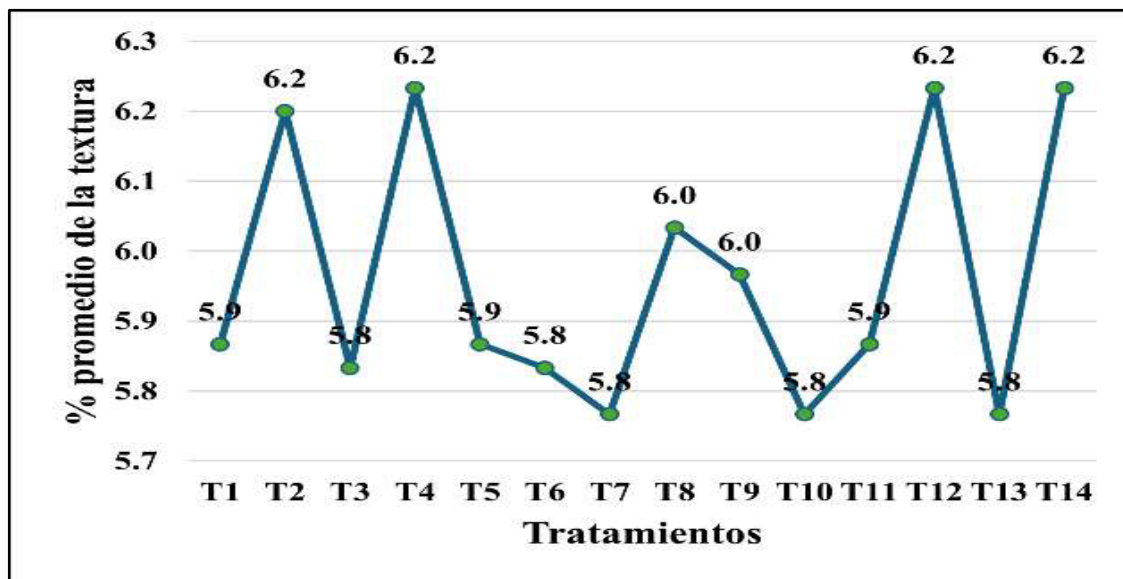


Figura 21.

Resultados del análisis sensorial de la variable aceptabilidad



La evaluación sensorial de aceptabilidad para los 14 tratamientos de la bebida nutracéutica de Jamaica, Nopal y Stevia en la Figura 21 muestra que las evaluaciones de los panelistas están todas extremadamente cercanas entre sí, entre 5.8 y 6.2. Los tratamientos T2, T4, T12 y T14 tuvieron la mejor puntuación (6.2), lo que significa que a la gente le gustaron más estas formulaciones en general. Los otros tratamientos tuvieron valores entre 5.8 y 6.0, lo que significa que a todas las muestras les gustaron y fueron consistentes. En resumen, los panelistas dieron a las bebidas una alta calificación de aceptación general. No hubo diferencias significativas ni rechazos entre los diferentes tratamientos, lo que significa que a los consumidores les gustaron todas las combinaciones por igual.

Ajuste del modelo matemático para la variable sensorial Aceptabilidad

Tabla 19.

ANOVA del ajuste del modelo cuadrático para la variable sensorial Aceptabilidad

Modelo	Suma de cuadrados	de Grados de libertad	de Cuadrados medios	F	P_valor	R ²
Cuadrático	0.4502	8	0.0563	38.65	0.0004	0.9841

La Tabla 19 muestra la adecuación del modelo matemático para la variable de aceptabilidad sensorial, utilizando un marco cuadrático para encapsular correlaciones complejas y no lineales entre los constituyentes y la impresión total del producto. La suma de cuadrados (0.4502) muestra cuánto puede explicar el modelo toda la variabilidad en la aceptación. Para obtener el cuadrado medio (0.0563), divides este número por los 8 grados de libertad. Esta es una estimación de cuánto cada parámetro del modelo explica la varianza. La estadística F (38.65) es bastante alta, lo que significa que el modelo cuadrático hace un trabajo significativamente mejor al explicar la variabilidad en la aceptabilidad que el error aleatorio. Además, el valor p (0.0004) es bastante bajo, lo que significa que el modelo es estadísticamente significativo. Esto significa que los factores que se incluyeron realmente afectan la aceptabilidad del producto. Finalmente, el coeficiente de determinación R² (0.9841) muestra que el modelo explica el 98.41% de la varianza en las puntuaciones de aceptabilidad. Esto significa que el modelo se ajusta bien y puede hacer buenas predicciones.

Representación de la ecuación del modelo ajustado para la variable aceptabilidad

Tabla 20.

Coefficientes de los factores codificados para la variable aceptabilidad

Componentes	Estimación del Coeficiente	df	Error estándar	95%CI Bajo	95%CI Alto	VIF
A-Extracto de nopal	5.87	1	0.0269	5.80	5.94	1.68
B-Flor de Jamaica	6.22	1	0.0269	6.15	6.29	1.68
C-Stevia en Polvo	5.80	1	0.0269	5.73	5.87	1.55
AB	0.7761	1	0.1321	0.4367	1.12	1.95
AC	0.1618	1	0.1699	-0.2749	0.5984	1.99
BC	-0.6716	1	0.1699	-1.11	-0.2349	1.99
A ² BC	-23.50	1	3.77	-33.19	-13.82	3.16
AB ² C	-6.10	1	3.77	-15.79	3.58	3.16
ABC ²	14.72	1	3.82	4.90	24.55	3.25

La Tabla 20 de coeficientes para la variable de aceptabilidad demuestra que el extracto de Nopal, la flor de hibisco y la Stevia en polvo tienen todos efectos principales positivos y significativos en la aceptabilidad de la bebida. Esto se debe a que sus coeficientes son altos y sus intervalos de confianza no contienen cero. La interacción AB (Nopal-Jamaica) tiene un impacto positivo y significativo, pero la interacción BC (Jamaica-Stevia) tiene un efecto negativo y significativo, lo que significa que esta combinación podría hacer que a las personas les guste menos. También hay impactos sustanciales en ciertas interacciones de orden superior (A²BC negativa y ABC² positiva), lo que significa que la mezcla exacta de las tres sustancias podría tener un efecto importante. Valores bajos de VIF significan que no hay multicolinealidad que pueda ser una preocupación entre las variables del modelo.

Ecuación general ajustado para la variable olor

$$\text{variable olor} = 5.87A + 6.22B + 5.80C + 0.7761AB + 0.1618AC - 0.6716BC$$

Donde:

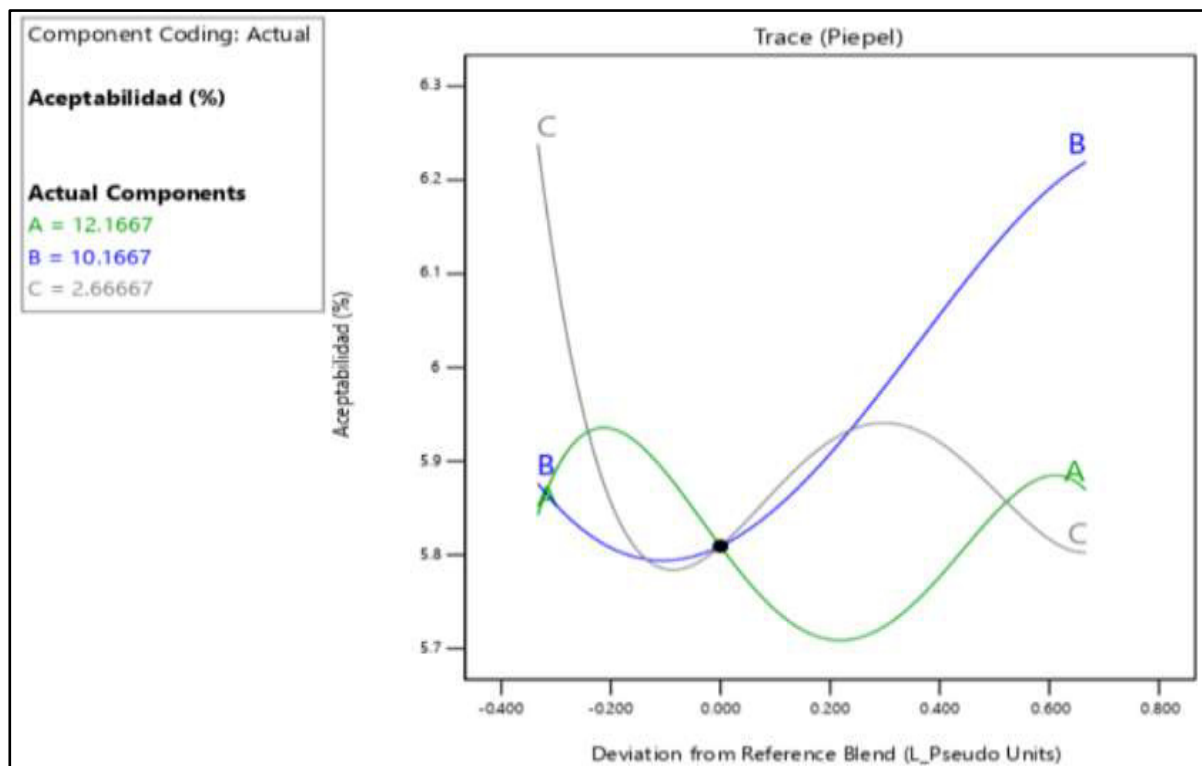
A: Extracto de nopal

B: Extracto de Jamaica

C: Stevia

Figura 22.

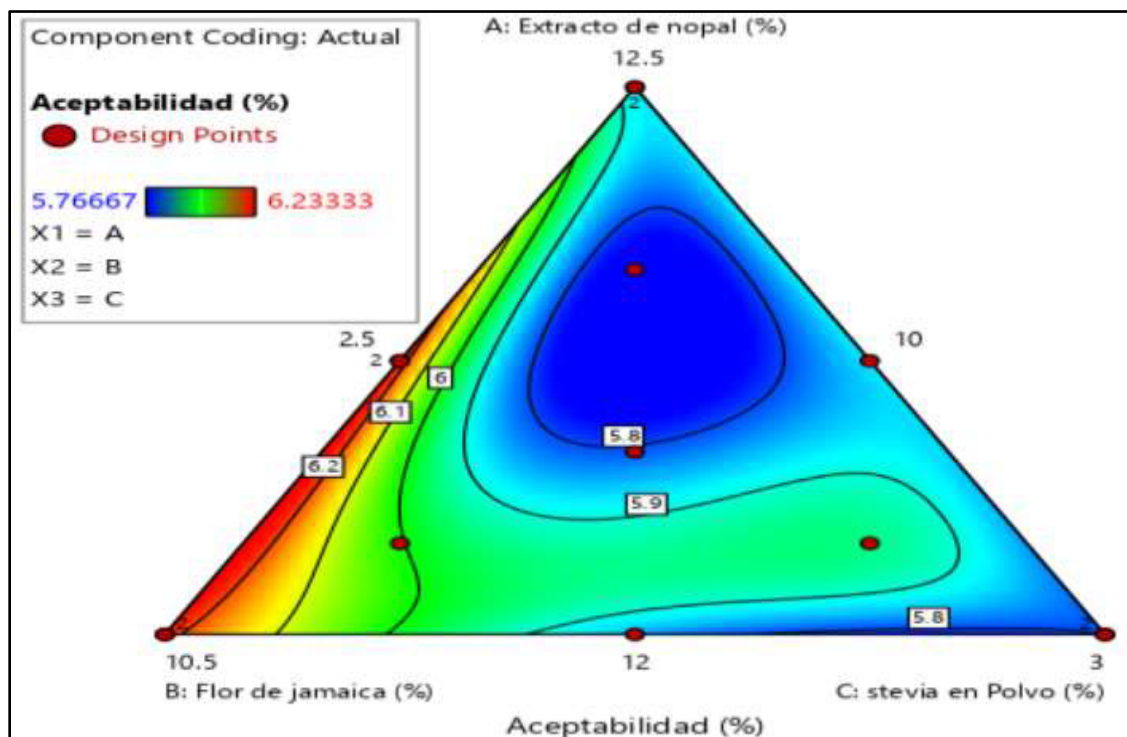
Comportamiento de nopal, Jamaica, Stevia con respecto a la variable Aceptabilidad



La Figura 22 muestra cómo el extracto de Jamaica afecta la aceptación sensorial de la bebida nutracéutica, seguido por el extracto de nopal. El componente de Stevia también tuvo un gran efecto en la bebida nutracéutica.

Figura 23.

Contorno para la variable Aceptabilidad



4.3. Resultados de la formulación optimizada de la elaboración de la bebida nutraceútica de Nopal, Jamaica y Stevia

Tabla 21.

Límites superior e inferior para la optimización de la bebida nutraceútica

Variable	Objetivo	Límite Inferior	Limite Superior
Color	Maximizar	5.7	7
Olor	Maximizar	5.3	7
Sabor	Maximizar	5.4	7
Textura	Maximizar	5.7	7
Aceptabilidad	Maximizar	5.7	7

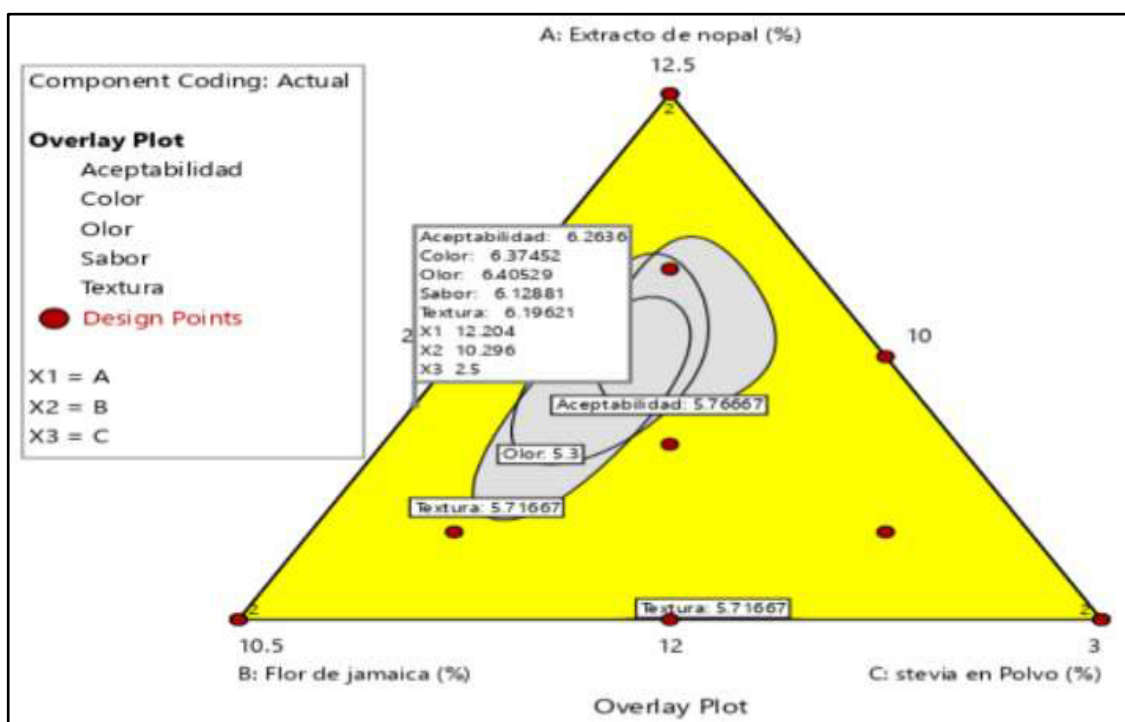
Tabla 22.

Valores optimizados por el software design expert 13 para la formulación de la bebida nutracéutica

Formulación óptima	Variables independientes			% variable
	X1: % Extracto de Nopal	X2: % extracto de flor de Jamaica	X3: % Stevia	
1	12.204	10.296	2.5	Aceptabilidad 6.26 Color 6.37 Olor 6.40 Sabor 6.12 Textura 6.19

Figura 24.

Componentes optimizados de la bebida nutracéutica



4.4. Resultados del efecto del tiempo, la temperatura de almacenamiento y el tipo de envase sobre la estabilidad de los polifenoles de la formulación óptima de la bebida nutracéutica.

Tabla 23.

Resultados del efecto de los factores tiempo T° y tipo de envase en la bebida

Tratamientos	Temperatura $^{\circ}\text{C}$	Tiempo días	Tipo de envase	Contenido polifenoles mg GAE/100ml
1	4	5	1	1.2
2	4	10	2	1.11
3	4	15	3	1.07
4	15	5	2	1.09
5	15	10	3	1.05
6	15	15	1	0.98
7	25	5	3	1.02
8	25	10	1	0.9
9	25	15	2	0.87

La Tabla 23 demuestra que el contenido de polifenoles disminuye en todos los tratamientos a medida que aumenta la duración del almacenamiento. Por ejemplo, a 4°C , disminuye en 1.2 mg GAE/100 ml después de 5 días, 1.11 mg GAE/100 ml después de 10 días y 1.07 mg GAE/100 ml después de 15 días. Los polifenoles son sustancias sensibles que se descomponen con el tiempo debido a la oxidación, la hidrólisis y otros procesos, incluso a temperaturas moderadas. Esto significa que cuanto más tiempo se mantengan, más probable es que se descompongan. La temperatura a la que se almacenan los polifenoles también es esencial. Por ejemplo, después de 15 días, la cantidad de polifenoles es de 1.07 mg GAE/100 ml a 4°C , 0.98 mg GAE/100 ml a 15°C y 0.87 mg GAE/100 ml a 25°C . Esto se debe a que las temperaturas más altas aceleran la pérdida de polifenoles. Esto se debe a que las temperaturas más altas aceleran los procesos de degradación, aumentan la tasa de reacción y pueden activar enzimas que descomponen los polifenoles. Esto hace que sea mejor almacenarlos a

temperaturas más bajas. Por último, el tipo de envase también puede afectar la estabilidad de los polifenoles, pero no tanto. Por ejemplo, los envases de color ámbar protegen mejor los polifenoles que los envases transparentes o de plástico porque bloquean la luz, especialmente la luz UV, lo que acelera la oxidación de estos compuestos. Los envases transparentes y de plástico, por otro lado, dejan pasar más luz, lo que acelera la descomposición de los polifenoles.

Tabla 24.

Coefficientes de modelos estimados para Relaciones SN

Término	Coef	EE del coef.	T	P-valor
Constante	40.2358	0.04877	825.081	0
Temperat 4	0.7902	0.06897	11.457	0.008
Temperat 15	0.0965	0.06897	1.4	0.297
Tiempo 5	0.599	0.06897	8.685	0.013
Tiempo 10	-0.0974	0.06897	-1.412	0.293
Tipo de 1	-0.0714	0.06897	-1.036	0.409
Tipo de 2	-0.0873	0.06897	-1.266	0.333

La Tabla 24 muestra que el modelo de Taguchi basado en la relación Señal-Ruido indica que los parámetros que tienen el mayor efecto en la estabilidad de los polifenoles en la bebida y son estadísticamente significativos son el almacenamiento a 4°C y consumirla dentro de los 5 días. Esto implica que almacenar la bebida en el refrigerador y consumirla rápidamente ayuda a retener los polifenoles. El modelo mostró que la temperatura intermedia (15°C), los tiempos de almacenamiento intermedios (10 días) y cualquiera de los tipos de envases probados no tuvieron un efecto estadísticamente significativo. Esto significa que, bajo las condiciones estudiadas, estos factores no tienen un gran efecto en la estabilidad de los polifenoles. En conclusión, los datos muestran que las mejores maneras de mantener el contenido de polifenoles en la bebida son almacenarla en un lugar fresco y beberla rápidamente.

Tabla 25 .*Resumen del modelo*

S	R-cuadrado	R-cuadrado(ajustado)
0.1463	99.32%	97.27%

La Tabla 25 muestra tres números significativos para juzgar la validez del ajuste estadístico: S, R-cuadrado y R-cuadrado modificado. El valor de S es el error estándar de la estimación, que es 0.1463 en este ejemplo. Esto muestra cuánto se desvían los valores observados de los valores predichos por el modelo en promedio. Un número bajo significa que el modelo predice bien. El valor de R-cuadrado es del 99.32%, lo que implica que el modelo explica el 99.32% de la variabilidad total en los datos. En otras palabras, el modelo se ajusta casi completamente a los datos experimentales. El R-cuadrado ajustado es del 97.27%, lo cual es un resultado muy alto que toma en cuenta el número de variables incluidas y penaliza cualquier sobreajuste. Esto significa que el modelo sigue siendo extremadamente explicativo incluso al tener en cuenta el número de componentes incluidos. En resumen, estos números sugieren que el modelo es una buena manera de explicar cómo los parámetros analizados afectan la estabilidad de los polifenoles.

Tabla 26.*Análisis de Varianza de Relaciones SN*

Fuente	GL	SC Sec.	SC Ajust.	MC Ajust.	F	P
Temperatura	2	4.25961	4.25961	2.12981	99.51	0.01
Tiempo	2	1.85942	1.85942	0.92971	43.44	0.023
Tipo de envase	2	0.11375	0.11375	0.05688	2.66	0.273
Error residual	2	0.04281	0.04281	0.0214		
Total	8	6.27559				

La Tabla 26 demuestra el análisis de que tanto la temperatura como la duración del almacenamiento tienen un gran efecto en la estabilidad de los polifenoles de la bebida, siendo la temperatura el componente más importante. En este caso, el tipo de envase no tiene un impacto estadísticamente significativo.

Los hallazgos de este modelo experimental muestran que es más crucial regular la temperatura y el tiempo que el estilo de empaquetado para mantener mejor los polifenoles.

Tabla 27 .

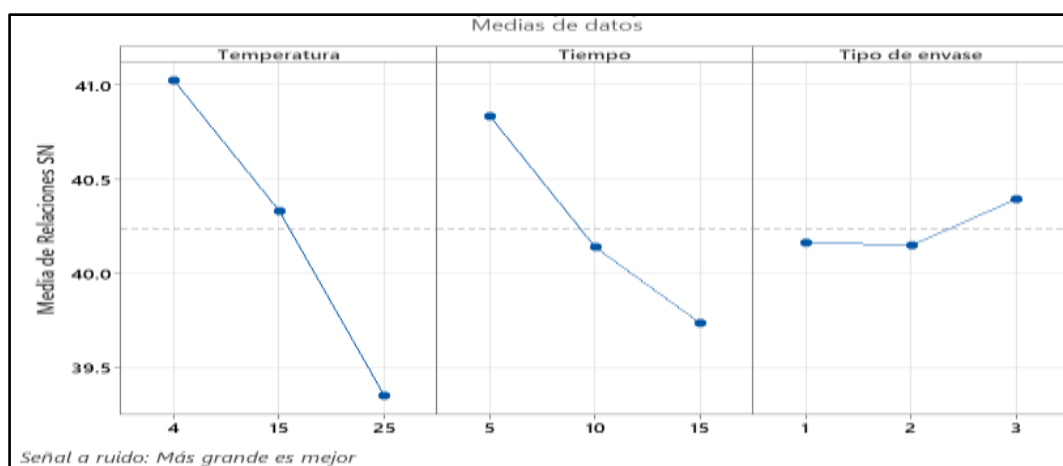
Respuestas para relaciones de señal a ruido más grande es mejor

Nivel	Temperatura	Tiempo	Tipo de envase
1	41.03	40.83	40.16
2	40.33	40.14	40.15
3	39.35	39.73	40.39
Delta	1.68	1.1	0.25
Clasificar	1	2	3

La Tabla 27 dice que para mantener los polifenoles lo más estables posible ("cuanto más grandes, mejor"), lo más importante es mantener la temperatura de almacenamiento, seguida del período de almacenamiento. El estilo de embalaje tiene una influencia menor. Entonces, las mejores maneras de mantener los polifenoles son beber la bebida a la temperatura adecuada (nivel 1, que probablemente sea la más baja) y beberla rápidamente.

Figura 25.

Efectos principales para las relaciones SN



Se puede observar en la figura 25 que la degradación de los polifenoles aumenta con el tiempo y la temperatura; sin embargo, esta degradación puede mitigarse manteniendo la bebida en envases ámbar a 4°C y consumiéndola de inmediato.

4.5. Resultados de la determinación de las características fisicoquímicas de la bebida nutraceútica de la formulación óptima

Tabla 28.

Contenido proximal de la bebida nutraceútica en una muestra de 100 ml

Contenido	Valor	Unidad
Proteína	1.4	G
Grasa	0.20	G
Ceniza	0.15	G
Fibra Cruda	1.23	G
Carbohidratos	2.21	G
Polifenoles	1.23	MgGAE/100ml
Capacidad antioxidante	336.76	µg Trolox Eq /ml
Humedad	94.3	G

La Tabla muestra que tiene pocas calorías, principalmente agua, una cantidad moderada de fibra y una cantidad baja pero importante de proteínas, carbohidratos y polifenoles. También tiene una alta capacidad antioxidante. Estos números son característicos de las bebidas funcionales o nutracéuticas hechas a base de vegetales, que son buenas para tu salud.

Tabla 29.

Análisis microbiológico de la bebida nutraceútica optimizada

Tipo de análisis	Unidad	Resultados	Método de ensayo
Coliformes	NMP /ml	< 3 (no detectados)	Iso 4831 ICMSF
Aerobios mesófilos	UFC/ml	10	Iso 4833-1 ICMSF
Recuento de Mohos	UFC/ml	< 10	Iso 21527-1 ICMSF
Recuento de levaduras	UFC/ml	< 10	Iso 21527-1 ICMSF

El análisis microbiológico presentado en la Tabla 29 se ajusta a los estándares establecidos por la NTP 203.110 para bebidas nutracéuticas, indicando que no se encontraron coliformes en la muestra (<3 MPN/mL), lo que significa una falta de contaminación fecal y adherencia a las prácticas higiénicas durante la producción. El número de aerobios mesófilos fue de 10 UFC/mL, lo cual es un número muy bajo que muestra un buen control sanitario y sin un crecimiento bacteriano significativo durante la fabricación o el almacenamiento. Ambos recuentos de mohos y levaduras también fueron inferiores a 10 UFC/mL, lo que significa que la bebida no estaba muy contaminada con hongos y era segura para beber. Todos estos hallazgos están dentro de los límites establecidos por las normas internacionales para bebidas a base de plantas, lo que implica que la bebida es segura para consumir y microbiológicamente segura para que las personas la beban de la manera en que fue probada.

4.6. Contrastación de la hipótesis

Formulación de la hipótesis general

H₀=No existen diferencias significativas en la aceptación sensorial entre las diferentes formulaciones de la bebida nutracéutica a base de nopal, flor de Jamaica y Stevia

H_a= Existen diferencias significativas en la aceptación sensorial entre las diferentes formulaciones de la bebida nutracéutica a base de nopal, flor de Jamaica y Stevia

Prueba de normalidad para para variable aceptabilidad general de la bebida nutracéutica

Tabla 30 .

Prueba de normalidad shapiro_wilks para los tratamientos

variable	Estadístico	GL	Sig.
T1	0.805	50	0.000
T2	0.659	50	0.000
T3	0.863	50	0.000
T4	0.632	50	0.000
T5	0.741	50	0.000
T6	0.746	50	0.000
T7	0.805	50	0.000
T8	0.632	50	0.000
T9	0.792	50	0.000
T10	0.805	50	0.000
T11	0.805	50	0.000
T12	0.762	50	0.000
T13	0.746	50	0.000
T14	0.741	50	0.000

Ha= $p < 0.05$: Los datos NO son normales.

Ha= $p > 0.05$: Los datos pueden considerarse normales.

En la tabla 30 de la prueba de normalidad de Shapiro-Wilk para todos los tratamientos, el valor de significancia (Sig.) es 0.000 en todos los casos. A un nivel de significancia de 0.05, esto significa que los datos de cada tratamiento no siguen una distribución normal (se rechaza la hipótesis nula de normalidad).

Tabla 31.*Resultados de la prueba de Friedman*

T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9	T10	T11	T12	T13	T14	T ²	p
6.7	8.5	6.8	8.35	7.65	7.3	7	8.4	7.4	6.95	6.95	8.3	7.35	7.65	2.46	0.003
mínima diferencia significativa entre suma de rangos = 56.573															
Tratamiento	Suma (Ranks)	Media (Ranks)	n												
T1	332.5	6.65	50	A											
T3	337.5	6.75	50	A B											
T7	347.5	6.95	50	A B C											
T10	347.5	6.95	50	A B C D											
T11	347.5	6.95	50	A B C D E											
T6	365	7.3	50	A B C D E F											
T9	367.5	7.35	50	A B C D E F G											
T13	367.5	7.35	50	A B C D E F G											
T5	382.5	7.65	50	A B C D E F G											
T14	382.5	7.65	50	A B C D E F G											
T12	415	8.3	50	F G											
T8	417.5	8.35	50	F G											
T4	417.5	8.35	50	F G											
T2	422.5	8.45	50	G											

Interpretación

Si $P > 0.05$ Se rechaza la H_a y se acepta la H_o

Si $P < 0.05$ Se rechaza la H_o y se acepta la H_a

La prueba de Friedman produjo un valor P inferior a 0.003, como se muestra en la Tabla 31. En consecuencia, se acepta la hipótesis alternativa mientras se rechaza la hipótesis nula, lo que indica variaciones sustanciales en la aceptabilidad sensorial entre los tratamientos.

Formulación de la hipótesis

H_o=El tiempo y la temperatura de almacenamiento, así como el tipo de envase, no tienen un efecto significativo en la estabilidad de los polifenoles presentes en la bebida nutracéutica de a la formulación óptima.

H_a=El tiempo y la temperatura de almacenamiento, así como el tipo de envase, tienen un efecto significativo en la estabilidad de los polifenoles presentes en la bebida nutracéutica

de a la formulación óptima.

El análisis ANOVA en la tabla 24 muestra que tanto la temperatura como el tiempo de almacenamiento influyen significativamente en la estabilidad de los polifenoles de la bebida porque se observa que el valor de cada variable es menor a $p < 0.05$ donde se rechaza la hipótesis nula y acepta la hipótesis alterna.

V. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

La formulación y caracterización de una bebida nutracéutica derivada de nopal, flor de hibisco y Stevia representa un avance notable en la creación de alternativas saludables e innovadoras dentro del ámbito de las bebidas a base de plantas. Cuando comparas estos resultados con los de estudios anteriores, puedes observar aspectos como las cualidades sensoriales, el contenido nutricional, la fitoquímica, la estabilidad y la seguridad microbiológica.

5.1. Aceptabilidad Sensorial y Formulación Óptima

El análisis sensorial encontró que la formulación óptima era 12.204% extracto de nopal, 10.296% flor de Jamaica y 2.5% Stevia, con una alta puntuación de 6.26/7. Esto está en línea con lo que encontraron Laguna et al. (2020) y Verdezoto (2016). Ambos estudios mostraron que agregar nopal a las bebidas mezcladas con frutas o edulcorantes naturales puede hacer que tengan un gran sabor, siempre y cuando las cantidades sean las adecuadas y estén equilibradas con edulcorantes inusuales como la Stevia o la miel.

Cuando se compara con esos estudios que usaron frutas con perfiles aromáticos fuertes como el maracuyá y el nopal en diferentes cantidades (Laguna 2020) 15%, nuestra combinación con flor de Jamaica ya aromática y colorida muestra que se puede lograr una alta palatabilidad sin usar muchos azúcares, sino con Stevia, que es mejor para un perfil bajo en calorías. Esto también está en línea con Carrasco (2023), quien demostró que usar Stevia en lugar de azúcar en las bebidas de hibisco mantiene a los clientes contentos.

5.2. Estabilidad y Retención de Polifenoles

El hallazgo de que el contenido de polifenoles disminuye con el tiempo, más rápidamente a temperaturas elevadas y bajo luz, es completamente consistente con el informe de la literatura. Los autores destacan que los compuestos fenólicos en el hibisco (la principal fuente de polifenoles en la bebida) son sensibles a la luz, el calor y la oxidación. El hallazgo

de que el contenido de polifenoles disminuye con el tiempo, más rápidamente a temperaturas elevadas y bajo luz, es completamente consistente con el informe de la literatura. También destacan que los compuestos fenólicos en el hibisco (la principal fuente de polifenoles en la bebida) son sensibles a la luz, el calor y la oxidación. El hallazgo de que el contenido de polifenoles disminuye con el tiempo, más rápidamente a temperaturas elevadas y bajo luz, es completamente consistente con el informe de la literatura. También afirman que los compuestos fenólicos en el hibisco (la principal fuente de polifenoles en la bebida) son sensibles a la luz, el calor y la oxidación. Los hallazgos sobre la eficacia del embalaje ámbar subrayan el consejo de seleccionar materiales y colores que protejan los antioxidantes un factor a menudo descuidado en la formulación de productos comerciales. (Hamrita et al., 2022; Salinas et al., 2024). Carrasco (2023) destacó anteriormente, citando la aparición prematura de levaduras en ausencia de conservantes y protección suficiente. Rogel (2024) dijo que métodos como la fermentación o el almacenamiento a largo plazo también cambian las propiedades antioxidantes y la estabilidad de los bioactivos en las bebidas a base de hibisco. Nuestros hallazgos que muestran que los polifenoles se descomponen rápidamente a temperaturas más altas son un llamado de atención sobre lo importante que es mantener estables las condiciones post-procesamiento para conservar los beneficios predichos de los polifenoles.

5.3. Composición Nutricional y Funcionalidad

El perfil nutricional de la bebida (bajas calorías, fibra moderada, alto contenido de polifenoles, bajas proteínas y carbohidratos, y fuerte capacidad antioxidante) coincide precisamente con las características de la bebida funcional identificadas en la literatura. Laguna et al. (2020) revelaron excelentes cantidades de proteínas para las bebidas vegetales (1.29%), comparables a las muestras. Sangucho (2016) indicó valores asombrosos de fibra y micronutrientes, así como una baja contribución energética. El uso de nopal ofrece fibra soluble

y antioxidantes, características también señaladas por otros autores. La adición de flor de hibisco amplía el rango de compuestos bioactivos, notablemente polifenoles y antocianinas, que son esenciales para la capacidad antioxidante, como algunos autores demostraron. (Salinas et al., 2024; Hamrita et al., 2022; Naranjo, 2013; Povolo, 2018).

Pérez (2021) enfatizó la necesidad de usar cantidades adecuadas de hibisco y otras verduras para aumentar la concentración de fenoles y la actividad antioxidante. Los números particulares pueden variar según las proporciones seleccionadas, aunque la tendencia general persiste: la combinación de polímeros fenólicos del hibisco y la fibra (y mucílago) del nopal produce una bebida con un evidente potencial funcional.

5.4. Seguridad Microbiológica y Vida Útil

El estudio microbiológico (sin coliformes, bajo recuento de aerobios mesófilos, mohos y levaduras) muestra que la bebida es segura, lo cual es lo que las normas locales e internacionales dicen que debe ser. Estos hallazgos se alinean con los de Laguna et al. (2020), quienes de manera similar produjeron un producto final libre de microorganismos dañinos, manteniendo así la calidad higiénica y sanitaria durante la vida útil inicial del producto. Carrasco (2023) demostró que la aparición de levaduras en bebidas naturales carentes de conservantes químicos representa un riesgo considerable que puede resultar en una vida útil reducida. En consecuencia, es imperativo envasar estos productos de manera aséptica y en condiciones protegidas de la luz y el calor, considerando también estabilizadores naturales, para mejorar la durabilidad y la seguridad.

5.5. Valor Nutracéutico y Potencial Saludable

La bebida funcional baja en calorías y grasas, altamente hidratante, con fibra, proteínas vegetales y minerales, además de polifenoles y alta capacidad antioxidante. Contiene Jamaica (antioxidantes, minerales, color y sabor), Nopal (agua, fibra, minerales, textura agradable) y Stevia (edulcorante sin calorías, fibra, minerales). Su composición por 100 ml es: fibra 1.23 g,

carbohidratos 2.21 g, proteína 1.4 g, grasa 0.20 g, polifenoles 1.23 mg GAE. Los polifenoles se conservan mejor a 4°C, en envase ámbar y consumiéndose antes de 5 días. Cumple con criterios microbiológicos. Es una bebida nutracéutica con potencial antioxidante, digestivo e hidratante, apta para quienes buscan una opción baja en calorías y sin azúcares añadidos, manteniendo la cadena de frío.

El primero tiene mucílagos, fibra dietética y sustancias que son buenas para el metabolismo de la glucosa y los lípidos (Kuriyan et al., 2010). El segundo tiene antocianinas, polifenoles y otros fitoquímicos que se sabe son buenos para la salud (Naranjo, 2013; Hamrita et al., 2022). La Stevia es una alternativa saludable al azúcar que hace que la bebida sea adecuada para aquellos que no pueden consumir bebidas azucaradas. El uso del hibisco como componente principal está en línea con la tendencia mundial de utilizar extractos ricos en compuestos fenólicos como agentes funcionales en comidas y bebidas (Povolo, 2018; Hamrita et al., 2022). El material examinado respalda firmemente el potencial de este tipo de bebida no solo para los consumidores conscientes de la salud, sino también como elementos complementarios en métodos destinados a la prevención de enfermedades metabólicas.

Los resultados de este estudio sobre la bebida nutracéutica que incluye nopal, flor de hibisco y Stevia son consistentes con, aumentan y amplían los estudios previamente documentados. La bebida que se elaboró tiene una alta aceptabilidad sensorial, excelentes características funcionales (antioxidantes, bajo contenido calórico, contenido moderado de fibra y proteínas), buena estabilidad (con mejoras claras cuando se envasa en ámbar y se mantiene fría) y cumple con los criterios microbiológicos. Estas cualidades lo convierten en una opción saludable y segura, en línea con el aumento de las bebidas funcionales a base de plantas en todo el mundo. No obstante, la estabilidad de las sustancias bioactivas y la vida útil de los microbios deben seguir siendo una consideración en las fases de investigación

posteriores y en la comercialización definitiva en función de los resultados cuantitativos, particularmente en ausencia de conservantes químicos. La evidencia de que la tuna, la flor de hibisco y la Stevia son beneficiosas para la salud, así como la elección adecuada del envase y las condiciones de almacenamiento, permite predecir un producto que satisfará las necesidades de los consumidores actuales y la demanda de alimentos funcionales respaldados por la ciencia.

VI. CONCLUSIONES

- 6.1. Los resultados confirman que la formulación y el proceso de elaboración de la bebida nutracéutica a base de nopal, flor de Jamaica y stevia cumplen con el rango de calidad establecido por las Normas Técnicas Peruanas. Esto valida el logro de los objetivos planteados y respalda su viabilidad para el consumo seguro y el escalamiento productivo, posicionándola como una alternativa funcional de bajo aporte calórico. Se recomienda, no obstante, profundizar en estudios de vida útil, estabilidad de compuestos bioactivos y aceptabilidad sensorial para fortalecer su competitividad y su ingreso al mercado
- 6.2. Se realizó el análisis sensorial para encontrar la mejor manera de elaborar la bebida nutracéutica utilizando nopal, flor de Jamaica y Stevia. Esto permitió averiguar la aceptabilidad sensorial de la bebida por los panelistas. Los resultados mostraron que la mejor formulación era 12.204% extracto de nopal, 10.296% extracto de flor de Jamaica y 2.5% edulcorante de Stevia. Esto obtuvo una puntuación de 6.26 de 7 en la escala hedónica.
- 6.3. Se determinó la estabilidad de los polifenoles en la bebida nutracéutica se veía afectada por el tiempo, la temperatura de almacenamiento y el tipo de envase. la investigación encontró que el contenido de polifenoles disminuye con el tiempo porque se descomponen de manera natural. Este proceso va más rápido cuando la temperatura es mayor, mientras que va más lento cuando la temperatura es menor. Los envases de color ámbar preservan mejor los polifenoles que los claros o de plástico porque oscurecen la luz que acelera su oxidación.
- 6.4. El análisis fisicoquímico determinó que la bebida nutracéutica tiene pocas calorías, principalmente agua, una cantidad moderada de fibra y una cantidad baja pero

importante de proteínas, carbohidratos y polifenoles, así como una alta capacidad antioxidante. Estos números son normales para las bebidas funcionales o nutracéuticas hechas de vegetales, que son buenas para la salud.

- 6.5. El análisis microbiológico de la bebida nutracéutica, según la NTP 203.110, satisface los criterios estipulados. No se encontraron coliformes, el número de aerobios mesófilos fue bajo (10 UFC/mL), y el número de mohos y levaduras también fue bajo (10 UFC/mL), lo que demuestra un alto nivel de higiene, control sanitario y baja contaminación fúngica. Los hallazgos cumplen con los criterios internacionales, lo que significa que la bebida es segura para consumir desde el punto de vista microbiológico.

VII. RECOMENDACIONES

- 7.1. Investigar cómo diversos grupos de personas, incluidos los niños, los ancianos y aquellos con diabetes, accedan a bebidas saludables ajustadas a sus preferencias.
- 7.2. Investigar cómo el proceso de producción afecta al medio ambiente y piensa en cómo utilizar todos los subproductos que de él provienen de una manera más respetuosa con el medio ambiente.
- 7.3. Investigar el impacto de la bebida en las bacterias intestinales del ser humano y su posible papel como prebiótico, considerando el contenido de fibra y las sustancias bioactivas del nopal.
- 7.4. Investigar formas de encapsular antioxidantes y otras sustancias útiles que se encuentran en la tuna, el hibisco y la stevia para mantenerlas seguras y/o hacer que funcionen mejor.

VIII. REFERENCIAS

- Ahmad, J., Khan, I., Blundell, R., Azzopardi, J. y Mahomoodally, M. (2020). Stevia rebaudiana Bertoni.: An updated review of its health benefits, industrial applications and safety. *Trends in Food Science & Technology*, 100, 177-189.
- Alfaro, A. (2011). *Caracterización funcional de una dehidrina SK3 aislada de una biblioteca de cDNA de Opuntia streptacantha* [Tesis de pregrado, Instituto Potosino de Investigación Científica y Tecnológica]. Repositorio Institucional IPICT. <https://ipicyt.repositorioinstitucional.mx/jspui/handle/1010/849>
- Ávila, A., Vázquez, A. y Santoscoy, I. (2023). *Alimentos Fermentados, tìbicos, soda italiana* *Fermented food, tìbicos, Italian soda*. <https://pdfs.semanticscholar.org/b4cb/209fe7f71d5c6dd9a7ef4ff3216843cf9241.pdf>
- Caminiti, R., Serra, M., Nucera, S., Ruga, S., Oppedisano, F., Scarano, F., Macrì, R., Muscoli, C., Palma, E., y Musolino, V. (2024). Antioxidant Activity and Seasonal Variations in the Composition of Insoluble Fiber from the Cladodes of *Opuntia ficus-indica* (L.) Miller: Development of New Extraction Procedures to Improve Fiber Yield. *Plants*, 13(4), 544.
- Das, S. y Das, M. (2015). Emerging evidence on the role of secondary metabolites as nutraceutical. *Indian E-Journal of Pharmaceutical Sciences*, 1(1). <https://core.ac.uk/download/pdf/233939429.pdf>
- Durazzo, A., Lucarini, M., y Santini, A. (2020). Nutraceuticals in human health. *Foods*, 9(3),370. MDPI. <https://www.mdpi.com/2304-8158/9/3/370>
- El-Mostafa, K., El-Kharrassi, Y., Badreddine, A., Andreoletti, P., Vamecq, J., El Kebbij, M. S., Latruffe, N., Lizard, G., Nasser, B., y Cherkaoui-Malki, M. (2014). Nopal cactus (*Opuntia ficus-indica*) as a source of bioactive compounds for nutrition, health and

- disease. *Molecules*, 19(9), 14879-14901.
- Francisco, F. (2015). *Acúmulo de biomassa, produção de esteviosídeo e rebaudiosídeo A e tolerância à geada e ao acamamento de acessos de Stevia rebaudiana Bert.* [Tesis de pregrado, Universidad Federal do Paraná]. Repositorio Institucional UFP. <https://acervodigital.ufpr.br/xmlui/bitstream/handle/1884/41268/R%20-%20D%20-%20FELIPE%20FRANCISCO.pdf?sequence=2&isAllowed=y>
- Gregar, J. (2023). Research design (qualitative, quantitative and mixed methods approaches). <http://e-pedagogium.upol.cz/pdfs/epd/2016/04/08.pdf>
- Hamrita, B., Emira, N., Papetti, A., Badraoui, R., Bouslama, L., Ben, M., Hamdi, A., Patel, M., Elasbali, A., Adnan, M., Ashraf, S., y Snoussi, M. (2022). Phytochemical Analysis, Antioxidant, Antimicrobial, and Anti-Swarming Properties of Hibiscus sabdariffa L. Calyx Extracts: In Vitro and In Silico Modelling Approaches. *Evidence-Based Complementary and Alternative Medicine*, 2022, 1-14. <https://doi.org/10.1155/2022/1252672>
- Hernández, M. (2017). *Identificación de la especie del picudo que afecta a la espina del nopal (Opuntia-ficus indica) en el Cerrillo Piedras Blancas, Toluca, México.* <http://ri.uaemex.mx/handle/20.500.11799/67838>
- Khiraoui, A., Hasib, A., Al, C., Amchra, F., Bakha, M., y Boulli, A. (2017). Stevia rebaudiana Bertoni (Honey Leaf): A magnificent natural bio-sweetener, biochemical composition, nutritional and therapeutic values. *Journal of Natural Sciences Research*, 7(14), 75-85.
- Kuriyan, R., Kumar, D., Rajendran, R., y Kurpad, A. (2010). An evaluation of the hypolipidemic effect of an extract of Hibiscus Sabdariffa leaves in hyperlipidemic Indians: A double blind, placebo controlled trial. *BMC Complementary and Alternative Medicine*, 10(1), 27. <https://doi.org/10.1186/1472-6882-10-27>
- Lagua, H., Garzón, J., Narváez, V. y Tierra, A. (2020). Elaboración de una bebida nutritiva a

- base de pulpa de opuntia ficus indica (nopal) enriquecida y saborizada con jugó de passiflora edulis, (maracuyá). <https://doi.org/10.33262/cienciadigital.v4i4.1.1447>
- Madrigal, E., Portillo, J., Madrigal, E., Sánchez, M., Izquierdo, J., Izquierdo, J., Delgado, L., Vargas, N., Álvarez, I., y Morales, A. (2022). Opuntia spp. in Human Health: A Comprehensive Summary on Its Pharmacological, Therapeutic and Preventive Properties. Part 2. *Plants*, 11(18), 2333.
- Magangana, T. (2017). *In vitro growth and development of the sweet medicinal plant Stevia rebaudiana Bertoni*. [Tesis de maestría, Universidad de Stellenbosch]. Repositorio Institucional de la Universidad de Stellenbosch. <https://scholar.sun.ac.za/server/api/core/bitstreams/e3de7002-a2ea-4986-b210-b2ab9153cfb8/content>
- Maiuolo, J., Nucera, S., Serra, M., Caminiti, R., Oppedisano, F., Macrì, R., Scarano, F., Ragusa, S., Muscoli, C., y Palma, E. (2024). Cladodes of *Opuntia ficus-indica* (L.) Mill. Possess important beneficial properties dependent on their different stages of maturity. *Plants*, 13(10), 1365.
- Miladinova, K., Geneva, M., Stancheva, I., Petrova, M., Sichanova, M., y Kirova, E. (2022). Effects of different elicitors on micropropagation, biomass and secondary metabolite production of *Stevia rebaudiana Bertoni*—A review. *Plants*, 12(1), 153.
- Ministerio de Salud [MINSA]. (19 de junio de 2023). *Noticias—Ministerio de Salud—Plataforma del Estado Peruano*. <https://www.gob.pe/institucion/minsa/noticias>
- Naranjo, A. (2013). *Evaluación de la actividad diurética y cuantificación de polifenoles de Jamaica (Hibiscus sabdariffa L.) cultivada en Pomona, Pastaza-Ecuador*. [Tesis de pregrado, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo]. Repositorio Institucional ESPC. <http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/2693>
- Pérez, D. (2021). *Desarrollo de una bebida a base de sábila (Aloe vera) y jamaica (Hibiscus*

sabdariffa. [Tesis de pregrado, Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza].

Repositorio

Institucional

UNTRMA.

<http://dspace.espoch.edu.ec/handle/123456789/2693>

Perucini, M., Nicolás, M., Jiménez, C., Perea, M., Gómez, M., Arrieta, D. y Dávila, G. (2021).

Cladodes: Chemical and structural properties, biological activity, and polyphenols profile. *Food Science & Nutrition*, 9(7), 4007-4017. <https://doi.org/10.1002/fsn3.2388>

Popova, A., Mihaylova, D., y Lante, A. (2023). Insights and perspectives on plant-based beverages. *Plants*, 12(19), 3345.

Povolo, C. (2018). *Extraction and characterization of chemicals from vegetal matrices and assessment of their properties for nutraceutical and cosmetic applications*. [Tesis de doctorado, Universidad de Padua]. Repositorio Institucional UP. <https://tesidottorato.depositolegale.it/static/PDF/web/viewer.jsp>

Puri, V., Nagpal, M., Singh, I., Singh, M., Dhingra, G., Huanbutta, K., Dheer, D., Sharma, A., y Sangnim, T. (2022). A comprehensive review on nutraceuticals: Therapy support and formulation challenges. *Nutrients*, 14(21), 4637.

Rogel, J. (2024). *Bebida fermentada y liofilizada de flores de jamaica (hibiscus sabdariffa)*. [Tesis de maestría, Universidad Técnica de Cotopaxi]. Repositorio Institucional UTC. <https://repositorio.utc.edu.ec/handle/27000/12194>

Salinas, Y., García, C., Gálvez, L., Andrade, I., Salinas, Y., García, C., Gálvez, L. y Andrade, I. (2024). Bebida nutracéutica de cálices de jamaica con diferente pigmentación. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 15(6). <https://cienciasagricolas.inifap.gob.mx/index.php/agricolas/article/view/3254>

Sangucho, C. (2016). *Evaluación de la concentración de hoja de nopal (Opuntia ficus – indica) y maracuyá (Passiflora edulis) en la elaboración de una bebida utilizando dos estabilizantes (CMC y goma xantan) y dos endulzantes (miel de abeja y estevia) para*

determinar los parámetros reológicos y sensoriales en la Unidad Operativa de Investigación y Desarrollo – UODIDE, de la Facultad de Ciencia e Ingeniería en Alimentos de la Universidad Técnica de Ambato en el Período 2015 – 2016. [Tesis de pregrado, Universidad Técnica de Cotopaxi]. Repositorio Institucional UTC. <https://repositorio.utc.edu.ec/items/c5291b10-48ef-43b2-ba9e-d630cc4c0719>

Santos, M., Barba, A., Héliès, C., Guéraud, F., y Nègre, A. (2017). *Opuntia spp.: Characterization and Benefits in Chronic Diseases.* *Oxidative Medicine and Cellular Longevity.* <https://doi.org/10.1155/2017/8634249>

Sikalidis, A., Kelleher, A., Maykish, A., y Kristo, A. (2020). *Non-alcoholic beverages, old and novel, and their potential effects on human health, with a focus on hydration and cardiometabolic health.* <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/32977648/>.

Williamson, E., Liu, X., & Izzo, A. (2020). *Trends in use, pharmacology, and clinical applications of emerging herbal nutraceuticals.* *British Journal of Pharmacology*, *177*(6), 1227-1240. <https://bpspubs.onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/bph.14943>

IX. ANEXOS

Anexo A: Matriz operacionalización de variables

Variables	Indicadores	Tipos de medición	Técnicas de recolección de datos
VI. Desarrollo de una bebida nutracéutica a base de nopal, flor de Jamaica y Stevia	formulación optima de la bebida nutracéutica	Ordinal que mide nivel de satisfacción	Escala hedónica de 7 puntos
	Efecto de la temperatura, tiempo y tipo de envase en la estabilidad de los polifenoles.	Intervalo Continuo	Método Taguchi
VD. Análisis de la calidad de la bebida nutracéutica	Características fisicoquímicas de la bebida nutracéutica optimizado	Intervalo Continuo	Técnicas AOAC
	Características microbiológicas la bebida nutracéutica	Intervalo Continuo	NTP 207.002

Anexo B: Matriz de consistencia

Problemas de Investigación	Objetivos	Hipótesis	Variables	Método
Problema General	Objetivo General	Hipótesis General	Variables Independientes	Tipo de Investigación
¿Será posible desarrollar y analizar la calidad de una bebida nutracéutica a base de nopal, flor de Jamaica y Stevia?	Desarrollar y analizar la calidad de una bebida nutracéutica a base de nopal, flor de Jamaica y Stevia.	- existen diferencias significativas en la aceptación sensorial entre las diferentes formulaciones de la bebida nutracéutica a base de nopal, flor de Jamaica y Stevia	X1. Desarrollo de una bebida nutracéutica a base de nopal, flor de Jamaica y Stevia	Aplicada
Problemas Específicos	Objetivos Específicos	- El tiempo y la temperatura de almacenamiento, así como el tipo de envase, tienen un efecto significativo en la estabilidad de los polifenoles presentes en la bebida nutracéutica de a la formulación optima.	Variable Dependiente	Nivel de Investigación
- ¿Cuál es la formulación optima de la bebida nutracéutica a base de nopal, flor de Jamaica y Stevia mediante análisis sensorial?	- Determinar la formulación optima de la bebida nutracéutica a base de nopal, flor de Jamaica y Stevia mediante análisis sensorial.		Y1. Análisis de la calidad de una bebida nutracéutica	Cuantitativo
- ¿Cuáles es el efecto del tiempo, la temperatura de almacenamiento y el tipo de envase sobre la estabilidad de los polifenoles de la formulación óptima de la bebida nutracéutica?	- Determinar el efecto del tiempo, la temperatura de almacenamiento y el tipo de envase sobre la estabilidad de los polifenoles de la formulación óptima de la bebida nutracéutica			Diseño de Investigación
- ¿Cuáles son las características fisicoquímicas y microbiológica de la bebida nutracéutica a base de nopal, flor de Jamaica y Stevia de la formulación optima?	- Determinar las características fisicoquímicas y microbiológica de la bebida nutracéutica a base de nopal, flor de Jamaica y Stevia de la formulación optima.			Experimental

Anexo C: Análisis sensorial descriptivo con escala hedónica

Producto: BEBIDA NUTRACEÚTICA DE NOPAL (*Opuntia ficus indica*) FLOR DE JAMAICA (*Hibiscus sabdariffa* L.) Y STEVIA (*Stevia rebaudiana bertonii*)

Nombres y apellidosFecha

Instrucciones: Pruebe las muestras de izquierda a derecha y marque con un (x) la intensidad de agrado o desagrado de cada atributo

Escala	Atributos			
	Color	Olor	Sabor	Aceptabilidad
Muy desagradable				
Desagradable				
Ligeramente desagradable				
Neutral				
Ligeramente agradable				
Agradable				
Muy agradable				